



**ISSN 2500-1833**

*Международный научно-практический  
электронный журнал  
Основан в 2015 году, издается ежеквартально*

*Журнал включен в перечень рецензируемых научных изданий, рекомендуемых ВАК  
Минобрнауки России для публикации научных результатов, отражающих  
основное научное содержание кандидатских и докторских диссертаций*

**Учредители:**

*Региональное отделение Российской академии естественных наук,  
АО «Национальный институт радио и инфокоммуникационных технологий»*

**Издатель:**

*АО «Национальный институт радио и инфокоммуникационных технологий»*

**Главный редактор**

*Е.Е. Володина, д.э.н., акад. РАЕН*

**Редакционная коллегия:**

*Бабенко Л.К., д.т.н.*

*Бокк Г.О., д.т.н.*

*Веерпалу В.Э., д.т.н.*

*Гумеров М.Ф., д.э.н.*

*Дворянкин С.В., д.т.н.*

*Докучаев В.А., д.т.н.*

*Качалов Р.М., д.э.н.*

*Кинэ Эмиль, Ph. D., Франция*

*Кобылко А.А., к.э.н.*

*Лившиц В.Н., д.э.н.*

*Макаров В.В., д.э.н.*

*Мызникова М.Н., к.э.н.*

*Панов С.А. д.т.н.*

*Салютин Т.Ю., д.э.н.*

*Сю Гуанхан, д.т.н., Китай*

*Шаталова О.М. д.э.н.,*

*Шорин О.А., д.т.н.*

**Ведущий редактор** *Дуничева Н.С.*

**Редактор** *Федорова О.В.*

*Журнал публикует статьи, отражающие результаты исследований в  
соответствии со следующими разделами ГРНТИ:*

*06.00.00 – Экономика и экономические науки*

*20.00.00 – Информатика*

*28.00.00 – Кибернетика*

*47.00.00 – Электроника. Радиотехника*

*49.00.00 – Связь*

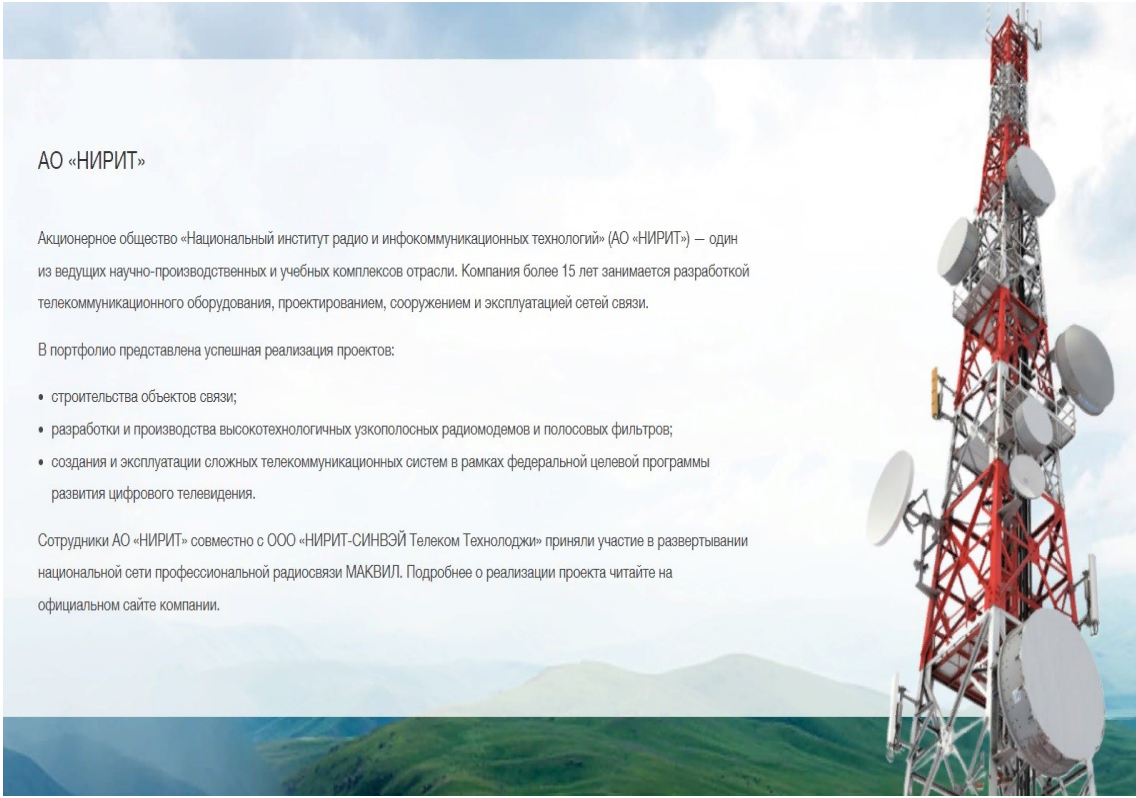
*81.93.29 – Информационная безопасность*

*82.00.00 – Организация и управление*

*90.00.00 – Метрология*

**Адрес редакции:** *111024, Москва, ул. Авиамоторная, дом 8А, стр. 5.  
АО «НИРИТ»*

**Тел.:** *8 (495) 643-11-86 (282)* **сайт:** *<http://journal-ekss.ru/>* **e-mail:** *[ekss@nirit.org](mailto:ekss@nirit.org)*



### АО «НИРИТ»

Акционерное общество «Национальный институт радио и инфокоммуникационных технологий» (АО «НИРИТ») – один из ведущих научно-производственных и учебных комплексов отрасли. Компания более 15 лет занимается разработкой телекоммуникационного оборудования, проектированием, сооружением и эксплуатацией сетей связи.

В портфолио представлена успешная реализация проектов:

- строительства объектов связи;
- разработки и производства высокотехнологичных узкополосных радиомодемов и полосовых фильтров;
- создания и эксплуатации сложных телекоммуникационных систем в рамках федеральной целевой программы развития цифрового телевидения.

Сотрудники АО «НИРИТ» совместно с ООО «НИРИТ-СИНВЭЙ Телеком Технолоджи» приняли участие в развертывании национальной сети профессиональной радиосвязи МАКВИЛ. Подробнее о реализации проекта читайте на официальном сайте компании.



**Многолетний опыт**  
и лучшие специалисты в отрасли



**Комплексная экспертиза**  
от разработки оборудования  
до строительства и эксплуатации сетей



**Решение любых нестандартных задач**  
в области радиосвязи



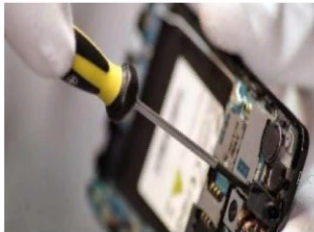
Строительство объектов связи



Проектно-исследовательские работы



Консалтинг



# СОДЕРЖАНИЕ

## **ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ В ИНФОКОММУНИКАЦИЯХ. ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ГОСУДАРСТВА И ОБЩЕСТВА. ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ БИЗНЕС-ТЕХНОЛОГИИ**

*М.Ф. Гумеров, В.А. Седая*

**Особенности внедрения инновационных процессов и продвижения на рынок их результатов в современных условиях** 5-14

*Д.К. Овсянникова, А.В. Шишов, А.М. Кухаренко*

**Реализация концепции «третьей доверенной стороны» на базе технологий государственной электронной почтовой системы** 14-22

*О.И. Шаравова, Ю.А. Романцова, У. Хао, С. Пэйсинь*

**Анализ перспектив развития интеллектуальных экосистем на примере китайских компаний** 22-29

*Т.А. Кузовкова, О.П. Алмаева, О.Ю. Сибейкин, П.С. Чернышова*

**Характер и компоненты цифровой трансформации мировой и национальной энергетики** 29-36

*Д.М. Купцова*

**Обзор законодательства, регулирующего интернет-рекламу, на примере Беларуси, России и Казахстана** 36-45

## **СИСТЕМЫ, СЕТИ И УСТРОЙСТВА СВЯЗИ. РАДИОТЕХНИКА. АНТЕННЫ. ЭЛЕКТРОННАЯ КОМПОНЕНТНАЯ БАЗА. ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ. МЕТРОЛОГИЯ**

*Л.А. Плотников*

**Анализ помехового взаимодействия передатчиков фиксированной службы с приемниками спутниковой группировки «Сфера»** 46-65

*Б.М. Антипин, Е.М. Виноградов, Е.В. Шаброва*

**Способы радиоконтроля беспилотных авиационных систем** 66-76

*А.В. Семашко, А.Д. Абакшин*

**Повышение достоверности мобильной цифровой связи в сетях пятого и шестого поколения** 76-85

*А.А. Прасолов, Р.С. Роцинский, А.С. Федоров, Д.М. Чудинов*

**Обзор систем проведения радиоизмерений и оценки качества покрытия сетей мобильной связи** 85-102

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ, СЕТИ И ТЕХНОЛОГИИ.  
ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ.  
ИНФОРМАТИКА И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ.  
ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ**

<i>С.А. Шинкарев, Н.В. Евглевская, П.Н. Антонов, Т.Р. Магдеев</i> <b>Методика оптимизации сетки линий сети связи как программно-конфигурируемой сети</b>	<b>103-110</b>
<i>С.А. Шинкарев, Н.В. Евглевская, П.Н. Антонов, Т.Р. Магдеев</i> <b>Методика нахождения месторасположения контроллера на программно-конфигурируемой сети</b>	<b>110-121</b>
<i>Е.В. Кокорева</i> <b>Изучение телекоммуникационных технологий с помощью сетевых симуляторов</b>	<b>122-130</b>
<i>Е.В. Сюдюкова</i> <b>Анализ потенциала инноваций облачных технологий в аддитивном производстве</b>	<b>130-139</b>

# **ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ В ИНФОКОММУНИКАЦИЯХ. ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ГОСУДАРСТВА И ОБЩЕСТВА. ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ БИЗНЕС- ТЕХНОЛОГИИ**

## **ОСОБЕННОСТИ ВНЕДРЕНИЯ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ И ПРОДВИЖЕНИЯ НА РЫНОК ИХ РЕЗУЛЬТАТОВ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ**

*М.Ф. Гумеров, д.э.н., профессор, Московский технический университет связи и информатики, m.f.gumerov@mtuci.ru;*

*В.А. Седая, Московский технический университет связи и информатики, sedaya.lera.1999@mail.ru.*

**УДК 338.534**

---

**Аннотация.** В статье дано определение инновации, исследован опыт российских компаний по цифровой трансформации бизнеса, рассмотрены типы маркетинговых инноваций, определены принципы сегментирования инновационного рынка.

**Ключевые слова:** инновации; цифровая трансформация; инновационный маркетинг; инновационный процесс.

## **FEATURES OF MARKETING OF INNOVATIVE PRODUCTS IN MODERN CONDITIONS**

*Marat Gumerov, doctor of economics, professor, Moscow Technical University of Communications and Informatics;*

*V.A. Sedaya, Moscow Technical University of Communications and Informatics.*

**Annotation.** The article defines innovation, examines the experience of Russian companies in digital business transformation, considers the types of marketing innovations, defines the principles of segmentation of the innovation market.

**Keywords:** innovation; digital transformation; innovative marketing; innovation process.

---

### **Введение**

Понятие «инновация» появилось в результате использования различных новаторских идей, а также в процессе анализа результатов научных исследований и разработок, направленных на совершенствование процесса производственной деятельности, экономических, правовых и социальных отношений в области науки, культуры, образования, в других сферах деятельности общества. Инновация понимается как окончательный результат процесса инновационной деятельности, который получает свое развитие в виде нового или усовершенствованного продукта, предназначенного для реализации на рынке, более совершенного технологического процесса, который в дальнейшем будет применен на практике. Таким образом, конечным результатом инновации является коммерческий успех предприятия.

Актуальность выбранной темы исследования обусловлена тем, что ведущие российские компании активно продвигаются по пути цифровой трансформации бизнеса. Такова цель проведенной работы, при ее достижении получены следующие результаты.

### **Анализ отечественной практики внедрения инновационных процессов**

Процессом инновации считается внедрение инновационного продукта на рынок и в производство [1]. Консалтинговая компания КПМГ совместно с Агентством стратегических инициатив (АСИ) провели опрос о порядке внедрения инноваций российскими компаниями. Авторы исследования опросили 148 крупных российских предприятий, каковы цели внедрения инноваций, как организована работа с инновациями, кто за нее отвечает, по каким критериям оцениваются результаты проектов и какова система вознаграждений за инновационную деятельность. Результаты оказались следующие [2].

До пандемии 51% опрошенных выполняли пилотные проекты по внедрению инноваций или цифровой трансформации. Главная цель респондентов в работе с инновациями – защита текущего положения на рынке (31% респондентов). 24% компаний форсируют инновации ради выполнения требований законов и регуляторов. 20% – ради повышения операционной эффективности. А 14% – ради пиара. И только 2% респондентов занимаются инновациями ради выхода на новые рынки и выпуска новых продуктов. Только в 7% компаний есть должности директора по цифровым технологиям или руководителей программ цифровизации. У 27% респондентов вообще нет подразделений, которые бы занимались работой с инновациями и НИОКР. Выяснилось, что большинство оценивает результаты инвестиционной деятельности главным образом по суммам сделанных инвестиций и только у каждой пятой компании есть система мотивации, стимулирующая инновационную деятельность.

В четверти компаний происходят конфликты, связанные с финансированием инновационной деятельности. Подразделения по инновациям нуждаются в больших инвестициях при сравнительно низкой результативности: из 15 проектов могут «выстрелить» один или два, а остальные «прогорят». И даже успешные проекты принесут прибыль не сразу. Большинство компаний не создают отдельных центров компетенций по инновациям и цифровым технологиям, хотя именно они, по идее, должны быть «застрельщиками» изменений, говорится в отчете *KPMG*. Общекорпоративным центром инноваций обзавелся лишь 1% респондентов. У 36% центра инноваций нет, но есть подразделения НИОКР. У 30% респондентов есть люди, занимающиеся НИОКР и работой с инновациями, но они рассредоточены по разным подразделениям. В *X5 Retail Group* есть центр инноваций ритейла, который возглавляет директор по инновациям, – рассказывает представитель компании. В департаменте три подразделения, их основная задача – создать «воронку идей» (кейсов), которые можно тестировать и конвертировать эти идеи в успешные проекты, которые серьезно повышают экономическую эффективность текущих процессов компании или улучшают клиентский опыт. Центры разработки инноваций есть во всех высокотехнологичных компаниях, входящих в АФК «Система». В МТС, например, помимо центров компетенций имеются собственные акселераторы для внутренних и внешних инновационных проектов, расширяющих экосистему цифровых сервисов компании [3].

При этом 75% российских компаний считают, что инновации оказывают существенное влияние на развитие их бизнеса или хотя бы просто вносят позитивный вклад в это развитие, согласно исследованию *KPMG*. В «ВымпелКоме»

есть отдельное подразделение по инновациям, которое обеспечивает приток новых продуктов, и центр технологической экспертизы для разработки передовых технологий в сфере больших данных, телевидения и других СМИ, и решений для самообслуживания клиентов-физлиц, – рассказывает представитель компании. В «МегаФоне» действует «технологическая песочница» – площадка для тестирования гипотез, проведения пилотов со стартапами и внедрения инновационных решений. За время работы площадки утверждено более 100 пилотных проектов, которые относятся к девяти приоритетным для компании кластерам развития. В банке «Открытие» в 2019 г. был создан сервис стратегической аналитики, который готовит аналитические материалы по инновационным решениям для бизнес- и ИТ-подразделений. Далее материалы передаются на фабрику пилотов, которая создана в банке в начале 2020 г. и включает представителей ИТ-блока и департамента стратегии. Управленческая команда компании генерирует идеи, которые потом развивают, пилотируют и внедряют подразделения – заказчики инноваций. Компания «Черкизово» в 2020 г. создала аналитический центр, который занимается ее инновационным развитием. В дальнейшем корпорация планирует наладить сотрудничество с институтами развития, технологическими компаниями, учебными заведениями и научными организациями.

В «Сибуре» количество центров инноваций теоретически не ограничено. Они могут создаваться для развития новых технологических направлений, будь то цифровые, производственные технологии или новая ИТ-инфраструктура. Их курируют разные директора, а руководят центрами авторы идей и эксперты по технологиям. В «Северстали» создана сеть более, чем из 20 центров технологического развития, которые развернуты на производственных площадках компании, говорит представитель «Северстали». Они изучают мировую практику в поисках новых технологических решений и адаптируют их. В компании также функционируют центры развития новых продуктов, ИТ и цифровых проектов. Загорский трубный завод (ЗТЗ) не видит необходимости в создании отдельного подразделения с пересекающимися функциями. Такие центры нужны ритейлерам, банкам и географически распределенным компаниям. Роль центра компетенций и цифровизации на ЗТЗ выполняет подразделение информационных технологий, оно в сотрудничестве с бизнес-подразделениями руководит внедрением ИТ-инноваций.

Также 16% компаний сообщили, что никакого экономического эффекта от внедрения инноваций не ощутили. Само по себе наличие отдельного центра инноваций не делает компанию инновационной, гораздо важнее общая открытость корпоративной культуры компании инновациям. Если центр инноваций просто собирает идеи, большого толка не будет [4]. Он будет приносить пользу при условии, что будет вместе с обратившимся инноватором исследовать возникшую проблему, вместе искать инновационное решение и убеждать руководителей бизнес-подразделений опробовать получившееся нововведение. Но таких центров инноваций в российских компаниях ничтожно мало. Как показал опрос, только 33% респондентов используют особые подходы для оценки инновационных проектов – остальные оценивают их так же, как обычные инвестиционные проекты.

При оценке инновационной деятельности в целом компании ориентируются преимущественно на объем инвестиций (29%), прирост выручки и прибыли благодаря инновациям (15%), а также на возможность выполнения запланированных организационных мероприятий (15%). Еще 11% респондентов оценивают инновационную деятельность по финансовым метрикам (*IRR*, *ROI*, *NPV* и т.д.). По данным отчета *KPMG* чаще всего при формировании *KPI* по инновациям

компании опираются на количество запускаемых инновационных проектов в компании, число внедренных технологий и исполнение выделенного на эти цели бюджета. В банке «Открытие» у каждого инновационного проекта индивидуальные показатели эффективности: выдвигается индивидуальная для каждого проекта гипотеза, связанная с ростом продаж, снижением трудозатрат и ростом удовлетворенности клиентов, потом по итогам проекта измеряется его результат. Однако главная цель проекта – его завершение в определенный срок, а не обязательный позитивный результат, так как у создателей инноваций есть право на ошибку [5]. В «МегаФоне» деятельность «технологической песочницы» оценивают по числу внедренных в компании проектов и их финансовым показателям [6]. У отдельных «пилотов» особые *KPI*, например, в сфере технологий для маркетинга – рост конверсии в воронке продаж, в «Умном ЦОДе» – экономия электричества и повышение скорости устранения неполадок и сбоев.

По данным *KPMG*, в целом 26% респондентов выбирают для оценки инвестиционной деятельности финансовые *KPI*. Вопрос о качестве такого подхода пока остается открытым. В России компании чаще всего привязывают оценку инновационных проектов и *KPI* инновационной деятельности именно к финансовому эффекту от внедрения инноваций, но это ведет к тому, что выбираются наименее рискованные проекты, где можно быстро получить прибыль [7]. Помимо финансовых *KPI* нужно учитывать также нефинансовые, например показатели эффективности использования технологий (рост качества плавки металла, время, потраченное на какие-либо процессы и т.д.). Компания РЖД включила в систему показателей оценки цифровых проектов, такие как доля пользователей систем РЖД, использующих отечественное программное обеспечение, или количество работников, прошедших обучение по программам цифровой грамотности, рассказывает представитель компании [8].

Согласно исследованию *KPMG*, основные проблемы при внедрении инноваций заключаются в неправильной системе мотивации сотрудников. Уровень вовлеченности сотрудников низок, потому что они не видят связи между их работой по внедрению инноваций и вознаграждением. К тому же многие боятся, что их накажут за инициативность и неудачи в проектах. По данным отчета, в 14 компаниях из 148 провал проекта означает административные или финансовые последствия для исполнителей. 133 респондента говорят о репутационных потерях участников проекта. И только одна компания сообщила, что воспринимает провал проекта как полезный опыт. 79% участников исследования не имеют отдельных систем финансовой и нефинансовой мотивации инновационной деятельности: вознаграждения определяются по формальным признакам и не сопоставляются с эффектом от внедрения инноваций, а нефинансовая мотивация применяется эпизодически. Только у 13% респондентов вознаграждение связано с реальным эффектом от внедрения инноваций. И только в 13% компаний система мотивации охватывает всех участников инновационной деятельности. В подавляющем большинстве речь идет о вознаграждении только топ-менеджмента и проектных команд по внедрению.

Для превращения идеи в продукт или новое направление бизнеса требуются значительные усилия, поэтому для успеха инноваций нужно предусматривать бюджеты на проверку гипотез, а также выделять долю прибыли от нового направления, которую получит сотрудник в случае удачи [9]. У топ-менеджмента ЗТЗ есть базовые *KPI* – результаты тех направлений, которые они возглавляют. Но топ-менеджер, например директор по планированию и производству, может одновременно руководить цифровым проектом. И у него, как и у других членов



команды внедрения проекта, есть показатели эффективности по цифровому проекту (соблюдение сроков и бюджета). Руководитель проекта получает до 25% премиального фонда за успешную реализацию проекта, команда – 50%, а остальные 25% распределяются между смежными подразделениями, которые содействовали выполнению проекта.

В компании-производителе микросхем «Микрон» (входит в АФК «Система») инициировать проект и получить денежное вознаграждение может каждый сотрудник предприятия. Сейчас уже выполняются более десятка таких инициатив, например, внедряется автоматизированная *RFID*-система складского учета. «Северсталь» организует для сотрудников открытые форматы общения – акселераторы или фабрики идей, где они могут предлагать свои идеи, стоящие идеи внедряются, и сотрудник получает инвестиции на собственный проект или премию. Какова бы ни была система мотивации, заниматься инновациями сотрудникам в любом случае выгодно. Согласно исследованию, успешная реализация проекта в 74% компаний положительно влияет на материальное вознаграждение, а в 23% – на карьерные перспективы сотрудников.

### **Особенности продвижения на рынок результатов инновационных процессов**

Однако ошибочно полагать, что функция маркетинга инноваций заключается только в продвижении на рынок абсолютно нового товара. Исходя из исследований профессора британского Уорвикского университета Питера Дойля, такими являются только два из 10 обсуждаемых СМИ новшеств [10]. Остальные восемь – это новый взгляд на использование уже известных продуктов, выход товара на новейшие сегменты или новые методы предпринимательской деятельности и изменения в сфере услуг. В этой статье мы рассмотрим основные особенности данной области бизнеса.

Рассмотрим типы маркетинговых инноваций [11]:

1. Новые старые товары. Эта инновация включает в себя новые методы использования известной потребителю продукции.
2. Новые рынки. Поиск новой группы покупателей.
3. Новые стратегии ведения коммерческой деятельности. Этот тип инновации подразумевает поиск новых путей поставки старой продукции. В современном мире они стали основной почвой для создания идей инновационного маркетинга.

В табл. 1 представлена систематизация субъектов и объектов инновационного процесса [12, 13].

Таблица 1.

<b>Название категории</b>	<b>Субъекты</b>	<b>Их задачи и функции</b>
Основной субъект	Компания, представляющая инновацию	На ранних стадиях – рост, на поздних – стабильное развитие и расширение

<b>Название категории</b>	<b>Субъекты</b>	<b>Их задачи и функции</b>
Субъекты, генерирующие идеи	Изобретатель (физическое лицо) Государственные учреждения (юридические лица) Коммерческие организации	На их базе создаются инновации
Субъекты, управляющие процессом	Главный менеджер (физическое лицо) Управляющая фирма (юридическое лицо)	Управляют инновационными проектами
Субъекты финансирования	Программы и фонды государства Частные предприятия Инновационный инвестор (может быть, как юридическим, так и физическим лицом)	Зависит от этапа коммерциализации (процесса превращения инновации в рыночный товар)
Субъекты инновационной инфраструктуры	Технопарки Бизнес-инкубаторы	Помогают создавать и продвигать инновационные проекты
	Консалтинговые фирмы	Исследуют рынок и предложения конкурентов, решают юридические вопросы, создают тактику развития
Субъекты государственного и общественного контроля	Государственные органы Общественные организации	Стабилизируют инновационный процесс, отстаивают интересы работников инновационной сферы
Субъекты потребления инновационного товара	Частые и государственные компании Физические лица	Непосредственно для них производится продукция

К объектам процесса маркетинга инноваций относят [14]:

1. Государственные и общественные документы, которые контролируют инновационную деятельность, а именно – законы, нормативные акты, инструкции.

2. Подтверждения интеллектуальной собственности: свидетельства об авторстве, патенты и т.д.
3. Лицензии на инновационный товар, сертификаты.
4. Инновационные проекты.
5. Доли инновационных компаний и акции.
6. Объекты инновационного изготовления.
7. Договоренности и сделки между субъектами инновационного процесса.

Основы маркетинга инноваций строятся на задачах, содержание которых зависит от этапа инновационного процесса [15, 16]:

1. *Поиск новых идей.* Маркетологи проводят исследования, анализируя ситуацию на рынке с целью поиска «рыночной ниши». Результаты исследований становятся почвой стратегии маркетинга инноваций.

2. *Разработка.* Самые удачные идеи отбираются для создания «пробных образцов». Изучаются нынешние тенденции рынка, его прогрессивные направления. «Пробный образец» поступает на рынок для выявления ошибок и апробации.

3. *Внедрение.* Важно сделать широкодоступными сведения об инновации. Также маркетологам необходимо задать ценовую политику, сформировать предпочтения потребителя и разработать удовлетворительную сбытовую схему.

4. *Рост.* Круг потребителей становится шире, конкуренты вводят инновации, ускоряя развитие рынка. Необходимо провести масштабную рекламную кампанию для получения максимального спроса на товар, т. к. фирма уже перестает быть монополией.

5. *Этап зрелости.* Характеризуется стабильным объемом сбыта, размер которого зависит от приоритетов покупателей. Новое уже перестает быть новым, инновация становится старым продуктом. Задача маркетинга – разработать и реализовать план по сохранению за корпорацией своей части рынка.

6. Инновационный процесс заканчивается *этапом спада*. Чтобы избежать лишних расходов на продвижение неконкурентоспособного продукта, необходимо вовремя вывести его с рынка и заменить более совершенной инновацией. Уже на этом этапе нужно искать идеи для следующих инновационных проектов, чтобы процесс запустился заново.

Стратегический маркетинг нацелен на анализ экономической ситуации, складывающейся на рынке, с целью разработки сегментации рынка, развития спроса и моделирования поведения потребителей. Работа корпорации направлена на взятие рынка, наращивание и углубление его сегментации, на формирование своего покупателя (т.е. необходимо не просто учесть желания современного потребителя, а и предсказать, что будет актуально в будущем). Главная особенность маркетинга инноваций стратегического типа – это тесный контакт маркетологов и социологов фирмы с клиентами. Они проводят опросы по телефону и всевозможные анкетирования. Мало просто разнообразить ассортимент товаров, необходимо также разработать стратегию старения своей же продукции для последующего введения инноваций, которые заменят или улучшат ее. Оперативный маркетинг – это вид (метод) маркетинга инноваций, который занимается разработкой конкретных форм воплощения выбранной ранее стратегии. Он направлен на значительное увеличение объема продаж, расширение рынка сбыта и сохранение имиджа предприятия. Помимо этого, к задачам оперативного маркетинга относят:

- создание детального письменного плана по продвижению товара, которым будут пользоваться сотрудники фирмы, работающие в сфере маркетинга;
- расчет предстоящих расходов, включающих затраты на оперативный маркетинг в пределах суммарного бюджета фирмы;
- регулирование маркетинговой работы фирмы: наблюдение за ходом выполнения ежегодных планов, контроль прибыльности и стратегический контроль.

Весь процесс менеджмента маркетинга инноваций можно поделить на четыре базовых блока. В первую очередь проводится прогнозирование и анализ возможностей рыночных инноваций. В этот процесс входит конкретизация целей анализа, проведение исследований в сфере маркетинга, изучение информационной системы и новинок научно-технического прогресса. Далее следуют этапы:

1. Первый блок можно назвать аналитическим. Рекомендации, разработанные в нем, диктуют принятие решений во всех остальных блоках.

2. Во втором блоке происходит выбор целевого рынка. Важно учесть сегментирование рынка, проанализировать привлекательность сегментов и определить место вашего товара среди конкурентов в восприятии покупателя.

3. Разработка комплекса маркетинга (условно третий блок) включает в себя анализ стадий инновационного процесса, проектирование инновационного продукта, выбор рыночной стратегии и ценовой политики, налаживание коммуникативных связей.

4. Четвертый блок – это заключительный этап организации инновационного маркетинга – это практическая реализация маркетинговых мероприятий. На этой стадии происходит разработка маркетингового плана, создание годового маркетингового бюджета и оценка реализации плана.

Инновационный рынок, как и любой другой, делится на сегменты. К основным принципам сегментирования инновационного рынка относят:

- функциональный;
- продуктово-отраслевой;
- географический;
- дисциплинарный;
- проблемный.

Функциональный принцип подразумевает распределение потребителей по их функциям. Этот принцип шире продуктово-отраслевого, так как фирма заинтересована в нескольких инновационных проектах, направленных на одну функцию. Например, вместо разработки конкретного проекта по дополнительному оборудованию автомобилей можно взять несколько инновационных проектов, связанных с перевозкой пассажиров. Продуктово-отраслевой принцип подходит для многопрофильных фирм, а также для предприятий, которые выпускают инновационную продукцию широкого спектра применения. Можно очертить две сферы: производственная и непроизводственная, в каждой из них есть свои отрасли и подотрасли. При географическом принципе рынок делится на регионы, в каждом из которых требования к инновационной продукции разные. В первую очередь, такое распределение необходимо при производстве научно-технической продукции, регион очень сильно будет влиять на потребности покупателя в этой сфере, особенно если речь идет о конечном продукте. Также при географическом делении важно обратить внимание как на внутригосударственный, так и на

международный рынок. Дисциплинарный принцип отталкивается от того, что потребителей инновационной продукции интересует одинаковая научная дисциплина, например, биология, математика, физика. Потребители при таком распределении могут выполнять неодинаковые функции и находиться в разных регионах. Проблемный принцип возник из-за того, что глобальные научные проблемы (например, искусственный интеллект) появляются на стыке научных дисциплин. Они имеют межотраслевой и межфункциональный характер.

### **Заключение**

Изменения в мире создают условия для появления инноваций. Цель инновационного маркетинга – вовремя уловить эти изменения. Он включает в себя маркетинг инновационных товаров и услуг, новшества в стратегии менеджмента, формирование его новой системы. Какими будут основные задачи, поставленные перед данной областью бизнеса, зависит от этапа инновационного процесса.

### **Литература**

1. Горина А.П. Ассортиментная политика фирмы в условиях альтернативного выпуска // *Контентус*, 2018. – № 11. – С. 183-189.
2. Агентство стратегических инициатив и КППМГ изучили открытость российских компаний к инновациям // <https://asi.ru/news/153157/> (дата обращения 29.08.2023).
3. Как крупнейшие компании внедряют инновации // <https://www.vedomosti.ru/management/articles/2020/09/24/841148-krupneishie-kompanii> (дата посещения 29.08.2023).
4. Калашников Д.В., Кособокова Е.В. Построение системы внутрифирменного бизнес-планирования предприятия на современном этапе // *Региональная экономика: теория и практика*, 2020. – № 38. – С. 73-82.
5. Банк «Открытие» оптимизировал процессы с помощью новой платформы // <https://plus.rbc.ru/pressrelease/63ad43347a8aa99247e034ef> (дата обращения 29.08.2023).
6. ПАО «МегаФон» [Электронный ресурс] <https://corp.megafon.ru/about/mission> (дата посещения 29.08.2023).
7. Варламов А.С. Совершенствование управления ассортиментом на современных производственных предприятиях // *Экономика и менеджмент*, 2018. – № 2. – С. 37-38.
8. Как крупнейшие компании внедряют инновации // <https://www.vedomosti.ru/management/articles/2020/09/24/841148-krupneishie-kompanii> (дата посещения 29.08.2023).
9. Савкина Р.В., Мальцева Е.Г. Особенности стратегического планирования в условиях кризиса // *Научный альманах*, 2019. – № 3-1 (17). – С. 301-307.
10. Булгакова А. Р. Разработка стратегических ориентиров устойчивого развития организации // *Молодой ученый*, 2017. – № 27. – С. 366-369.
11. Ковач А.М. Сценарное планирование в современном стратегическом менеджменте // *Молодой ученый*, 2018. – № 29. – С. 419-422.
12. Плотников С.Л., Брук В.А., Яцук К.В. Планирование как функция управления // *Молодой ученый*, 2019. – № 21. – С. 910-913.
13. Красюк И.А. Экономические границы сетевой торговли // В сборнике: *Проблемы и пути социально-экономического развития: город, регион, страна, мир VI международная научно-практическая конференция: сборник статей*. Под общей редакцией В.Н. Скворцова отв. ред. Н.М. Космачева, 2017. – С. 106-112.

14. Саакян В.А. Сущность и типология стратегий предприятий // Молодой ученый, 2018. – № 15. – С. 415-419.
15. Лясников Н.В. Стратегический менеджмент / Н.В. Лясников, М.Н. Дудин. – М.: КноРус, 2013. – 256 с.
16. Нальгиева Х.Л. Роль планирования в стратегическом менеджменте // Успехи современной науки, 2017. – Т. 2. – № 4. – С. 24-27.

## РЕАЛИЗАЦИЯ КОНЦЕПЦИИ «ТРЕТЬЕЙ ДОВЕРЕННОЙ СТОРОНЫ» НА БАЗЕ ТЕХНОЛОГИЙ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ПОЧТОВОЙ СИСТЕМЫ

*Д.К. Овсянникова, к.э.н., Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации, d.ovsyannikova@digital.gov.ru;*  
*А.В. Шишов, АО «Почта России», Alexander.Shishov@russianpost.ru;*  
*А.М. Кухаренко, Московский технический университет связи и информатики, a.m.kukharenko@mtuci.ru.*

### УДК 656.8

**Аннотация.** В данной статье авторами рассматриваются технологии государственной электронной почтовой системы (далее также – ГЭПС) в части их применимости при построении доверенного пространства юридически значимых коммуникаций участников гражданско-правовых и административно-правовых отношений.

**Ключевые слова:** электронная подпись; третья доверенная сторона; юридически значимые коммуникации; государственная электронная почтовая система; почтовая связь.

## IMPLEMENTATION OF THE CONCEPT OF «THIRD TRUSTED PARTY» ON THE BASIS OF TECHNOLOGIES OF THE STATE ELECTRONIC POSTAL SYSTEM

*Daria Ovsyannikova, Candidate of Economic Sciences, Ministry of Digital Development, Communications and Mass Media of the Russian Federation;*  
*Aleksandr Shishov, Russian Post JSC;*  
*Alexandra Kukharenko, Moscow Technical University of Communications and Informatics.*

**Annotation.** In this article the authors consider the technologies of the state electronic mail system in terms of their applicability in building a trusted space of legally significant communications of participants in civil law and administrative law relations.

**Keywords:** electronic signature; third trusted party; legally significant communications; state electronic postal system; postal service.

### Введение

Законодательство Российской Федерации содержит ряд правовых норм, регулирующих правоотношения по применению информационных технологий при обеспечении юридически значимых коммуникаций. Вместе с тем такие нормы носят разрозненный характер, содержатся в правовых актах различного уровня и различных сфер правоприменения.

Указанные положения при этом направлены на регулирование составляющих элементов процесса, не обеспечивая единого регулятивного пространства для «полного цикла» электронного взаимодействия, который должен включать в себя подпроцессы создания, подписания, обмена, обработки, хранения и уничтожения электронных документов, а также закрепление фактов действий (бездействий), осуществленных в рамках таких подпроцессов [1].

В ответ на сохраняющуюся неопределенность правового ландшафта в области обеспечения единого цикла электронного взаимодействия, учитывая невозможность кодификации разрозненных норм, органы государственной власти предпринимают попытки решения указанной проблемы через закрепление межотраслевой суперсущности – «доверенной третьей стороны» (далее также – ДТС), в задачи которой должно входить обеспечение пространства доверия между различными участниками делового оборота. При этом на уровень ДТС делегируются полномочия, реализация которых силами самих участников коммуникации может быть затруднена вследствие угрозы недобросовестных действий сторон [2].

Однако в законодательстве Российской Федерации отсутствуют единообразные решения по построению и функционированию системы доверенных цифровых юридически значимых коммуникаций по схеме «полного цикла». Вышесказанное обуславливает актуальность проведенного исследования.

Объектом исследования выступают технологии государственной электронной почтовой системы. Предметом исследования является применимость технологий государственной электронной почтовой системы при построении доверенного пространства юридически значимых коммуникаций участников гражданско-правовых и административно-правовых отношений.

Целью данного исследования является определение возможности построения доверенного пространства юридически значимых коммуникаций участников гражданско-правовых и административно-правовых отношений на базе технологий ГЭПС.

Для достижения указанной цели в исследовании будет решен ряд задач:

- 1) составление перечня технологий ГЭПС, обеспечивающих исполнение функций, связанных с коммуникациями участников делового оборота;
- 2) проведения анализа технологий на предмет их необходимости и достаточности для построения доверенного пространства.

### **Полный цикл документооборота**

Законодательство Российской Федерации рассматривает документ как сумму следующих квалифицирующих признаков: материальный носитель, зафиксированная на нем информация и реквизиты, позволяющие определить или идентифицировать экземпляр документа<sup>1</sup>. Таким образом, состав содержащейся документированной информации не влияет на свойство «документности». Вместе с тем в экономической деятельности использованию подлежат только документы, влекущие или подтверждающие возникновение определенных прав и обязанностей участников такой деятельности. Так, документированная форма свойственна договорам, закрепляющим сделку в письменной форме. И хотя документированная форма вызывает повышенные транзакционные издержки на заключение сделки, она обеспечивает их снижение для процессов администрирования сделки, которые

---

<sup>1</sup>Федеральный закон от 27.07.2006 № 149-ФЗ «Об информации, информационных технологиях и о защите информации», Федеральный закон от 29.12.1994 № 77-ФЗ «Об обязательном экземпляре документов».

в свою очередь, включают исполнение договорных условий, оспаривание фактов их исполнения и учет фактов коммерческой деятельности.

Рассматривая жизненный цикл сделки, П. Рожков выделяет этапы прокьюременты (возникновение потребности в сделке, формулирование условий, поиск и проверка контрагента), подготовки и согласования текста договора, его подписания (создания) и доставки участникам, исполнения (включая оспаривание), учета и прекращения. Таким образом, договорная деятельность представляет собой не столько факт закрепления сторонами определенных условий в конкретный момент, сколько распределенную во времени структуру, которая выстраивается на основе узловых событий на треке жизненного цикла сделки и особого типа связей, скрепляющих такие события (факты) между собой [3].

Уязвимость любого из этих элементов способна привести к разрушению всей структуры при внешнем злонамеренном воздействии (к примеру, в случае если недобросовестный поставщик ищет возможность избежать ответственности за срыв сделки за счет попытки признания ее условий недействительными). При этом можно констатировать определенную делопроизводственную асимметрию, при которой количество юридически значимых документов, необходимых для закрепления и формализации указанных узлов и связей, возрастает по мере продвижения по указанным этапам [4].

Для упрощения реализации этапов жизненного цикла сделки участники делового оборота обращаются к рыночному предложению соответствующих услуг юристов, сервисов электронного документооборота, удостоверяющих центров, электронных архивов. Вместе с тем в текущих рыночных условиях организации, предоставляющие соответствующие услуги, сосредоточены на развитии узкой специализации на одном-двух из всех этапов жизненного цикла сделки. Это не только повышает совокупные затраты на пользование такими услугами, но и вызывает новые проблемы, к примеру, связанные с отсутствием взаимного роуминга между операторами электронного документооборота или с различиями в используемых форматах машиночитаемых доверенностей к электронным документам<sup>2</sup>. Взамен поставщики таких услуг способны предложить более содержательные и многогранные способы пользования услугами, что востребовано, в основном, в исключительных нетиповых случаях.

### **Единая экосистема**

Объединение подпроцессов, входящих в жизненный цикл сделки, в рамках единой экосистемы цифровых сервисов позволит устранить избыточные затраты участников делового оборота, снять риски контрагента и компрометации чувствительных данных, а также обеспечить единое пространство доверия для участников коммуникации различного уровня [5].

Претендентами на статус такой экосистемы могут считаться структура Доверенной третьей стороны по Федеральному закону «Об электронной подписи», Единый портал государственных и муниципальных услуг (ЕПГУ) и Государственная электронная почтовая система (ГЭПС).

Законодательство Российской Федерации определяет<sup>3</sup> ДТС как юридическое лицо, осуществляющее деятельность по проверке электронной

---

<sup>2</sup> Приказ Минцифры России от 18.08.2021 № 858 «Об утверждении единых требований к машиночитаемым формам документов о полномочиях».

<sup>3</sup> Федеральный закон от 27.12.2019 № 476-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об электронной подписи», Федеральный закон «О защите прав юридических лиц и индивидуальных предпринимателей при осуществлении государственного контроля (надзора) и муниципального контроля».



подписи в электронных документах в конкретный момент времени в отношении лица, подписавшего электронный документ, для обеспечения доверия при обмене данными и электронными документами. Электронной подписью является «информация в электронной форме, которая присоединена к другой информации в электронной форме (подписываемой информации) или иным образом связана с такой информацией и, которая используется для определения лица, подписывающего информацию»<sup>4</sup>.

Технология электронной подписи позволяет обеспечить неизменность электронного документа, установление личности подписанта, установление даты и времени создания документа. Вместе с тем указанная технология сама по себе не обеспечивает возможность проверки полномочий лица, подписавшего электронный документ, проверки фактов надлежащего направления и получения электронных документов, обеспечения процедур корректного хранения и уничтожения документов [6, 7].

Таким образом, текущая реализация ДТС «электронной подписи» не позволяет поддержать полный цикл документа и требует расширения или реинтерпретации для обеспечения всех потребностей участников делового оборота.

Единый портал государственных и муниципальных услуг (далее – ЕПГУ), изначально задуманный как способ «выпрямления» взаимодействия государства и граждан, в последние годы претендует на включение в контур своего влияния не только административно-правовых, но и гражданско-правовых отношений [8]. Указанный мотив прослеживается от реализации функции «запись к врачу» до последних законодательных инициатив по превращению личного кабинета пользователя ЕПГУ в центр обмена «юридически не значимыми» сообщениями между пользователями. Однако превращению ЕПГУ в единую экосистему электронных коммуникаций препятствует государственный статус этой системы и, как следствие, наблюдается отсутствие защиты конфиденциальных данных, передаваемых оператору ЕПГУ, от использования таких данных в целях государственного управления.

Оператор ГЭПС является оператором почтовой связи. Все почтовые отправления, посредством которых документы передаются между контрагентами, регистрируются, а факт их перемещения фиксируется автоматизировано и может быть подтвержден документально. При этом обеспечивается тайна почтовой связи<sup>5</sup>, а несанкционированный доступ к содержимому почтовых отправлений влечет за собой уголовное наказание<sup>6</sup>. Указанные преимущества распространяются как на бумажные, так и на электронные почтовые отправления [9, 10].

### **Технологии ГЭПС**

ГЭПС представляет собой информационную систему организации федеральной почтовой связи, предназначенную для обмена почтовыми отправлениями, пересылаемыми в форме электронного документа, с возможностью гибридной доставки таких отправлений. Гибридная доставка предусматривает возможность преобразования почтового отправления из электронного документа в отправление на бумажном носителе и оцифровку бумажных почтовых отправлений в форму электронного документа. Принципы

<sup>4</sup> Федеральный закон от 06.04.2011 № 63-ФЗ «Об электронной подписи».

<sup>5</sup> Конституция Российской Федерации (принята всенародным голосованием 12.12.1993).

<sup>6</sup> Уголовный кодекс Российской Федерации от 13.06.1996 № 63-ФЗ.

такого обмена закреплены в Правилах оказания услуг почтовой связи<sup>7</sup>, а постановлениями Правительства Российской Федерации<sup>8</sup> ГЭПС прямо предписана к использованию ряду органов исполнительной власти при реализации их функций.

Рассмотрим технологии и особенности ГЭПС, обосновывающие обретение ГЭПС статуса экосистемы, обеспечивающей полный цикл документооборота и наиболее содержательную реализацию концепции ДТС на практике.

Среди требований к таким технологиям можно выделить не только соответствие нормативным правовым актам и обычаям делового оборота, но и необходимость обеспечения всех этапов жизненного цикла документа в целом, а не отдельных его этапов [11, 12]. При этом к ДТС не применяются требования обеспечения этапов, которые, хотя и относятся к жизненному циклу сделки, тем не менее не подразумевают необходимости их фиксации. К примеру, не требуется сохранение истории редакторских правок по проекту договора до момента его представления на согласование контрагента.

В части прокьюремета от ДТС требуется аутентифицировать и идентифицировать участвующих в заключении сделки субъектов, обеспечить удостоверение личности физических лиц, подтвердить их правоспособность и полномочия действовать от имени юридических лиц (при необходимости). Этот этап позволяет уже на этапе подготовки договора значительно снизить риск контрагента [13]. Юридическая значимость действий, реализуемых на данном этапе, обеспечивается за счет совокупности технических, организационных и логистических преимуществ ГЭПС. К таковым относятся: сервис использования удаленной идентификации участников электронного взаимодействия посредством подтвержденных учетных записей ЕСИА (федеральная государственная информационная система «Единый портал государственных и муниципальных услуг/функций»), сервис выдачи простых электронных подписей «Почты России»<sup>9</sup> *Pochta.ID*, сервис выдачи УКЭП аккредитованным удостоверяющим центром «Почты России», право использования сервисов проверки контрагентов СПАРКС, Прима-Информ.

Ключевым преимуществом организации федеральной почтовой связи является всероссийская сеть из более чем 38 000 отделений почтовой связи, в каждом из которых можно легитимно удостоверить личность посетителя с юридически значимым закреплением факта удостоверения личности. Отметим, что такой возможностью пользуются, в том числе Госуслуги в целях подтверждения учетной записи пользователя. Удостоверив личность руководителя организации и проверив его полномочия посредством сервисов ЕСИА и ЕГРЮЛ ФНС России, ГЭПС предоставляет руководителю возможность как личного участия в дальнейшем информационном взаимодействии, так и делегирования такого

---

<sup>7</sup> Утверждены приказом Минкомсвязи России от 31.07.2014 № 234.

<sup>8</sup> Постановления Правительства Российской Федерации от 19.06.2021 № 947 «Об утверждении Правил направления экземпляров постановлений и копий решений по жалобам на постановления по делу об административном правонарушении и материалов, полученных с применением работающих в автоматическом режиме специальных технических средств, имеющих функции фото- и киносъемки, видеозаписи, или средств фото- и киносъемки, видеозаписи, лицу, в отношении которого возбуждено дело об административном правонарушении, в форме электронного документа, подписанного усиленной квалифицированной электронной подписью уполномоченного должностного лица, с использованием Единого портала государственных и муниципальных услуг», от 17.08.2021 № 1358 «Об использовании федеральной государственной информационной системы «Единый портал государственных и муниципальных услуг (функций)» для информирования граждан и организаций о направлении им от государственных органов, органов местного самоуправления, государственных и муниципальных учреждений, иных организаций, осуществляющих публично значимые функции, уведомлений и (или) документов в почтовых отправлениях в форме электронного документа».

<sup>9</sup> Правил оказания услуг почтовой связи, утвержденных приказом Минкомсвязи России от 31.07.2014 № 234.

участия работникам организации, чья личность также устанавливается оператором [14].

В части согласования договора ГЭПС предоставляет возможность обмена регистрируемыми почтовыми отправлениями, подписанными усиленными квалифицированными электронными подписями либо, как допускают Правила оказания услуг почтовой связи, простой электронной подписью [15]. Файлы почтовых отправлений хранятся в ГЭПС с возможностью доступа отправителя и адресата к оригиналу направленного почтового отправления бессрочно. Указанный сервис также применим и при подписании договора. Несмотря на то, что почтовое отправление с текстом договора может быть подписано сторонами простой электронной подписью, такой договор, тем не менее, будет считаться заключенным в силу части 2 статьи 434 Гражданского кодекса Российской Федерации, в соответствии с которой Договор в письменной форме может быть заключен путем обмена письмами. Задача ГЭПС в указанном процессе состоит в том, чтобы проверить неизменность содержимого двух почтовых отправлений и удостоверить личности участников подписания (процедура, реализованная на этапе прокьюременты) [16].

В ряде случаев законодательство требует направить договор (его копию) контрагенту или третьим лицам. Сервис ГЭПС обеспечивает это требование за счет предоставления доступа к файлу ровно в том виде, в котором он был разослан между контрагентами, а юридическая значимость такого направления обеспечивается за счет фиксации фактов доступа к хранимому почтовому отправлению (электронному документу) и невозможностью такого доступа без надлежащего установления личности. При этом участники правоотношений также имеют возможность получить бумажную копию договора, воспользовавшись сервисом гибридизации (печати) почтовых отправлений. Исполнение договора фиксируется в электронной форме посредством обмена электронными закрывающими документами, при этом в организации федеральной почтовой связи – операторе ГЭПС действует проект по предоставлению услуг оператора ЭДО, результаты которого могут быть использованы при обеспечении функционирования ГЭПС как ДТС. Комплекты документов, подготовленных в рамках взаимодействия между контрагентами, могут быть загружены в электронный архив ГЭПС. При этом учитывая, что сервисы ГЭПС и ЭДО предоставляются в настоящее время как самостоятельные, интеграция их в единый процесс документооборота обеспечивает перспективу синергетического эффекта [17].

В процессе исполнения договора создаются закрывающие документы – акты и накладные. Вместе с тем для подпроцессов оспаривания событий по сделке важны не только факты наличия документов, но и факты инициации их подписания, отказа от их подписания сторонами. Оператор почтовой связи по правовому содержанию своей деятельности не только доставляет почтовое отправление от отправителя адресату, но и обеспечивает фиксацию действий отправителя и адресата, направленных на отправку, получение или уклонение от получения (неявку за почтовым отправлением). Надлежащая фиксация уклонения от получения почтового отправления реализована за счет широкой сети отделений почтовой связи: непосредственно по почтовому адресу адресата доставляются извещения о поступлении почтовых отправлений. Факт неявки за почтовым отправлением или выраженный в иной форме отказ от получения, тем не менее, в дальнейшем приравнивается судами как факт надлежащего извещения адресата о

поступлении ему информации, содержащейся в направленных документах<sup>10,11</sup>. Таким образом, оператор ГЭПС имеет рыночное преимущество в вопросах обеспечения оспаривания за счет фиксации фактов действий (бездействий) с документами.

Подпроцессы учета и хранения обеспечиваются за счет функций бессрочного хранения электронных документов, обеспечения актуальности их электронных подписей<sup>12</sup>. При этом значимым элементом является фиксация оператором ГЭПС действий над хранимым документом: такие действия осуществляются с подтверждением личности лица, получающего доступ, метки времени такого доступа. Удобство сервиса также обеспечивается за счет поисковых фильтров и возможности создания «публичных ссылок» на документ с правом предоставления конкретным лицам или распространения на неограниченный круг лиц.

При реализации указанных подпроцессов в рамках экосистемы доверенной третьей стороны каждому значимому действию оператор ГЭПС присваивает свой идентификатор (ШПИ для направляемых документов и *hid* для фактов действий с ними).

### **Заключение**

Технологии ГЭПС способны обеспечить полный цикл электронного документооборота. Ключевыми технологиями, гарантирующими доверие контрагентов в рамках ДТС, являются: подтверждение лица, коммуницирующего в пространстве доверия, проверка его правоспособности, независимая фиксация фактов в рамках подпроцессов жизненного цикла документооборота, неизменность документов и гарантия их доставки адресату, надлежащие уведомления контрагентов о юридически значимых событиях, хранение электронных документов и возможность подтверждения всех фактов, зафиксированных ДТС, при взаимодействиях с третьими сторонами (судами, проверяющими и контролирующими органами).

Таким образом, авторами определена возможность построения доверенного пространства юридически значимых коммуникаций участников гражданско-правовых и административно-правовых отношений на базе технологий ГЭПС.

### **Литература**

1. Корниенко А.А. Повышение эффективности функционирования службы доверенной третьей стороны // Защита информации. Инсайд, 2018. – № 1 (79). – С. 49-54. – EDN YRENKH.
2. Лошкарев А.В. Правовые аспекты регулирования цифровой среды доверия // Международный журнал гуманитарных и естественных наук, 2020. – № 9-2 (48). – С. 172-175. – DOI 10.24411/2500-1000-2020-11053. – EDN RWZEVN.

---

<sup>10</sup> В соответствии с абз. 2 ст. 165.1 ГК РФ «сообщение считается доставленным и в тех случаях, если оно поступило лицу, которому оно направлено (адресату), но по обстоятельствам, зависящим от него, не было ему вручено или адресат не ознакомился с ним».

<sup>11</sup> В соответствии с п. 64 Постановления Пленума Верховного Суда РФ от 23.06.2015 № 25 «О применении судами некоторых положений раздела I части первой Гражданского кодекса Российской Федерации».

<sup>12</sup> Сервис будет реализован в рамках исполнения требований проектируемого федерального закона о внесении изменений в Федеральный закон от 27.07.2006 № 149-ФЗ «Об информации, информационных технологиях и о защите информации» и отдельные законодательные акты Российской Федерации (в части использования и хранения электронных документов), законопроект № 1173189-7.

3. Цикл сделки: что это такое и как его сократить // Журнал «Генеральный директор» URL: <https://www.gd.ru/articles/10798-tsikl-sdelki> (дата обращения: 26.06.2023).
4. Абдыгалиев А.А. Взаимное признание электронной цифровой подписи странами Евразийского экономического союза в сфере государственных закупок // Молодой исследователь: вызовы и перспективы: Сборник статей по материалам ССVII международной научно-практической конференции, Москва, 06 апреля 2021 года. Том 12 (207). – Москва: Общество с ограниченной ответственностью «Интернаука», 2021. – С. 58-67. – EDN GMDQRB.
5. Конева Н.С. Цифровизация государства и государственной власти // Право цифровой среды: Монография. Под редакцией Т.П. Подшивалова, Е.В. Титовой, Е.А. Громовой. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью «Перспект», 2022. – С. 232-244. – EDN XSMNUE.
6. Курьесев К.Н. Проблемы и перспективы использования электронной подписи в Российской Федерации // Актуальные проблемы публичного права: Сборник научных трудов Всероссийской научно-практической конференции, Владимир, 23 мая 2019 года – 24 мая 2020 года / Редколлегия: О.Н. Дядькин (пред.) [и др.]. Том Выпуск 10. – Владимир: Общество с ограниченной ответственностью «Издательство «Шерлок-Пресс», 2020. – С. 245-250. – EDN JVMVBU.
7. Проблемы и перспективы применения электронной цифровой подписи в международной // Advances in Science and Technology: сборник статей XXXVI международной научно-практической конференции, Москва, 30 апреля 2021 года. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью «Актуальность.РФ», 2021. – С. 290-293. – EDN CUNDRY.
8. Алексеева А.И. доверенная третья сторона // Электронный бизнес: проблемы, развитие и перспективы. Материалы XIX Всероссийской научно-практической интернет-конференции, Воронеж, 28-29 мая 2021 года. Под редакцией В.В. Давниса. – Воронеж: Воронежский государственный университет, 2021. – С. 136-139. – EDN FNNOID.
9. Соловяненко Н.И. Правовой формат цифрового взаимодействия и сервисы электронной подписи в Республике Саха (Якутия) // Роль Республики Саха (Якутия) в развитии российской федеративной государственности: Сборник докладов участников круглого стола, Москва, 12 апреля 2022 года. – Казань: Общество с ограниченной ответственностью «Бук», 2022. – С. 117-120. – EDN LXCERM.
10. Варламова Л.Н. Международный опыт стандартизации хранения электронных документов: доверенная третья сторона // Делопроизводство, 2022. – № 2. – С. 91-95. – EDN LKOSJU.
11. Смирнов Е.Е. Электронная подпись станет надежнее // Аудитор, 2020. – Т. 6. № 4. – С. 3-9. – DOI 10.12737/1998-0701-2020-3-9. – EDN DLIPBL.
12. Чурсина Т.И., Крысенкова Н.Б. Тенденции цифровизации исполнительной власти в зарубежных странах: Научно-практическое пособие. Институт законодательства и сравнительного правоведения при Правительстве Российской Федерации. – Москва: Инфотропик Медиа, 2021. – 222 с. – ISBN 978-5-9998-0366-5. – EDN QTFHAJ.
13. Терещенко Л.К. Единая цифровая среда доверия как условие формирования цифровой экономики // Информационное право, 2020. – № 4. – С. 12-15. – EDN GGZMUU.
14. Фролова А.В. Использование электронной подписи в международном таможенном информационном обмене: проблемы и пути их решения // Цифровая

таможня и «Единое окно»: тренды и содержание: Сборник материалов научно-практической конференции, Москва, 12 мая 2017 года / ГКО УВО «Российская таможенная академия». – Москва: Российская таможенная академия, 2017. – С. 87-90. – EDN ZVENOR.

15. Кустов В.Н., Силантьева Е.С. Технологии использования сервисов валидации электронной подписи в трансграничном электронном документообороте // Мягкие измерения и вычисления, 2020. – Т. 32. – № 7. – С. 54-77. – EDN GZHJFC.

16. Фортунатов А.Н. Цифровизация власти или власть цифровизации? // Власть в XXI веке. Социокультурные аспекты политических процессов: Монография. Под общ. ред. М.И. Рыхтика, А.Н. Фортунатова. – Нижний Новгород: Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, 2020. – С. 37-47. – EDN RРАННН.

17. Имамвердиев Я.Н. Архитектура инфраструктуры доверия электронным документам в среде электронного государства // Телекоммуникации, 2011. – № 11. – С. 18-26. – EDN ONHVXL.

## АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ЭКОСИСТЕМ НА ПРИМЕРЕ КИТАЙСКИХ КОМПАНИЙ

*О.И. Шаравова, к.э.н., доцент, Московский технический университет связи и информатики, o.i.sharavova@mtuci.ru;*

*Ю.А. Романцова, Московский технический университет связи и информатики, romanovajuliy@gmail.com;*

*У. Хао, Московский технический университет связи и информатики, 1097329941@qq.com;*

*С. Пэйсинь, Московский технический университет связи и информатики, 810944110@qq.com.*

### **УДК 33+65 (075.8)**

**Аннотация.** В статье раскрывается характер цифровой трансформации крупнейших компаний КНР, совокупность цифровых интеллектуальных технологий и инструментов, позволяющих строить экосистемы с учетом важнейших компонентов гармоничного развития интеллектуального мира. Наглядно показываются проблемы и способы их решения с помощью интеллектуальных технологий, цифровых платформ и взаимодействия с клиентами. Обосновывается необходимость изучения практического опыта китайских компаний по созданию интеллектуальных экосистем в России.

**Ключевые слова:** экосистема; цифровая трансформация; практические результаты; направления; инструменты; компоненты цифрового развития.

## ANALYSIS OF THE PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF INTELLECTUAL ECOSYSTEMS ON THE EXAMPLE OF CHINESE COMPANIES

*Olga Sharavova, Ph. D. in Economics, associate Professor, Moscow Technical University of Communications and Informatics;*

*Yuliya Romantsova, Moscow Technical University of Communications and Informatics;*

*Wu Hao, Moscow Technical University of Communications and Informatics;*

*Sun Peixin, Moscow Technical University of Communications and Informatics.*

**Annotation.** The article reveals the nature of the digital transformation of China's largest companies, a set of digital intelligent technologies and tools that allow building ecosystems taking into account the most important components of the harmonious development of the intellectual world. The problems and ways to solve them with the help of intelligent technologies, digital platforms and customer interaction are clearly shown. The necessity of studying the practical experience of Chinese companies in creating intellectual ecosystems in Russia is substantiated.

**Keywords:** ecosystem; digital transformation; practical results; directions; tools; components of digital development.

---

## **Введение**

В последние годы Китай переживает стремительное цифровое развитие и по индексу внедрения цифровых технологий Флетчера, темпы цифровизации самые высокие в выборке из 62 стран. Объем цифровой экономики вырос с 15 % ВВП в 2018 г. до 33 % в 2022 г., главным образом, благодаря интеграции ИКТ с традиционными секторами. При этом ИКТ занимает около 7% ВВП, а доля традиционных цифровых секторов увеличилась за этот же период с 10 % до 25% ВВП [1-3].

## **Развитие интеллектуальных экосистем компаний КНР**

С развитием высоких технологий нового поколения и взрывным ростом объема больших данных отрасли экономики начали ускорять применение интеллектуальных технологий и искусственного интеллекта для обнаружения закономерностей, обучения моделей и уточнения знаний на основе массивов данных для повышения производительности и эффективности на основе интеграции производства, тем самым реализуя интеллектуальную модернизацию всей экономической деятельности [4-7]. По сути, цифровая экономика переходит на новый этап промышленного интеллекта [8].

Примером новой интеллектуальной облачной индустрии является китайская компания *Baidu Intelligent Cloud*. Это одна из крупнейших китайских цифровых экосистем, управляющая самой популярной поисковой системой и объединяющая множество сервисов от социальных платформ и видеохостингов до передовых решений в области искусственного интеллекта [9]. После многих лет интенсивного развития и исследований компания *Baidu Intelligent Cloud (BIC)* вместе со своими партнерами создает новую промышленную интеллектуальную экосистему в четырех главных направлениях стратегии развития продуктов, решений и услуг. Развитие промышленного интеллекта упрощает промышленную разведку.

1. *«Интеграция облака и интеллекта»*. Новая интеллектуальная экосистема *Baidu Intelligent Cloud Industry* основана на «облаке» и «искусственном интеллекте (ИИ)», и партнерстве в области ресурсов программного и аппаратного обеспечения, разработки приложений. Создана процветающая и богатая экосистема цифровых и интеллектуальных продуктов обеспечения клиентов комплексными продуктами *Rich*, такими как: базовое облако, ИИ, безопасность, интеллектуальные видео, большие данные, интернет вещей, корпоративные и отраслевые приложения и т.д. Основываясь на концепции собственного облака ИИ, компания имеет полную матрицу продуктовых решений, создавая вместе со своими партнерами экологический ландшафт продукта с собственными облачными вычислениями ИИ в качестве ядра, включая инфраструктуру, возможности продукта, продуктовые решения, продукты. Многоуровневая продуктовая облачная экосистема формирует разумную и эффективную базовую структуру

производственных ресурсов, ее продукты становятся более конкурентоспособными, решения – проще в реализации, качество обслуживания – лучше.

2. «*Экосистема решений для промышленного интеллекта*». Используя цифровые и интеллектуальные продукты, *Baidu Smart Cloud* предоставляет промышленные интеллектуальные решения для тысяч отраслей, включая производство, финансы, транспорт, энергетику, города, средства массовой информации и т.д. Экосистема решений для промышленного интеллекта расширяет возможности многих отраслей. Поскольку цифровая экономика является важным средством содействия будущему экономическому развитию Китая, а финансовые технологии и промышленный интернет являются типичными активными представителями цифровой трансформации, то компания предлагает:

- в финансовой сфере – совместное создание и взаимовыгодное сотрудничество *Baidu Smart Cloud* с партнерами по трем направлениям: интеграция облачного интеллекта, применение сценариев и совместных операций. В области интеграции облачного интеллекта компания интегрирует возможности искусственного интеллекта с оборудованием партнеров на основе потребностей финансового бизнеса для быстрого удовлетворения реальных финансовых потребностей; в области применения сценариев *BIC* глубоко анализирует конкретные бизнес-сценарии и услуги финансовых учреждений, что помогает финансовым учреждениям решить проблему недостаточного опыта и рабочей силы в цифровом бизнесе;
- в промышленной сфере *Baidu Smart Cloud* создала промышленную интернет-платформу *Baidu Smart Cloud Kaiwu*, которая объединяет алгоритмы ИИ с отраслевыми механизмами и бизнес-знаниями в автомобильном производстве, химической, текстильной, сталелитейной, водной и других отраслях, посредством разработки 380 инструментов и промышленных моделей для 300 тысяч зарегистрированных пользователей.

3. «*Интеллектуальная бизнес-экосистема*» в различных отраслях и регионах для удобного доступа клиентов к продуктам, решениям и услугам. *Baidu Smart Cloud* создала систему продаж, охватывающую четыре стратегические отрасли: государственные услуги, промышленную энергетику, финансы и интерактивные развлечения, а также множество инновационных отраслей. Для этого сформирована региональная структура с центрами в крупных городах: Пекин, Шанхай, Шэньчжэн и Чэнду, и распространением на более 30 провинций и городов, с работой более 200 крупных агентов и партнеров по распространению и более десяти центров расширения возможностей телемаркетинга. На основе организационной структуры системы продаж построена бизнес-модель, охватывающая все отрасли и все регионы. Для «большой интеграции» и контроля ключевых сценариев разработаны индикаторы степени цифровой и интеллектуальной трансформации, проводится работа с независимыми партнерами по вопросам программного обеспечения и системными интеграторами, в региональном аспекте – расширение покрытия, развитие региональных и местных поставщиков услуг, совершенствование их комплексных возможностей по продажам и обслуживанию.

4. «*Комплексная экосистема промышленных интеллектуальных услуг*» для эффективного обслуживания клиентов и промышленной разведки. *Baidu Smart Cloud* и ее партнеры создали комплексный и полноценный пакет услуг промышленной разведки, включающий консалтинговые услуги по планированию,



разработке услуг по инкубации инноваций, по обучению талантливых разведчиков. В 2020 г. *Baidu Intelligent Cloud*, имея более 500 сервисных партнеров, подготовила более 1000 специалистов в области искусственного интеллекта.

Для расширения своего бизнеса *Baidu Intelligent Cloud* создала система послепродажного обслуживания, в будущем планирует расширить экосистему услуг консалтинга и проектирования на высшем уровне, одновременно предоставляя партнерам более полный механизм сотрудничества и построения экосистемы услуг.

Компания *Alibaba*, постоянно совершенствуя инфраструктуру электронной коммерции, переходя от модели *B2B* к экосистеме, добивается скачкообразного развития. Однако, сделав розничный бизнес основой своей деятельности, создание экосистемы, ориентированной на электронную коммерцию в качестве основного бизнеса, затрудняет ее инновационные и оптимизационные возможности [10]. Поэтому необходима эволюция экосистемы путем интеграции бизнеса с другими компаниями и перенаправления трафика и перекрестных продаж. Интеграция экосистемы компании *Alibaba* опирается на основные направления бизнеса компаний *Taobao* и *Tmall* в сферах логистики, трансграничных перевозок, локального бизнеса. Поскольку основной бизнес обеспечивает денежный поток для других предприятий, то каждое направление постепенно развивается, усиливая синергию эффективности партнерского бизнеса в рамках экосистемы. Чтобы лучше справляться с конкуренцией в сфере *B2C* и компенсировать собственные недостатки в логистике, *Alibaba* интегрировала логистические ресурсы через платформу и создала сеть *Cainiao*. Таким образом, реализована цифровая модернизация и создание цифровой сети *Cainiao* с построением умной цепочки поставок.

*Tencent* – одна из крупнейших китайских корпораций, экосистема которой объединяет цифровые сервисы самых разных направлений [11]. Компания *Tencent* считает, что «цифровая и реальная интеграция» превращается из «необязательного вопроса» в «вопрос, на который необходимо ответить», с которым должна столкнуться каждая компания и отрасль. Будущая стратегия или цифровой импульс компании *Tencent* состоит в использовании четырех основных механизмов: потребитель, технологии, безопасность и экология.

Пользовательский механизм предусматривает направление внимания пользователей на промышленные исследования и разработки, производство, маркетинг и услуги, чтобы помочь предприятиям служить людям и активизировать рост; технологический – интеграцию передовых цифровых технологий с промышленным внедрением для предоставления простых в использовании инструментов для модернизации; механизм безопасности формирует основу безопасности эпохи промышленного интернета посредством облачных технологий и нулевого доверия; экологический продолжает продвигать открытую стратегию промышленного интернета.

Основные направления и содержание компонентов цифровой трансформации компании *Tencent* представлены в табл. 1.

Таблица 1.

Направление	Содержание
Собственная операционная система <i>Tencent Cloud Aochi</i>	Поддерживает серверы и контейнеры высокого уровня (млн в одном кластере), управляет более 100 млн процессорных ядер. Мощная аппаратная инфраструктура <i>Tencent Cloud</i> создает повсеместные облачные сервисы через распределенное облако.

Направление	Содержание
Распределенное облако	Серия возможностей продуктов для сценариев с несколькими облаками и гибридными облаками. За счет централизованного управления и контроля, унифицированного управления облачными ресурсами и бизнес-приложениями имеется возможность пользователям получать облачные ресурсы и услуги в любом месте, что делает облако повсеместным.
Облачная безопасность – интеграция данных и реальности	1. Интегрированные совместные системные решения блокчейна; 2. Платформа управления и контроля цифровой идентификации; 3. Облачное решение для обеспечения безопасности данных.
Новая инфраструктура интернета. Механизм аудио- и видеотерминала « <i>Visual Cube</i> »	Онлайн и офлайн-интеграция, интеграция виртуальных и реальных технических систем.
Контроль рисков цифрового бизнеса. « <i>Business Security Panorama</i> »	Предоставление клиентам во всех отраслях комплексные и зрелые решения для обеспечения безопасности бизнеса.
Будущая база данных – единый механизм плюс многоядерные автономные службы интеграции	Локализация угроз за короткое время и с нулевыми затратами на преобразование. Новый механизм с неограниченным расширением, онлайн-изменениями, адаптируемый к финансово чувствительному бизнесу.
Умная розничная торговля	Создание 10 мини-программ <i>WeChat GMV</i> для миллиардов брендов. <i>Tencent Smart Retail</i> на основе четырех платформ роста, богатой матрицы трафика, более полных продуктовых инструментов, экосистемы поставщиков услуг.
Умное здравоохранение на основе « <i>Medical Insurance WeChat</i> »	Три основные интеллектуальные медицинские платформы <i>Tencent</i> с использованием инновационных приложений: электронные медицинские карты, интеллектуальное медицинское страхование и облако изображений.
Умное образование	<i>Tencent Education</i> глубоко интегрирует инновационные приложения с интеллектуальным оборудованием, эффективно связывает классное обучение и внеклассную домашнюю работу с помощью информационных технологий. Образовательная база аудио и видео, использующая искусственный интеллект.
Умный культурный туризм	Четыре новых продукта: «Культурный туризм <i>Yilian</i> », «Цифровой маркетинг», «Культурный туризм <i>WeChat</i> » и «Выставка цифрового интеллекта».
Умное производство	«Совместное решение для интеллектуального производства», призванное способствовать цифровой трансформации и модернизации производственных предприятий на основе общей облачной платформы с облаком <i>U9</i> , производственной облачной <i>ERP</i> -системой номер один, в качестве ядра и в сочетании с базовой оптимизацией вычислительной мощности <i>Intel</i> для достижения общей облачности сложных дискретных производственных отраслей и удовлетворения различных потребностей.

Направление	Содержание
Умная недвижимость	Цифровые решения в четырех ключевых областях недвижимости: цифровой маркетинг, интеллектуальное строительство, будущие сообщества и пространственный интеллект.

Инновационная экосистема *Tencent Yunqi* запускает индустриальный агрегатор, настраивая все направления развития цифровых платформ, облачных технологий, искусственного интеллекта и блокчейна для развития глубоких связей между партнерами, совместного использования экологических ресурсов, создания инновационных точек сотрудничества и получения более широкого доступа к возможностям расширения бизнеса. В будущем *Tencent Industrial Accelerator* добавит два новых направления:

- *Quanzhen Accelerator* для интеллектуального оборудования, связанного с AR/VR, взаимодействия человека с компьютером, связи в реальном времени, аудио и видео, мобильных приложений стандарта 5G, высокопроизводительных вычислительных чипов и компаний, занимающихся инновационными сценариями приложений;
- *Carbon Neutral Accelerator* (углеродно-нейтральный) для энергосбережения и уменьшения выбросов в атмосферу и окружающую среду на основе платформенных технологий, информатизации производства новой энергии, создания технологических компаний, обладающих возможностями улавливания и хранения углерода.

### Заключение

Направленность интеллектуальной модернизации промышленности важна для экономического развития КНР. Реализация «двумерной теории» Индустрии 4.0 способствует цифровой трансформации промышленной системы как в горизонтальном, так и в вертикальном измерениях: гибкость управления вертикальными связями помогает добиться плавной и быстрой передачи информации от топ-менеджеров к рядовым сотрудникам, горизонтальная связь рынка – достичь сотрудничества внутри предприятия с производственными цепочками, потребителями добывающих и перерабатывающих отраслей [12-16].

Рассмотренные направления и компоненты цифровой трансформации компаний *Baidu Intelligent Cloud*, *Alibaba* и *Tencent* свидетельствуют о реальных возможностях формирования технологической базы успешного бизнеса, единого информационного пространства и реализации задач гармоничного общества, учитывающего не только сбалансированность и пропорциональность в сферах экономики, социума и экологии, но и научно-технический прогресс, опережающее развитие интеллектуальной инфраструктуры, решения мировоззренческих и общепланетарных проблем [17-19]. Масштабирование результатов создания интеллектуальных экосистем китайских компаний на российское и международное пространство позволит учесть положительный прогрессивный опыт и избежать ошибок инновационного решения проблем бизнеса в турбулентной среде.

### Литература

1. Huawei's Global Industry Vision. Отчет GIV, 2025. URL [https://www.huawei.com/en/industry-insights/technology/digital-transformation/huawei-global-industry-vision?ic\\_source=fbcw huawei.com/en/industry-insights/](https://www.huawei.com/en/industry-insights/technology/digital-transformation/huawei-global-industry-vision?ic_source=fbcw huawei.com/en/industry-insights/) (Дата обращения – ноябрь 2023).

2. IDC Government Insights China Government and Smart Cities Digital Transformation Strategies - 2020 Jul.pdf. URL [https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=IDC\\_P23430](https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=IDC_P23430) (Дата обращения – ноябрь 2023).
3. IDC: вложения в проекты цифровой трансформации к 2026 году. URL [https://www.osp.ru/articles/2022/1121/13056530?ysclid=lfz6v850\\_sd984433626](https://www.osp.ru/articles/2022/1121/13056530?ysclid=lfz6v850_sd984433626) (Дата обращения – ноябрь 2023).
4. Кузовкова Т.А., Шаравова О.И. Основы цифровой экономики: учебное пособие для бакалавров. – М.: Ай Пи Эр Медиа, 2022. – 128 с.
5. Кузовкова Т.А., Салютин Т.Ю., Шаравова О.И. Введение в экономику цифровых платформ: учебное пособие. – М.: Ай Пи Эр Медиа, 2022. – 129 с.
6. Кузовкова Т.А., Шаравова О.И. Цифровая трансформация экономики: учебное пособие. – Москва: Ай Пи Ар Медиа, 2023. – 140 с.
7. Володина Е.Е., Силютин В.Г., Маёршина А.А. Влияние цифровой трансформации бизнеса на российскую экономику // В книге: Мобильный бизнес: перспективы развития и реализации систем радиосвязи в России и за рубежом. Сборник материалов (тезисов) 51-й Международной конференции. Москва, 2023. – С. 68-71.
8. Intelligent World 2030. Huawei technologies CO., LTD. Huawei Industrial Base Bantian Longgang. Shenzhen 518129, P. R. China. – 125 p. (Дата обращения – ноябрь 2023).
9. Экосистема Baidu: последние тренды развития и популярные сервисы. 2023. URL <https://vc.ru/asiapacific/710980-ekosistema-baidu-poslednie-trendy-razvitiya-i-populyarnye-servisy?ysclid=lp1bndzolq618707131> (Дата обращения – ноябрь 2023).
10. Alibaba – история создания и успеха Алибаба. URL <https://lindeal.com/business/alibaba-istoriya-sozdaniya-i-uspekha-kompanii?ysclid=lp1c26hvww687031231> (Дата обращения – ноябрь 2023).
11. Экосистема Tencent: обзор бизнеса и ключевых сервисов ведущей цифровой корпорации Китая. URL <https://vc.ru/asiapacific/633467-ekosistema-tencent-obzor-biznesa-i-klyuchevyh-servisov-vedushchey-cifrovoy-korporacii-kitaya?ysclid=lp1c8hg69v402131068> (Дата обращения – ноябрь 2023).
12. Абросимова А.А., Климова Е.З. Формирование и развитие цифровой экосистем // Journal of Economy and Business, 2020. – Vol. 7 (65). – С. 6-10.
13. Кузовкова Т.А., Шаравова М.М., Романцова Ю.А. Особенности стратегии цифрового развития Альфа-банка // В книге: Мобильный бизнес: перспективы развития и реализации систем радиосвязи в России и за рубежом. Сборник материалов (тезисов) 51-й Международной конференции. – Москва, 2023. – С. 82-86.
14. Кузовкова Т.А., Шаравов И.М., Хао У. Характер цифровой трансформации бизнеса китайских компаний на примере экосистем Baidu, Alibaba group и Tencent (Bat) // В книге: Мобильный бизнес: перспективы развития и реализации систем радиосвязи в России и за рубежом. Сборник материалов (тезисов) 51-й Международной конференции. Москва, 2023. – С. 75-79.
15. Трофимов О.В., Захаров В.Я., Фролов. В.Г. Экосистемы как способ организации взаимодействия предприятий производственной сферы и сферы услуг в условиях цифровизации // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. Серия: Социальные науки, 2019. – № 4 (56). – С. 43-55.
16. Chang E., West M. Digital Ecosystems: A Next Generation of the Collaborative Environment. iiWAS, 2006. – pp 3-24.

17. Кузовкова Т.А., Салютин Т.Ю., Шаравова О.И. Формирование цифровой экосистемы бизнеса: учебное пособие для магистрантов. – Москва: Ай Пи Ар Медиа, 2022. – 122 с.
18. Ларюхин В.Б., Майоров И.В., Симонова Е.В., Скобелев П.О. Цифровые экосистемы для Industry 5.0 // XII мультиконференция по проблемам управления (МКПУ-2019) Дивноморское, Геленджик, 23-28 сентября 2019 г., 2019. – Т. 4. – С. 188-191.
19. Кузовкова Т.А., Шаравова О.И., Шаравова М.М. Эволюция перехода к парадигме гармоничного развития и экономической сбалансированной модели гармоничного общества // РИСК: Ресурсы, Информация, Снабжение, Конкуренция, 2022. – № 4. – С. 56-68.

## ХАРАКТЕР И КОМПОНЕНТЫ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ МИРОВОЙ И НАЦИОНАЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

*Т.А. Кузовкова, д.э.н., профессор, Московский технический университет связи и информатики, t.a.kuzovkova@mtuci.ru;*

*О.П. Алмаева, Московский технический университет связи и информатики, daroxn@yandex.ru;*

*О.Ю. Сибейкин, Московский технический университет связи и информатики, sibeykin\_o@mail.ru;*

*П.С. Чернышова, Московский технический университет связи и информатики, chernyshova.polina.sergeevna@mail.ru.*

### УДК 33+65 (075.8)

**Аннотация.** В статье раскрывается сущность и проблемы цифровой трансформации мировой и национальной энергетики, многоаспектный и многовекторный характер процесса цифрового развития, ключевые технологии и инновационные проекты цифровой трансформации компаний энергетики в России. Обоснована необходимость скоординированных действий государства и бизнеса, а также измерения синергии эффективности реализации проектов цифрового развития энергетики в России.

**Ключевые слова:** энергетика; цифровая трансформация; тренды; характер; компоненты цифрового развития; ключевые технологии.

## THE NATURE AND COMPONENTS OF THE DIGITAL TRANSFORMATION OF GLOBAL AND NATIONAL ENERGY

*T.A. Kuzovkova, Doctor of Economics, Professor, Moscow Technical University of Communications and Informatics;*

*O.P. Almayeva, Moscow Technical University of Communications and Informatics;*

*O.Y. Sibeikin, Moscow Technical University of Communications and Informatics;*

*P.S. Chernyshova, Moscow Technical University of Communications and Informatics.*

**Annotation.** The article reveals the essence and problems of digital transformation of global and national energy, the multidimensional and multi-vector nature of the digital development process, key technologies and innovative projects of digital transformation

of energy companies in Russia. The necessity of coordinated actions of the state and business, as well as the measurement of the synergy of the effectiveness of the implementation of digital energy development projects in Russia is substantiated.

**Keywords:** energy; digital transformation; trends; character; components of digital development; key technologies.

---

### **Введение**

В последние десятилетия цифровая трансформация стала одним из ключевых направлений развития многих отраслей экономики, включая энергетику. Благодаря современным цифровым технологиям энергетические компании повышают эффективность производства, распределения и потребления энергии, уровень безопасности и экологической устойчивости деятельности. Цифровые технологии позволяют сократить потери энергии в процессе передачи и распределения, оптимизировать производственные процессы, улучшить управление и мониторинг систем энергоснабжения. Организации все больше стремятся перенести свои бизнес-процессы в цифровую среду, что позволяет снизить издержки и увеличить финансовые результаты деятельности [1-4].

### **Анализ цифровой трансформации энергетики**

Развитие информационных технологий (стремительное увеличение вычислительной мощности, инновационные способы представления данных, передовые инструменты моделирования), растущая сложность современных энергетических систем, огромный объем собираемой информации ставят на повестку дня вопрос о выборе наиболее подходящих цифровых решений для предприятий энергетической отрасли.

Актуальными задачами энергетики являются: обеспечение стабильных источников энергии при минимизации воздействия на окружающую среду, модернизация и развитие ядерной энергетики с учетом безопасности, надежности и эффективности атомных станций, развитие возобновляемых источников энергии, включающих солнечные батареи, ветрогенераторы и другие устройства для производства чистой энергии, применение умных технологий в управлении и мониторинге энергосистем.

К ключевым проблемам мировой энергетики относятся: значительный рост спроса, изменение качественных характеристик спроса, экология, инвестиционные проблемы, характер урбанизации [5-9]. В связи с увеличением уровня благосостояния и ростом населения в развивающихся странах, потребление электроэнергии неуклонно растет. По данным Минэнерго РФ [10] к текущим потребителям электроэнергии к 2035 г. ожидается присоединение еще 5 млрд человек, что приведет к увеличению потребления электроэнергии на 40-50 %. На рис. 1 показаны динамика и прогноз мирового энергопотребления в течение 50 лет.

Переход мировой экономики к новому этапу индустриального развития в контексте четвертой промышленной революции [11] основывается на использовании совершенно новых технологических принципов, в числе которых цифровые системы, технологии аддитивного и высокоточного производства, а также цифровые платформы и платформенные решения [12-14]. Все эти новшества предъявляют повышенный спрос на надежность энергообеспечения и качество электроэнергии, причем этот спрос увеличивается с ежегодным темпом 20-30% вплоть до 2030 г.

По данным Международного энергетического агентства, электроэнергетика отвечает за 42% всех антропогенных выбросов парниковых газов и значительную

часть выбросов загрязняющих веществ. В 2015 г. на Конференции по климату в Париже было подписано международное соглашение о снижении увеличения средней температуры планеты до уровня ниже 2°C, которое обязательно для всех стран, включая Россию. Независимо от проблемы изменения климата, увеличение потребления ископаемого топлива приводит к ухудшению состояния окружающей среды, что негативно влияет на качество жизни и уровень затрат государства и компаний на социальное обеспечение, здравоохранение, природоохранные мероприятия и так далее. В странах с высоким уровнем дохода наблюдается рост потребности в экологичной, надежной и доступной энергии как важном компоненте качества жизни.

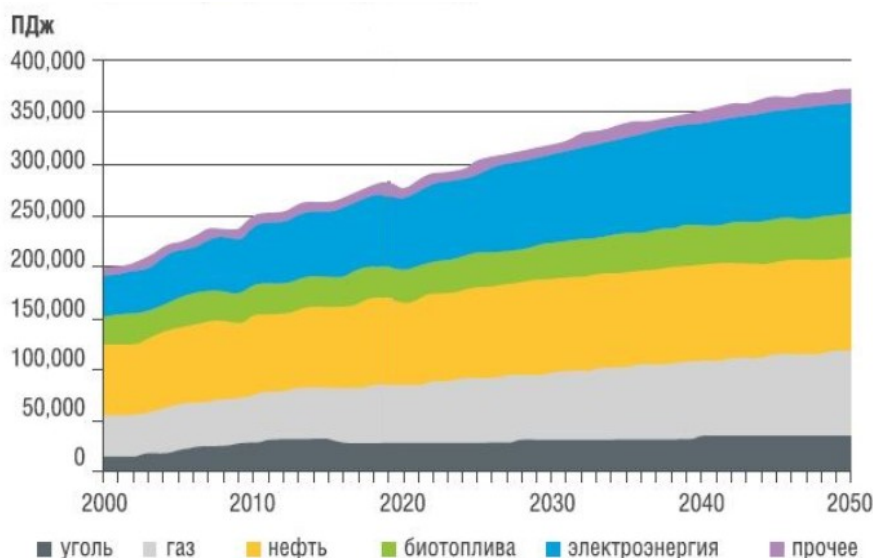


Рисунок 1

Поскольку энергосистемы развитых стран были построены в середине XX века, то им требуются значительные затраты на поддержание, обновление и модернизацию при уменьшении государственного вмешательства, финансового дефицита, инвестиционной привлекательности новых технологий и социальных обязательств. Поэтому энергетическим компаниям приходится постоянно искать новые источники финансирования для обновления и модернизации оборудования.

Отрицательным фактором является мировой характер урбанизации, увеличивающейся ускоряющимися темпами. Еще в 2018 г. процент городского населения на планете превысил 50%. Прогнозируется, что к 2030 г. около 60% населения Китая будет жить в городах. Рост старых и возникновение новых городов стимулирует переход к энергетике следующего поколения с высокой плотностью мощностей, значительным запасом прочности и потенциалом для роста. Такая энергетика требует меньше дорогих городских земельных ресурсов для размещения объектов, обеспечивает комфортные условия для присоединения к инфраструктуре и предлагает низкую стоимость электроэнергии для пользователей. Урбанизация и увеличение городского энергопотребления также формируют экологические вызовы, так как высокая концентрация газовой и, особенно, угольной генерации создает нездоровый микроклимат и опасную для здоровья окружающую среду.

Рассмотренные мировые вызовы актуализируют процессы цифровой трансформации энергетики, которая способствует увеличению эффективности производства и распределения энергии, улучшению качества услуг и снижению

затрат, оптимизации управления и мониторинга систем энергоснабжения, повышению экологической устойчивости деятельности энергетических компаний. Таким образом, цифровая трансформация играет ключевую роль в развитии энергетической отрасли, включая решение задач, связанных с инвестициями, кибербезопасностью и обучением персонала.

Цифровая трансформация представляет собой процесс интеграции цифровых технологий во все сферы деятельности энергетических компаний. Для успешной цифровой трансформации необходимо применять различные методы и подходы, которые помогут организациям адаптироваться к новым условиям и изменениям в бизнес-среде [15-17]. Ключевые технологии, оказывающие значительное влияние на процесс цифровой трансформации энергетики, представлены на рис. 2.

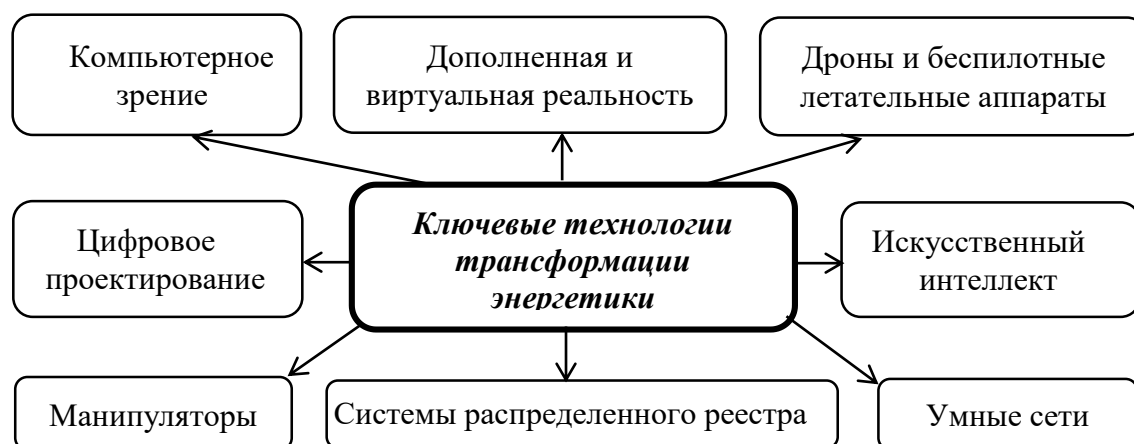


Рисунок 2

Компьютерное зрение может быть использовано для автоматизации контроля соблюдения требований по технике безопасности персоналом электростанций и обслуживаемых линий электропередач, для поиска проблемных мест карьеров месторождений, трубопроводов, линий электропередач и электростанций с использованием робототехнических систем, в будущем для контроля состояния инфраструктуры и мониторинга погоды посредством анализа спутниковых снимков и предиктивного обслуживания объектов инфраструктуры.

Цифровое проектирование необходимо для проектирования и эксплуатации сложных технических объектов (месторождения, электростанции) с помощью цифровых двойников, что способствует также оптимизации обслуживания инфраструктуры. Расширенная и виртуальная реальности (AR/VR) позволяют разрабатывать различные испытательные комплексы, интерактивные цифровые технические руководства, отображать информацию о режимах работы устройств (включая телеметрические данные) и т.д. Применение AR/VR технологий способствует увеличению производительности труда, благодаря сокращению времени, затрачиваемого на выполнение операций, подготовку к ним и оптимизацию перемещений сотрудников.

Дроны и беспилотные летательные аппараты в энергетике можно использовать для плановой диагностики и инспекции состояния ЛЭП, проведения аварийно-восстановительных работ, создания цифровых и кадастровых планов, сопровождения работ по строительству и реконструкции ЛЭП; манипуляторы – на сложных объектах с высокими рисками для работников, а также в случае



возникновения аварий и инцидентов. Предиктивная аналитика может предвидеть и прогнозировать события, что позволит персоналу заранее реагировать и предпринимать необходимые действия, выявлять закономерности аномалий в дальнейшем.

Умные сети действуют по принципу оцифровки сетевых компонентов (установка датчиков, систем сбора и обработки данных от датчиков и сенсоров), объединения единой сетевой модели для обеспечения интеграции информационных систем. Это позволяет добиться повышения надежности электроснабжения благодаря сбалансированности сетевых компонентов, интеграции новых пользователей (электротранспорт), принятия инвестиционных решений на основе анализа больших данных, а также повышения эффективности работы персонала. Важными компонентами и технологиями умных сетей являются установка интеллектуальных счетчиков электроэнергии в домашних хозяйствах, на предприятиях и в компаниях, умных трансформаторов и прочих элементов сети, необходимых для интеграции распределенных источников генерации, аккумуляторов электроэнергии и крупных пользователей (промышленных предприятий), оснащенных системами управления потреблением электроэнергии (*DRM*).

Анализ цифровой трансформации в российской энергетике показал, что имеются примеры эффективности данного процесса. Так компании «Роснефть», «Газпром», «Лукойл» и «Татнефть» запустили проект «Цифровое месторождение» в Башкирии, в котором были созданы виртуальные аналоги производственных объектов, которые моделируют внутренние процессы, технические характеристики и функционирование объектов на месторождении. Также внедрена система мониторинга трубопроводного транспорта, которая прогнозирует потенциальные отклонения в технологическом режиме работы оборудования. По результатам проекта энергоэффективность добычи повысилась на 5% и на 5% снизились логистические издержки.

Компания «СУЭК» внедрила комплекс роботизированных перевозок угля на базе карьерных беспилотных самосвалов в рамках проекта «Интеллектуальный карьер» (угольный разрез «Черногорский»), которые способны самостоятельно перевозить грузы, что позволило снизить затраты на грузоперевозки и риски получения травм для сотрудников. Компания «Т групп» разработала информационно-измерительную систему технического учета тепловой энергии, которая на всей протяженности тепловой сети (от источника до конечного потребителя) с помощью приборов учета фиксировала информацию о тепловом балансе, определяла места возможных повреждений и тепловых потерь. В результате полностью контролируется процесс передачи энергии и обеспечение клиентов услугами высокого качества [18]. Другие примеры инновационных проектов цифровой трансформации энергетики в России представлены на рис. 3.

В целом, цифровая трансформация энергетики в России приносит заметные экономические и экологические выгоды [19-21]. Она способствует повышению энергоэффективности, снижению потребления ресурсов, улучшению качества производимой электроэнергии и снижению выбросов загрязняющих веществ в окружающую среду. В результате, Россия становится более конкурентоспособной на мировом рынке и приобретает имидж экологически чистого и передового производителя энергии.



Рисунок 3

Цифровизация открывает для энергетических компаний новые возможности для повышения эффективности ведения бизнеса: развитие новых направлений бизнеса, включая виртуальные электростанции и распределенное производство электроэнергии, персонализированных услуг, соответствующих индивидуальным моделям потребления, а также услуг хранения и сетевого резерва. За счет установления тесной связи с клиентами, широкого спектра возможностей для перекрестных продаж, сокращения времени реагирования на запросы клиентов повышается не только степень их удовлетворенности качеством услуг, но и выручка, прибыль, капитализация компаний, снижаются текущие операционные затраты.

Для оценки эффективности проектов и решений по цифровой трансформации энергетики целесообразно применять методику синергетической оценки, охватывающей целую совокупность экономических и социальных показателей. К таким показателям могут относиться: рост производительности труда, степень взаимодействия с потребителями в цифровом формате, доля интеллектуальных систем учета, доля новых услуг и сервисов, степень развития цифровых компетенций, реализации цифровых решений в управлении производством (стандарты, технологии, метрология), рост безопасности работ и сокращение травматизма в отрасли.

### Заключение

Реализация стратегии цифровой трансформации энергетики России имеет многовекторный и многоаспектный характер и требует скоординированных действий государства и бизнеса. Действия государства должны быть направлены на совершенствование регулирования отрасли для облегчения цифровой трансформации, выделение государственного финансирования для приоритетных проектов в энергетическом секторе.

Бизнес должен сосредоточить внимание на изменении характера бизнес-моделей и взаимодействия потребителей с поставщиками услуг, на новых подходах к оказанию комплекса услуг в энергетике, на внутренних процессах в электроэнергетических компаниях и изменениях организационной культуры с учетом внедрения новых технологий и форм взаимодействия, а также на разработке инновационных подходов к использованию цифровых технологий и платформ на основе расширения лучших российских и международных образцов и собственных цифровых решений.

## Литература

1. Баринова В.А., Девятова А.А., Ломов Д.Ю. Роль цифровизации в глобальном энергетическом переходе и в российской энергетике // Вестник международных организаций, 2021. – Т. 16. – № 4. – С. 126-145. DOI: 10.17323/1996-7845-2021-04-06.
2. Текслер А.Л. Цифровизация энергетики: от автоматизации процессов к цифровой трансформации отрасли // Цифровая энергетика, 2018. – В. 5. – С. 3-6.
3. Цифровая трансформация электроэнергетики России. – М.: 2020. – 33 с. URL <https://digital.gov.ru/uploaded/files/tsifrovaya-energetika16x915.pdf> (дата обращения - ноябрь 2023).
4. Володина Е.Е., Силютин В.Г., Маёршина А.А. Влияние цифровой трансформации бизнеса на российскую экономику // В книге: Мобильный бизнес: перспективы развития и реализации систем радиосвязи в России и за рубежом. Сборник материалов (тезисов) 51-й Международной конференции. Москва, 2023. С. 68-71.
5. Ahmad T., Zhang D., Huang C., Zhang H., Dai N., Song Y., Chen H. Artificial intelligence in sustainable energy industry: Status Quo, challenges and opportunities // Journal of Cleaner Production, 2021. – Vol. 289.
6. Booth A., Patel N., Smith M. Digital Transformation in Energy: Achieving Escape Velocity. McKinsey&Company. 3 September 2020. URL <https://www.mckinsey.com/industries/oil-and-gas/our-insights/digital-transformation-in-energy-achieving-escape-velocity> (дата обращения - ноябрь 2023).
7. Митрова Т., Мельников Ю. Энергетический переход в России // Энергетические переходы, 2019. – Т. 3. – С. 73-80.
8. Loock M. Unlocking the value of digitalization for the European energy transition: A typology of innovative business models. Energy Research & Social Science, 2020. – Vol. 69.
9. Мозохин А.Е., Шведенко В.Н. Анализ направлений развития цифровизации отечественных и зарубежных энергетических систем // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики, 2019. – Т. 19. – № 4. – С. 657-672. doi: 10.17586/2226-1494-2019-19-4-657-672.
10. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 9 июня 2020 г. № 1523-р «Об Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года». URL <https://minenergo.gov.ru/node/1026> (дата обращения - ноябрь 2023).
11. Шваб К. Четвертая промышленная революция. – М.: Изд-во Эксмо, 2016. – 138 с.
12. Кузовкова Т.А., Шаравова О.И., Шаравова М.М. Интегральный платформенный характер бизнес-моделей цифровых компаний // РИСК: Ресурсы, Информация, Снабжение, Конкуренция, 2021. – № 2. – С. 107-113.
13. Кузовкова Т.А., Шаравова О.И., Кузовков А.Д., Шаравова М.М. Значение платформенного бизнеса и методические основы измерения синергии

эффективности цифровых платформ // РИСК: Ресурсы, Информация, Снабжение, Конкуренция, 2021. – № 1. – С. 82-91.

14. Кузовкова Т.А., Салютин Т.Ю., Шаравова О.И. Введение в экономику цифровых платформ: учебное пособие. – М.: Ай Пи Эр Медиа, 2022. – 129 с.

15. Кузовкова Т.А., Шаравова О.И. Цифровая трансформация экономики: учебное пособие. – Москва: Ай Пи Ар Медиа, 2023. – 140 с.

16. Никитаева А.Ю., Киселева Н.Н. Реконфигурация бизнес-моделей промышленных предприятий: векторы повышения устойчивости в новых реалиях // Вестник Волгоградского государственного университета. Экономика, 2021. – Т. 23. – № 1. – С. 46-57.

17. Кузовкова Т.А., Салютин Т.Ю., Шаравова О.И. Научные основы цифровой платформенной экономики и экосистемы бизнеса // Методические вопросы преподавания инфокоммуникаций в высшей школе, 2022. – Т.11 – № 2. – С. 33-38.

18. Официальный новостной сайт компании «Т групп». URL <https://www.tplusgroup.ru/press/news/> (дата обращения - ноябрь 2023).

19. Ерохин П.М., Куликов Ю.А. Цифровая платформа электроэнергетики России // Электроэнергетика глазами молодежи. Материалы юбилейной X Международной научно-технической конференции. Том. 1. Издательство: Иркутский национальный исследовательский технический университет, 2019. – С. 26-31.

20. Соловенко И.С., Рожков А.А. Основные этапы цифрового перехода в топливно-энергетическом комплексе России (рубеж XX-XXI вв.) // Уголь, 2023. – № 10. – С. 72-78.

21. Массель Л.В. Современный этап развития искусственного интеллекта (ИИ) и применение методов и систем ИИ в энергетике // Информационные и математические технологии в науке и управлении, 2021. – № 4. – С. 5-20.

## ОБЗОР ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВА, РЕГУЛИРУЮЩЕГО ИНТЕРНЕТ-РЕКЛАМУ, НА ПРИМЕРЕ БЕЛАРУСИ, РОССИИ И КАЗАХСТАНА

*Д.М. Купцова, УО «Белорусская государственная академия связи», dariannansp@gmail.com.*

### **УДК 659.1**

**Аннотация.** Рассмотрено законодательство, регулирующее рекламную деятельность на примере стран: Беларусь, Россия, Казахстан. Определены особенности запуска онлайн-рекламы самостоятельно и через агентство. Выявлены налоговые обязательства по уплате НДС и сбора за рекламу.

**Ключевые слова:** реклама; онлайн-реклама; таргетированная реклама; НДС; рекламный сбор; закон; рекламное агентство; социальная сеть; *Meta\**; *VK*; *Facebook*; Одноклассники; рекламный кабинет.

## REVIEW OF LEGISLATION REGULATING ONLINE ADVERTISING, USING THE EXAMPLES OF BELARUS, RUSSIA AND KAZAKHSTAN

*Darya Kuptsova, Belarusian State Academy of Communications.*

**Annotation.** The legislation regulating advertising activities is considered using the example of countries: Belarus, Russia, Kazakhstan. Features of launching online advertising independently and through an agency. Tax obligations for payment of *VAT* and advertising fees have been identified.

**Keywords:** advertising; online-advertising; target; *VAT*; advertising fee; law; advertising agency; social network; Meta\*; *VK*; Facebook; Odnoklassniki; advertising office.

---

## **Введение**

Мир цифрового маркетинга постоянно развивается и деятельность организаций все глубже и глубже «уходит» в онлайн. Так происходит и с таргетированной рекламой. В отличие от других видов рекламы (наружной, радио, ТВ), реклама в социальных сетях имеет целевой характер и направлена на определенную аудиторию, что привлекает владельцев бизнеса с каждым годом все больше денег вкладывать в нее.

## **Беларусь**

В Беларуси наиболее развиты три социальные сети: *Meta\**, ВКонтакте и Одноклассники. Прежде чем запустить таргетированную рекламу необходимо создать рекламный кабинет. Если рекламу планирует запускать физическое лицо, самозанятый или ИП, то рекламный кабинет создается на физическое лицо, если компания имеет статус юридического лица, то – обязательно ставится галочка напротив отметки «юр. лицо».

Как платить НДС? Согласно ст. 114 и 141 налогового кодекса плательщиками НДС являются физические лица, ИП и юридические лица (самозанятые идут как физ. лица). В случае, если рекламодателем выступает физическое лицо, самозанятый или ИП, то НДС прибавляется к сумме, потраченной на рекламу в рекламном кабинете, т.е. НДС за рекламодателя уплачивает социальная сеть. Если компания имеет статус юридического лица (ООО, ОДО, ЗАО), то НДС в рекламном кабинете не прибавляется и рекламодатель обязан его уплатить самостоятельно.

Бывают ситуации, когда у юридического лица упрощенная система налогообложения и он не платит НДС и утверждает, что НДС за рекламу в социальных сетях тоже не обязан платить. Данное утверждение верно только в отношении реализуемых им товаров (работ, услуг) и имущественных прав. В то же время установлены отдельные случаи, когда плательщики УСН обязаны уплачивать НДС, а именно:

- НДС, взимаемый при ввозе товаров на территорию Республики Беларусь;
- НДС по товарам (работам, услугам), имущественным правам, реализуемым на территории Республики Беларусь иностранными организациями, не осуществляющими деятельность в Республике Беларусь через постоянное представительство, иностранными индивидуальными предпринимателями, не состоящими на учете в налоговых органах Республики Беларусь;
- и другие.

Таким образом, услуги закупки рекламы в социальных сетях относятся к услугам, предоставляемым иностранными организациями. И если социальная сеть не имеет представительства на территории РБ или не является налогоплательщиком РБ, то уплата НДС юридическим лицом обязательна [1, 2]!

На сегодняшний день упомянутые социальные сети не имеют представительства на территории РБ. Налогоплательщиком выступает только социальная сеть *Meta\**. Проверить это можно на сайте: <http://grp.nalog.gov.by/grp/> (рис. 1). К концу 2023 г. холдинг *VK* планирует открыть свое представительство на территории РБ [3-5].

Что касается физических лиц, самозанятых и ИП, то *Meta\** сама платит НДС за них и перечисляет в бюджет государства благодаря тому, что компания состоит на учете в налоговых органах Республики Беларусь. ИП или юридическое лицо работают без НДС, то они могут заключить договор с рекламным агентством на оказание рекламных услуг. Агентства сотрудничают с организациями, которые работают как с НДС, так и без. В качестве примера такими агентствами выступают *Artox* и *Webcom*. Они дополнительно берут комиссию за пополнения рекламного кабинета *Facebook* 7% от рекламного бюджета и 0% за пополнение рекламного кабинета *VK*. Для организаций, работающих с НДС, выдаются все акты и документы, позволяющие вернуть уплаченный НДС. Для организаций, которые работают без НДС, официальное ведение онлайн-рекламы возможно через ООО «Айконтекст» – резидента парка высоких технологий. Вознаграждение за пополнение рекламного кабинета *Facebook* – 8%, *VK* – 3% [6].

МИНИСТЕРСТВО ПО НАЛОГАМ И СБОРАМ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Сведения из Государственного реестра плательщиков (иных обязанных лиц)

Поиск ЮЛ и ИП | Поиск физических лиц | REST API

УНП: [УНП] X | Наименование: [Наименование плательщика] X | Условие поиска: совпадение | Поиск

Сведения из Государственного реестра плательщиков (иных обязанных лиц), не составляющих налоговую тайну. Поиск по наименованию осуществляется без организационно-правовой формы. Например, найти ОАО "ГУМ", введите ГУМ. Признак неактивного плательщика обновляется на 1-е число текущего месяца.

перечень юридических лиц (индивидуальных предпринимателей) исключенных из Единого государственного регистра юридических лиц и индивидуальных предпринимателей в связи с признанием задолженности безнадежным долгом и ее списании

№	УНП	Краткое наименование юридического лица, фамилия, имя, отчество (если таковое имеется) индивидуального предпринимателя	Наименование и место нахождения юридического лица, фамилия, собственное имя, отчество (если таковое имеется) индивидуального предпринимателя	Код ИМНС	Наименование ИМНС	Дата постановки на учет	Состояние	Дата изменения состояния	Неактивный плательщик более 12-и месяцев	XML
1	102395552	Meta Platforms Technologies Ireland Limited	Meta Platforms Technologies Ireland Limited, 4 Grand Canal Square, Grand Canal Harbour, Dublin 2, Ireland, D02X625	101	Инспекция МНС по г. Минску	23.05.2018	Действующий			<a href="#">XML</a>
1	102395565	Facebook Payments International Limited	Facebook Payments International Limited, 4 Grand Canal Square, Grand Canal Harbour, Dublin 2, Ireland, D02X625	101	Инспекция МНС по г. Минску	23.05.2018	Действующий			<a href="#">XML</a>

Рисунок 1

Таким образом, становится понятно, кто сам платит НДС за услуги предоставления рекламы, а за кого это делает *Meta\**. Если таргетированная реклама запускается из рекламного кабинета *VK*, то для физических лиц на данный момент есть ограничение в оплате рекламного кабинета. Оплачивать можно только картой МИР или российскими картами. В справке *VK* написано, что в настоящий момент нерезиденты не могут пополнить счет *VK* Рекламы. Для юридических лиц в рекламном кабинете НДС не начисляется, они должны оплатить его сами. Оплатить рекламу они могут только с расчетного счета, а не банковской картой, в отличие от *Meta\**. Чтобы оплачивать рекламные услуги с расчетного счета для организации важны закрывающие документы, которые холдинг *VK* предоставить не может. Поэтому для запуска рекламы в *VK* единственно верным вариантом будет открытие агентского кабинета через диджитал агентство. Важно так же помнить, что *Meta\** по запросу налоговых органов обязана предоставить всю налоговую информацию о рекламодателях! Но и это еще не все!

Согласно НК РБ Особенной части главе 28 «Сбор за размещение (распространение) рекламы» ИП и юридические лица обязаны заплатить сбор за размещение (распространение) рекламы, а именно:

- юридические лица Республики Беларусь и индивидуальные предприниматели, зарегистрированные в Республике Беларусь, являющиеся рекламодателями;
- рекламные агентства при оказании услуг по размещению (распространению) рекламы иностранному рекламодателю.

Плательщиками сбора не признаются:

- организации, использующие труд инвалидов, если численность инвалидов в них в среднем за период составляет не менее 30 процентов численности работников в среднем за этот же период. При этом численность работников (инвалидов) организации в среднем за период с начала года по отчетный период включительно определяется в порядке, установленном частью второй подпункта 1.16 пункта 1 статьи 118 НК РБ;
- исправительные учреждения и республиканские унитарные производственные предприятия Департамента исполнения наказаний Министерства внутренних дел.

Согласно статье 307<sup>13</sup> «Объект обложения сбором» объектом обложения сбором признается оказание рекламодателю (рекламораспространителем рекламному агентству в случае, указанном в подпункте 1.2 пункта 1 статьи 07<sup>12</sup> НК РБ) услуг по размещению (распространению) рекламы на территории Республики Беларусь, включая размещение (распространение) рекламы в сети интернет.

В статье 307<sup>14</sup> «Налоговая база сбора» налоговой базой сбора признается стоимость фактически оказанных рекламодателю (рекламораспространителем рекламному агентству в случае, указанном в подпункте 1.2 пункта 1 статьи 307<sup>12</sup> НК РБ) услуг по размещению (распространению) рекламы без налога на добавленную стоимость.

Ставка сбора устанавливаются в размерах (статья 307<sup>15</sup> «Ставки сбора») 20%.

Отчетным периодом сбора признается календарный квартал (статья 307<sup>16</sup> «Отчетный период сбора»).

Сбор исчисляется в белорусских рублях как произведение налоговой базы и ставки сбора.

Плательщики сбора при наличии объекта обложения сбором представляют в налоговые органы по месту постановки на учет расчет по форме, установленной Министерством по налогам и сборам, не позднее 20-го числа месяца, следующего за истекшим отчетным периодом.

Вопросы, связанные с определением рекламодателя, рекламного агентства, рекламы и оказания услуг по ее размещению (распространению) на территории Республики Беларусь, включая размещение (распространение) рекламы в сети интернет, разъясняет Министерство антимонопольного регулирования и торговли (статья 307<sup>17</sup> «Порядок исчисления сбора»).

Уплата сбора производится не позднее 22-го числа месяца, следующего за истекшим отчетным периодом.

Уплата сбора производится с учетом деятельности филиалов, представительств и иных обособленных подразделений юридических лиц (статья 307<sup>18</sup> «Порядок и сроки уплаты сбора»).

Все выше написанное можно свести в одну схему (рис. 2) [3]:

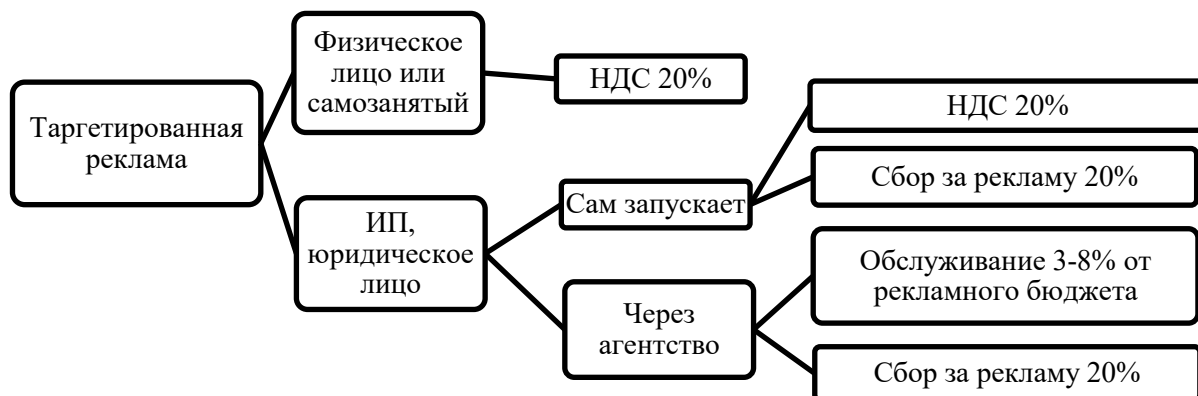


Рисунок 2

### Российская Федерация

В РФ основной социальной сетью является *VK*. После того, как *Meta\** была признана экстремистской организацией на территории РФ, все компании стали переводить свой бизнес на платформу *VK*. При создании рекламного кабинета также есть разделение на физ. лиц и на юр. лиц. От этого зависит – будет ли взиматься НДС или нет. Оформление рекламного кабинета ничем не отличается от того, как это делается в РБ лишь с единственным различием: всю рекламу нужно маркировать.

1 сентября 2022 г. в России вступил в силу закон № 347-ФЗ о поправках в Федеральный закон «О рекламе». Основные форматы интернет-рекламы в рунете нужно маркировать и передавать информацию в Единый реестр интернет-рекламы (ЕРИР).

Всю рекламу *VK* необходимо дополнительно регистрировать, предоставляя операторам рекламных данных (ОРД) ИНН и другие документы, а также данные о кампаниях – они будут отправлять всю информацию в ЕРИР. *VK* разработала ПО, которое помогает автоматически маркировать креативы и передавать данные.

Закон затронул рекламодателей и рекламораспространителей – к ним относятся соцсети, аудиовизуальные сервисы, новостные агрегаторы, мессенджеры, поисковые системы, медиа и другие издатели, операторов рекламных систем – например, *VK Реклама*, *myTarget*, рекламных посредников – это рекламные агентства и фрилансеры.

Маркировка – это токен или уникальный идентификатор рекламного объявления. Он зашифрован в виде буквенно-цифрового кода в ссылке, по которой пользователь переходит с креатива на сайт рекламодателя. По нему можно определить ОРД, который выдал токен на креатив, а также конечного заказчика рекламы.

Операторы рекламных данных упрощают маркировку и передачу данных в ЕРИР. Они агрегируют информацию от всех участников рынка и присваивают токены и пометку «Реклама» креативам. Наглядно весь процесс маркировки можно представить на схеме (рис. 3).

Все участники рекламной цепочки должны передавать данные о кампаниях в ЕРИР. Часть информации важно передать до старта кампании, а другую – в течение 30 дней после окончания месяца, в котором размещалась реклама. Данные можно передавать в один ОРД или работать сразу с несколькими операторами.



До запуска кампании в ОРД нужно передать креативы для маркировки и заполнить первичную информацию о конечном рекламодателе:

- для юридических лиц и ИП (резиденты РФ): ИНН, тип организации, номер договора (если вы заключали прямой договор);
- для юридических лиц и ИП (нерезиденты РФ): ИНН и тип организации, ОПФ и полное наименование, номер телефона, номер электронного средства платежа, регистрационный номер либо его аналог, номер налогоплательщика либо его аналог в стране регистрации, код страны регистрации юрлица в соответствии с ОКСМ;
- для физлиц: ИНН и номер телефона, вид деятельности по ОКВЭД.

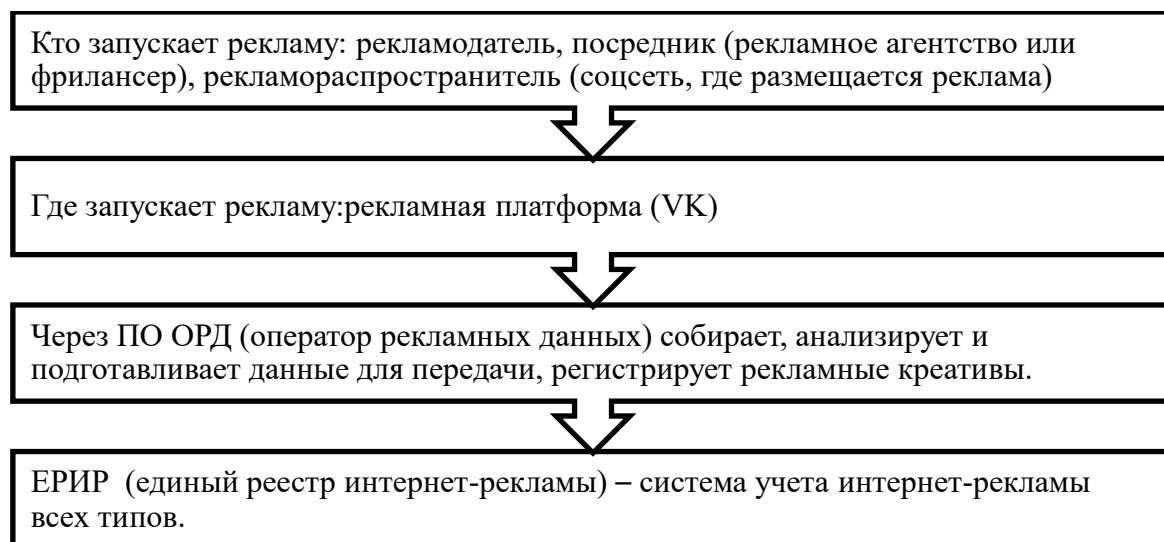


Рисунок 3

После каждого месяца трансляции рекламы в течение 30 календарных дней в ОРД необходимо загрузить отчетную информацию:

- о договорах и актах по рекламе;
- обо всех участниках цепочки по рекламе и договорах между ними.

Запросить информацию в ЕРИП могут все участники цепочки, но при этом каждый получит доступ только к данным о себе. Кроме того, информация из ЕРИП будет доступна Роскомнадзору, Федеральной налоговой службе и Федеральной антимонопольной службе.

Выявлять не промаркированную рекламу будут Роскомнадзор (РКН) и Федеральная антимонопольная служба (ФАС).

Новый закон касается только той рекламы, которая показывается в рунете.

Если организация выступает прямым рекламодателем, то необходимо принять оферту в рекламном кабинете и добавить недостающие данные. После этого маркировка креативов и передача необходимых отчетных данных будут происходить автоматически. Прямым рекламодателям не нужно загружать акты по итогам продвижения.

Если фрилансер работает в собственном рекламном кабинете и сам его пополняет, то нужно раскрывать данные о себе и обо всей рекламной цепочке. Если работает в кабинете рекламодателя как наемный сотрудник или консультант, то дополнительную информацию добавлять не нужно [7, 8].

## **Казахстан**

В Казахстане совсем не давно вышел Закон Республики Казахстан от 10 июля 2023 г. № 18-*VIII* «Об онлайн-платформах и онлайн-рекламе». В главе 5 «Регулирование онлайн-рекламы» статьи 19-22 описаны требования к онлайн-рекламе, маркировке, идентификации и ее хранению.

Онлайн-реклама должна быть идентифицируема и маркирована.

Онлайн-реклама маркируется в порядке, определяемом уполномоченным органом.

Онлайн-платформы должны обеспечить пользователей технической возможностью идентифицировать онлайн-рекламу при помощи текстовых и (или) графических и (или) иных обозначений.

Онлайн-платформа должна иметь безопасное хранилище, содержащее информацию об онлайн-рекламе, в том числе о таргетированной онлайн-рекламе. Данная информация должна храниться в течение одного года после последнего размещения, распространения онлайн-рекламы.

Хранилище не должно содержать персональные данные пользователей, среди которых была или могла быть распространена онлайн-реклама.

Согласно главе 2 «Государственное регулирование в области онлайн-платформ и онлайн-рекламы» государственное регулирование в области онлайн-платформ и онлайн-рекламы осуществляется путем государственного контроля за соблюдением законодательства Республики Казахстан об онлайн-платформах и онлайн-рекламе.

Государственный контроль за соблюдением законодательства Республики Казахстан об онлайн-платформах и онлайн-рекламе осуществляется уполномоченным органом в форме профилактического контроля без посещения субъекта (объекта) контроля в соответствии с Предпринимательским кодексом Республики Казахстан и Законом «Об онлайн-платформах и онлайн-рекламе».

Целями профилактического контроля без посещения субъекта (объекта) контроля являются своевременное пресечение и недопущение нарушений, предоставление субъектам контроля права самостоятельного устранения нарушений, выявленных по результатам профилактического контроля без посещения субъекта (объекта) контроля, и снижение административной нагрузки на них.

Объектом профилактического контроля без посещения субъекта (объекта) контроля является функционирование онлайн-платформ, производство, размещение, распространение онлайн-рекламы.

Субъектами профилактического контроля без посещения субъекта (объекта) контроля являются модераторы публичных сообществ, распространители онлайн-рекламы.

При выявлении нарушений по результатам профилактического контроля без посещения субъекта (объекта) контроля оформляется и направляется рекомендация об устранении нарушений в срок не позднее пяти рабочих дней со дня выявления нарушений.

Рекомендация об устранении нарушений должна быть вручена субъекту контроля лично под роспись или иным способом, подтверждающим факты отправки и получения рекомендации об устранении нарушений.

Рекомендация об устранении нарушений, выявленных по результатам профилактического контроля без посещения субъекта (объекта) контроля, должна быть исполнена в течение трех рабочих дней со дня, следующего за днем ее вручения.

Субъект контроля в случае несогласия с нарушениями, указанными в рекомендации об устранении нарушений, вправе направить в уполномоченный орган, направивший рекомендацию об устранении нарушений, возражение в течение трех рабочих дней со дня, следующего за днем вручения рекомендации об устранении нарушений.

Профилактический контроль без посещения субъекта (объекта) контроля проводится не чаще одного раза в квартал.

В главе 3. «Правовой режим функционирования онлайн-платформ» в статье 9. «Правовой режим функционирования онлайн-платформ на территории Республики Казахстан» указано, что для осуществления деятельности на территории Республики Казахстан собственники и (или) иные законные представители онлайн-платформ, среднесуточный доступ к онлайн-платформам которых в течение месяца составляет более ста тысяч пользователей, находящихся на территории Республики Казахстан, назначают своего законного представителя по взаимодействию с уполномоченным органом в соответствии с требованиями, установленными Гражданским кодексом Республики Казахстан [9].

Уполномоченный орган ведет реестр законных представителей онлайн-платформ на территории Республики Казахстан в определенном им порядке.

В Кодексе об административных правонарушениях вводится ответственность пользователей онлайн-платформ и инфлюенсеров, «размещающих или распространяющих ложную информацию» на онлайн-платформе. Сумма штрафа для физических лиц составляет 69 тысяч тенге (около \$150), а для блогеров вдвое больше – 138 тысяч тенге (около \$300) [10].

С 1 января 2022 г. внесены дополнения в налоговый кодекс Казахстана, обязывающие оплачивать налог с таргетированной рекламы в размере 12%. Это касается тех рекламодателей, у которых в поле «Покупатель» в адресе компании или личном адресе указан Казахстан, но которые не подтвердили, что они зарегистрированы как юридическое лицо в Казахстане.

В настройках платежей можно установить флажок, чтобы отметить, зарегистрирован ли пользователь как юридическое лицо в Казахстане и несет ли ответственность за самостоятельное определение и уплату НДС согласно Налоговому кодексу Казахстана. Если это сделать, то компания *Meta\** не будет добавлять НДС к сумме покупки рекламы на *Facebook*.

НДС взимается независимо от того, в каких целях приобретается реклама на *Facebook* – коммерческих или личных. Он добавляется к общей сумме списываемых средств. Подтвердить компанию можно через платежи (биллинг). Для это необходимо ввести БИН/ИИН, дальше *Facebook* сам будет предоставлять информацию в Налоговый комитет РК.

Если пользователь является плательщиком НДС, то он должен будет платить +12%, но если он зарегистрированы как ИП и работает по упрощенной системе налогообложения, то он освобождается от уплаты налогов до конца срока моратория.

Физ. лица платят налог 12% сверх потраченной суммы за таргет. Поэтому необходимо закладывать в бюджет +12% налога [11].

Цифровой налог становится широко распространенным инструментом государственного регулирования в мире. Казахстан не стал исключением и также внес изменения в Налоговый кодекс, которые предусматривают обязательство иностранных компаний, продающих товары через интернет-площадку или оказывающих услуги в электронной форме физическим лицам РК, оплачивать НДС или цифровой налог по ставке 12%.

В Налоговом кодексе предусмотрены алгоритм регистрации в качестве налогоплательщика НДС и сдачи отчетности. Учитывая, что данное нововведение вступило в силу с 1 января 2022 г., практический опыт только начал накапливаться как со стороны государственных органов, так и со стороны иностранных компаний.

Согласно статье 780 Налогового кодекса иностранная компания обязана уплатить исчисленный НДС при осуществлении электронной торговли товарами, оказании услуг в электронной форме физическим лицам в бюджет, за каждый квартал не позднее 25 числа второго месяца, следующего за кварталом, в котором осуществлена реализация товаров, оказание услуг. Иными словами, иностранные компании должны пройти процедуру условной регистрации и оплатить НДС до 25 мая, до 25 августа, до 25 ноября и до 25 февраля за каждый предыдущий квартал соответственно [12-15].

Стоимость ведения таргетированной рекламы представлена в табл. 1:

Таблица 1.

Критерии	Рекламодатели		
	Физ. лица	ИП	Юр. лица
1	2	3	4
Беларусь			
Самостоятельно ведут онлайн-рекламу, НДС, %	20 (плата взимается в рекламном кабинете)		20 (уплачивают самостоятельно)
Через агентство, НДС, %	-	Работают с НДС: 20 (+ зачет НДС)	
	-	Работают без НДС: 0	
Комиссия за пополнение рекламного кабинета, %	-	Работают с НДС: <i>Facebook: 7; VK: 0</i>	
	-	Работают без НДС: <i>Facebook: 8; VK: 3</i>	
Сбор за рекламу, %	-	20 (уплачивают самостоятельно)	
Россия			
НДС, %	20 (плата взимается в рекламном кабинете)	20 (уплачивают самостоятельно)	
Казахстан			
НДС, %	12	12 (если работает с НДС) 0 (УСН)	0 (уплачивают самостоятельно)

### Заключение

В заключение можно сделать вывод, что страны стремятся сделать прозрачным пользование таргетированной рекламой путем внесения определенных правок в законодательство. В России такой мерой является обязательная маркировка. В Казахстане – закон об онлайн-платформах и онлайн-рекламе, где прописано куда и когда нужно сдавать отчетность. В Беларуси пока нет такого законодательного органа, который отслеживал бы факт использования онлайн-рекламы, хотя в законодательстве прописаны налоги и сборы, которые должны уплатить рекламодатели. Наиболее привлекательные условия по пользованию онлайн-рекламой у Казахстана с НДС 12%, и менее привлекательные – у Беларуси – НДС 20% и сбор на рекламу 20%.

\* *Meta* – признана *экстремистской* на территории РФ.

## Литература

1. URL <https://www.facebook.com/help/> (дата обращения – сентябрь 2023 г.).
2. URL <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=hk0900071> (дата обращения – сентябрь 2023 г.).
3. URL [https://nalog.gov.by/tax\\_code/](https://nalog.gov.by/tax_code/) (дата обращения - сентябрь 2023 г.).
4. URL <http://grp.nalog.gov.by/grp/> (дата обращения - сентябрь 2023 г.).
5. URL [https://tochka.by/articles/life/vk\\_sobiraetsya\\_otkryt\\_ofis\\_v\\_belarusi/](https://tochka.by/articles/life/vk_sobiraetsya_otkryt_ofis_v_belarusi/) (дата обращения – сентябрь 2023 г.).
6. URL <https://www.promowebcom.by/analytics/articles/context-advert/kak-platit-nalogi-za-priobretenie-reklamnykh-uslug/> (дата обращения - сентябрь 2023 г.).
7. URL <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202107020068> (дата обращения – сентябрь 2023 г.).
8. URL <https://vk.com/@business-zakon-o-reklame> (дата обращения – сентябрь 2023 г.).
9. URL [https://online.zakon.kz/Document/?doc\\_id=36356625#sub\\_id=190000](https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=36356625#sub_id=190000) (дата обращения – сентябрь 2023 г.).
10. URL <https://kloop.kg/blog/2023/07/11/v-kazahstane-blogerov-obyazali-platit-nalogi-s-reklamy-i-vveli-administrativnyu-otvetstvennost-za-fejki/> (дата обращения – сентябрь 2023 г.).
11. URL <https://cosmmo.kz/nalog-s-targetirovannoj-reklamy-v-kazahstane/> (дата обращения – сентябрь 2023 г.).
12. URL <https://vc.ru/u/1155433-we-legal-law-firm/435456-v-kazahstane-deystvuet-nalog-na-google> (дата обращения – сентябрь 2023 г.).
13. URL [https://online.zakon.kz/Document/?doc\\_id=31577399](https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=31577399) (дата обращения – сентябрь 2023 г.).
14. URL <https://adilet.zan.kz/rus/docs/K1500000375> (дата обращения – сентябрь 2023 г.).
15. URL [https://online.zakon.kz/Document/?doc\\_id=1045608](https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=1045608) (дата обращения – сентябрь 2023 г.).

# **СИСТЕМЫ, СЕТИ И УСТРОЙСТВА СВЯЗИ. РАДИОТЕХНИКА. АНТЕННЫ. ЭЛЕКТРОННАЯ КОМПОНЕНТНАЯ БАЗА. ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ. МЕТРОЛОГИЯ**

## **АНАЛИЗ ПОМЕХОВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПЕРЕДАТЧИКОВ ФИКСИРОВАННОЙ СЛУЖБЫ С ПРИЕМНИКАМИ СПУТНИКОВОЙ ГРУППИРОВКИ «СФЕРА»**

*Л.А. Плотников, Московский технический университет связи и информатики,  
leonidplotnikovv@yandex.ru*

**УДК 621.396.7**

**Аннотация.** Обеспечение электромагнитной совместимости в различных условиях совместного использования частот относится к одной из наиболее актуальных тем на сегодняшний день по причинам увеличения общего количества электронных средств. Для понимания тонкостей работы спутниковой группировки «Сфера» необходимо учесть все факторы распространения радиоволн в пространстве. Учитывая широкое распространение и растущее развитие фиксированной службы в полосе 17,7-19,4 ГГц, соседняя полоса 19,4-20,2 ГГц распределена исключительно для спутниковых служб. До сих пор уделялось первоочередное внимание спутниковым операторам при широкомасштабном развертывании земных станций. Однако с развитием спутниковых систем с высокой пропускной способностью в *Ka*-диапазоне и асимметрией трафика, которая требует большего спектра нисходящей линии связи, чем восходящей линии связи, необходимо учесть условия, при которых земные станции фиксированной спутниковой службы будут работать в приемлемых условиях помех фиксированной службы в полосе 17,4-20,2 ГГц.

**Ключевые слова:** электромагнитная совместимость; электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств фиксированной спутниковой службы; радиоэлектронные средства фиксированной службы; диаграмма направленности радиоэлектронного средства; *Ka*-диапазон; *Ku*-диапазон.

## **ANALYSIS OF INTERFERENCE INTERFERENCE OF FIXED SERVICE TRANSMITTERS WITH SPHERE SATELLITE RECEIVERS**

*L.A. Plotnikov, Moscow technical university of communications and informatics.*

**Annotation.** Ensuring electromagnetic compatibility in various conditions of frequency sharing is one of the most relevant topics today for reasons of increasing the total number of electronic means. To understand the intricacies of the work of the satellite constellation «Sphere», it is necessary to take into account all the factors of the propagation of radio waves in space. Given the widespread and growing development of fixed-line service in the 17,7-19,4 GHz band, the adjacent 19,4-20,2 GHz band is allocated exclusively for satellite services. Until now, priority has been given to satellite operators in the large-scale deployment of Earth stations. However, with the development of satellite systems with high bandwidth in the *Ka* band and traffic asymmetry, which requires a larger spectrum of the downlink than the uplink, it is necessary to take into account the conditions under which the Earth stations of the fixed satellite service will

operate in acceptable conditions of interference of the fixed service in the band 17,4-20,2 GHz.

**Keywords:** electromagnetic compatibility; electromagnetic compatibility of radio-electronic means of fixed satellite service; radio-electronic means of fixed service; radiation pattern of radio-electronic means; *Ka*-band; *Ki*-band.

---

### **Введение**

Низкоорбитальные спутниковые системы связи являются информационными системами и требуют специальных мер защиты от возможных радиопомех. Поскольку радиоэлектронные средства (РЭС) спутниковой группировки «Сфера» относятся к аппаратуре, обеспечивающей безопасность и жизнедеятельность людей, к ней предъявляются требования по надежности и безотказной работе.

Такие требования обуславливаются необходимостью всестороннего исследования условий электромагнитной совместимости спутниковой группировки «Сфера» с радиоэлектронными средствами, функционирующими в общих и смежных диапазонах частот. Исследования предполагают рассмотрение как типовых, так и возможных непредвиденных сценариев помех.

Спутниковые системы дают важные преимущества для расширения широкополосного покрытия:

- обеспечение покрытия огромных площадей, несмотря на сложный рельеф местности;
- они надежны и не подвержены многим рискам, которым подвергаются другие сети.

Стремительно растущее использование негеостационарных спутниковых орбит (НГСО) представляет собой прорыв в спутниковых технологиях и потенциал для тех, кто лишен связи в отдаленных районах, чтобы они тоже могли пользоваться преимуществами современных технологий. Возможность установления спутниковых соединений очень важна для авиационного и морского секторов, где используются воздушные и морские суда, которые на своих маршрутах могут быть вне зоны досягаемости наземных сетей. Также возможность установления спутниковых соединений помогает сделать «умное» общество реальностью (дистанционное образование, электронное здравоохранение, электронную логистику, «умную» энергетику и «умное» сельское хозяйство) как в развитых, так и в развивающихся странах, в особенности в сельских и отдаленных районах.

### **Критерии выбора возможных местоположений земных станций**

Процесс оптимизации наземного сегмента является важнейшим вопросом при минимизации затрат и одновременно достижения желаемой скорости передачи данных, зон покрытия и уровня резервирования при создании космической системы.

Наземный сегмент проектируемой спутниковой группировки «Сфера» представлен сетью шлюзовых станций, терминирующих поступающие от космического аппарата (*КА*) и обратно. Абонентские данные позволяют производить маршрутизацию с использованием наземной инфраструктуры глобальных проводных сетей.

Шлюзовая (земная) станция может содержать в своем составе до 20 антенных систем (постов), каждая из которых осуществляет беспроводной сеанс связи с *КА*, находящимся в зоне работы шлюзовой станции. Часть антенных постов осуществляет слежение и сопровождение *КА*, другая часть ориентируется в направлении предположительного появления следующих *КА*, ожидая сеанса связи.

Учитывая многоцелевой характер задачи проектирования спутниковой группировки «Сфера», т.е. наличие большого числа частных показателей, характеризующих качество группировки (надежность, стоимость, быстродействие, доступность продукта и т.д.), обоснованный выбор критериев оптимизации наземного сегмента представляет собой важную задачу. Основываясь на положительном зарубежном опыте проектирования и запуска, в первом приближении, возможно использование критериев оптимизации наземного сегмента действующих зарубежных систем в *Ка*-диапазоне.

Критериями выбора из множества возможных местоположений ЗС при проектировании спутниковых группировок могут быть:

- гарантии глобального покрытия – критерий оптимизации, по которому размещение земных станций определено территорией возможного нахождения абонентских терминалов системы (в предельном случае – территория всех континентов);
- отсутствие пространственной «метеокорреляции» – критерий выбора расстояния между ЗС осуществляется, таким образом, чтобы пространственная корреляция погоды была сведена к минимуму, и погодные условия в местах размещения ЗС можно было считать независимыми;
- электромагнитная совместимость земных станций с действующими или планируемыми к развертыванию наземными радиоэлектронными средствами (РЭС);
- транспортная доступность площадок – критерий выбора местоположений земных станций с учетом доступности подключения услуг крупного наземного оператора транспортных сетей.

### **Критерий глобального покрытия**

Создание глобального покрытия с целью обеспечения абонентских терминалов высокоскоростным беспроводным многостанционным доступом – одна из основных задач, решаемых в процессе проектирования спутниковых систем связи.

В основе организации глобального радиочастотного покрытия лежит принцип разделения земной поверхности на ячейки, область внутри которой является номинальной зоной обслуживания *КА*.

Процесс оптимизации выбора мест размещения земных станций напрямую связан с доступностью предоставляемого продукта конечному потребителю. В зависимости от плотности распределения абонентов – спроса на услуги связи – изменяется нагрузка на *КА* по скорости передачи данных в спутниковом канале.

Численное моделирование спроса (количества абонентов) решает задачу определения орбитальной позиции *КА*, охватывающих максимальное количество пользователей. С этой целью для каждой орбитальной высоты генерируется карта с координатной сеткой (например, разрешением  $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ ), с целью определения количества пользователей, попадающих в зону покрытия спутника в данной орбитальной позиции.



Для создания этой карты местонахождения возможных потребителей можно использовать набор данных о плотности мирового населения Центра социально-экономических данных и предложений *NASA (Gridded Population of the World (GPW) v4)*. На рис. 1 приведены данные переписи и прогнозирования населения на 2020 г. в графическом виде с привязкой к карте местности с разрешением 30 угловых секунд [1].

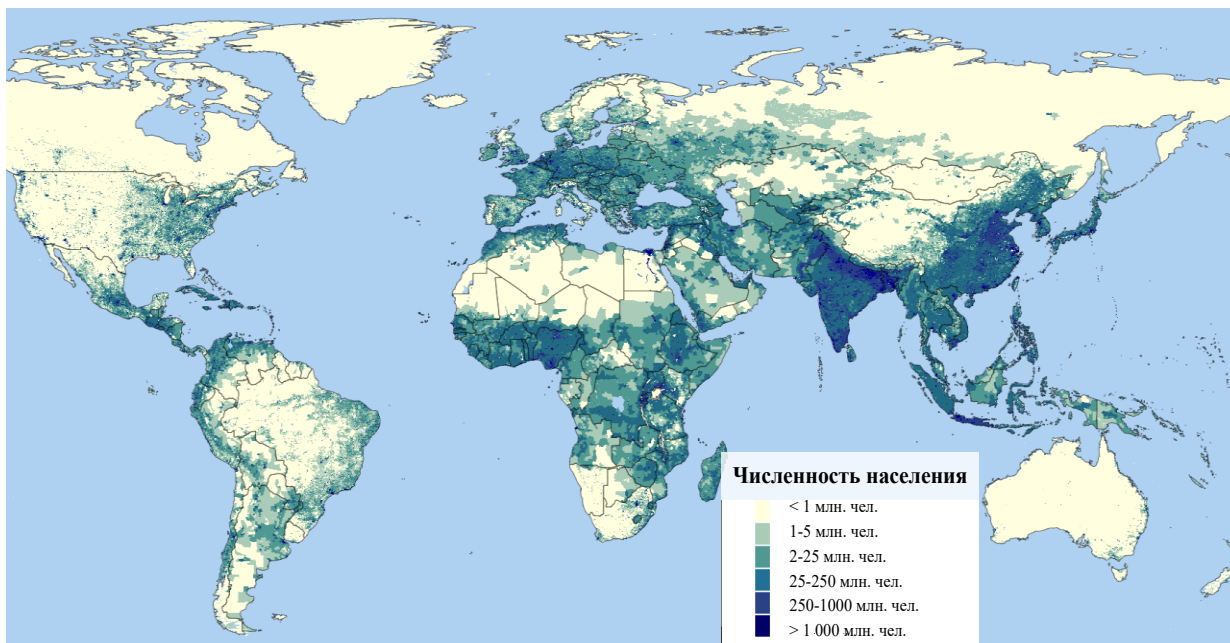


Рисунок 1

В качестве примера, на рис. 2 представлены результаты моделирования [2] количества пользователей в пределах прямой видимости для эталонной группировки (на орбитальной высоте 1200 км, минимальный угол места абонентского терминала равен  $45^\circ$ ). Регионы с большим количеством людей отображаются ярким тоном, а регионы с меньшим спросом – в более темных тонах.

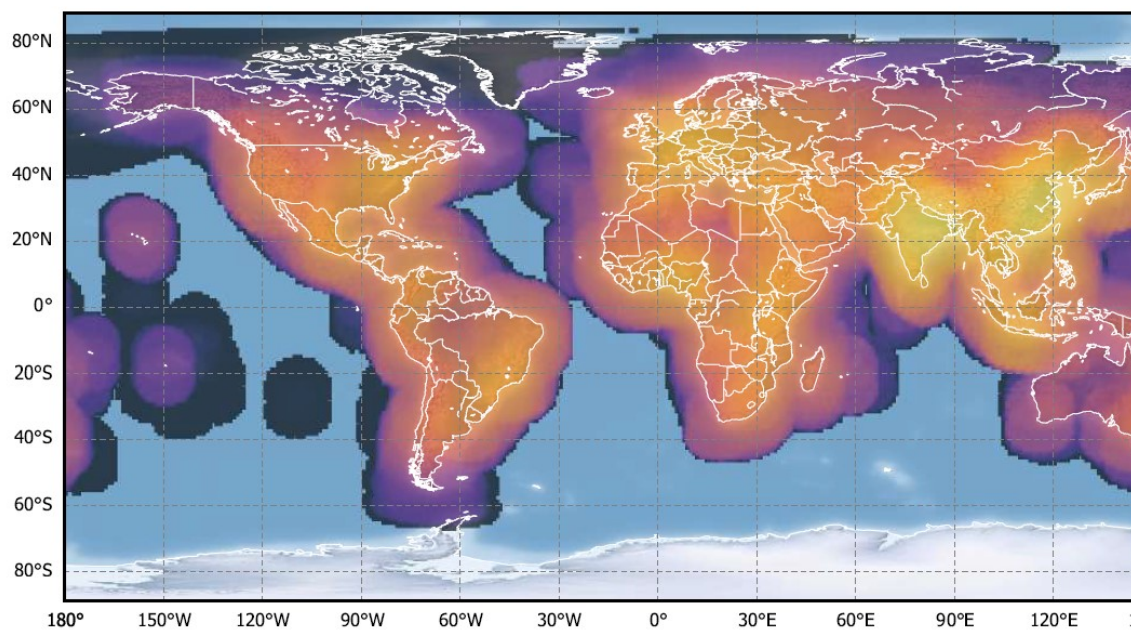


Рисунок 2

Оптимизацию наземного сегмента космической системы проводят с использованием алгоритмов выбора, в том числе и генетических алгоритмов сортировки. Существуют отчеты о положительных достигнутых результатах [2] выполнения оптимизации наземного сегмента с помощью генетического алгоритма недоминантной сортировки с элитной стратегией (*NSGA-II*) [3] для различных частотных диапазонов, применяемых в космических системах.

Так, например [2], в типовых условиях эксплуатации 45 наземных станций, работающих в Ka-диапазоне, могут обеспечить максимальную среднюю скорость передачи данных в системе 29,2 Гбит/с. Результаты моделирования значений средней скорости передачи данных в системе при различном количестве земных станций представлены на рис. 3. Это моделирование показало, что дальнейшее наращивание объема наземного сегмента космической системы Ka-диапазона не способно привести к повышению порогового значения средней скорости передачи данных. Но при этом система 45 наземных станций в Ka-диапазоне способна обеспечить покрытие 85% требуемой территории с точки зрения средней скорости передачи данных в системе.

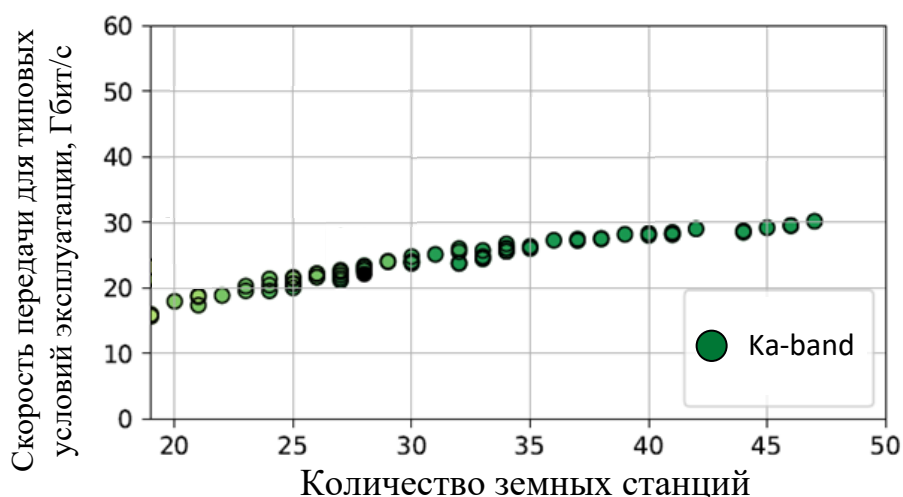


Рисунок 3

### Критерий отсутствия пространственной метеокорреляции

Атмосферное затухание – это главный внешний фактор, влияющий на работу космических линий связи. На частотах Ka-диапазона его эффекты вызывают перебои в работе линий связи на весьма незначительные периоды времени – уровень вносимых затуханий составляет несколько десятых дБ. Для смягчения последствий атмосферного влияния необходимо помимо использования сложных типов модуляций и помехоустойчивого кодирования сигналов, использовать территориальное разнесение земных станций системы.

Для каждого KA должно быть доступно несколько наземных станций в пределах прямой видимости. Таким образом, если погодные условия вызывают сбой связи на одной конкретной радиолинии, то данные все равно могут передаваться через радиолинии с другими земными станциями.

Атмосферное затухание для каждой полосы частот вычисляется с использованием руководящих указаний, приведенных в Рекомендации МСЭ-R 618-12 [4], которая учитывает поглощение в атмосферных газах; поглощение, рассеяние и деполяризация за счет гидрометеоров (капель воды и частиц льда в осадках,

облаках и т.д.). График частотной зависимости атмосферных потерь представлен на рис. 4. В частности, рекомендации *ITU-R P.676-10* [5] и *ITU-R P.840-6* [6] используются для вычисления ослабления в газах и облаках соответственно, а карты в рекомендациях *ITU-R P.837-5* [7], *ITU-R P.838-3* [8] и *МСЭ-R P.839-4* [9] используются для оценки интенсивности дождя, удельного ослабления в дожде и высоты дождя соответственно.

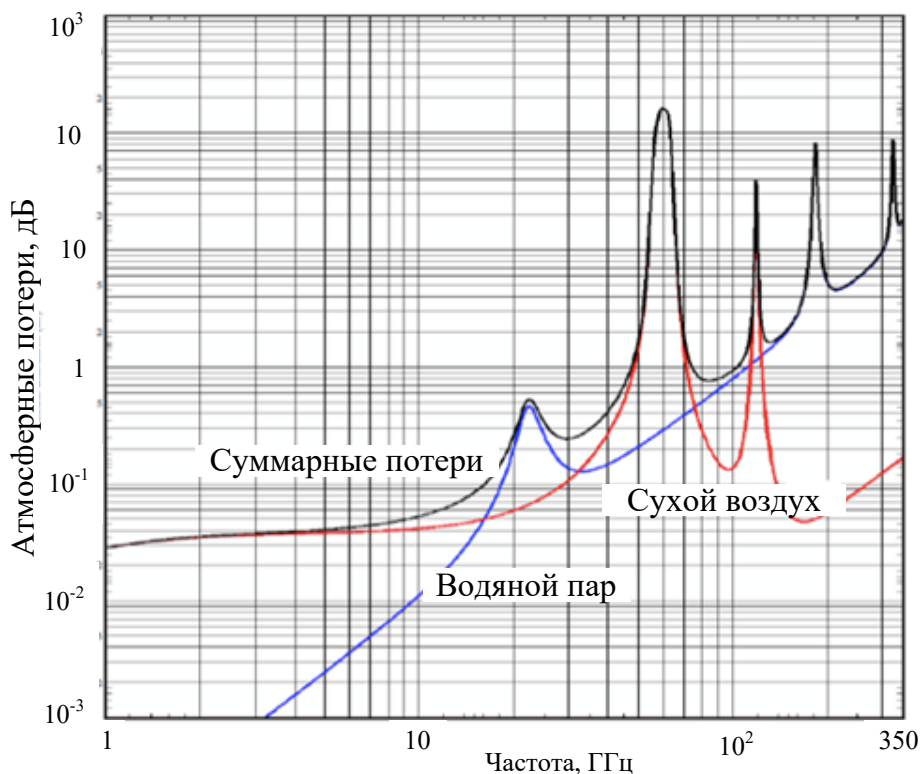


Рисунок 4

Метод, описанный в *ITU-P R.618-12* для вычисления ослабления в дожде, действителен только для процентов времени меньше 5%. Чтобы преодолеть это ограничение необходимо использовать метод, описанный в рекомендации *ITU-R P.837-5*. На рис. 5 приведены типовые кривые значений атмосферного затухания для различных процентов времени при разных углах места земной станции.

Коэффициент корреляции метеоусловий двух наземных станций в пределах прямой видимости  $KA$  может быть определен в соответствии с моделью, приведенной в Рекомендации *МСЭ-R P.618-12*:

$$p = 0,59e^{-\frac{d}{31}} + 0,41e^{-\frac{d}{800}}$$

где:  $d = L_s \cos \theta$  – горизонтальная проекция длины наклонной трассы, км,

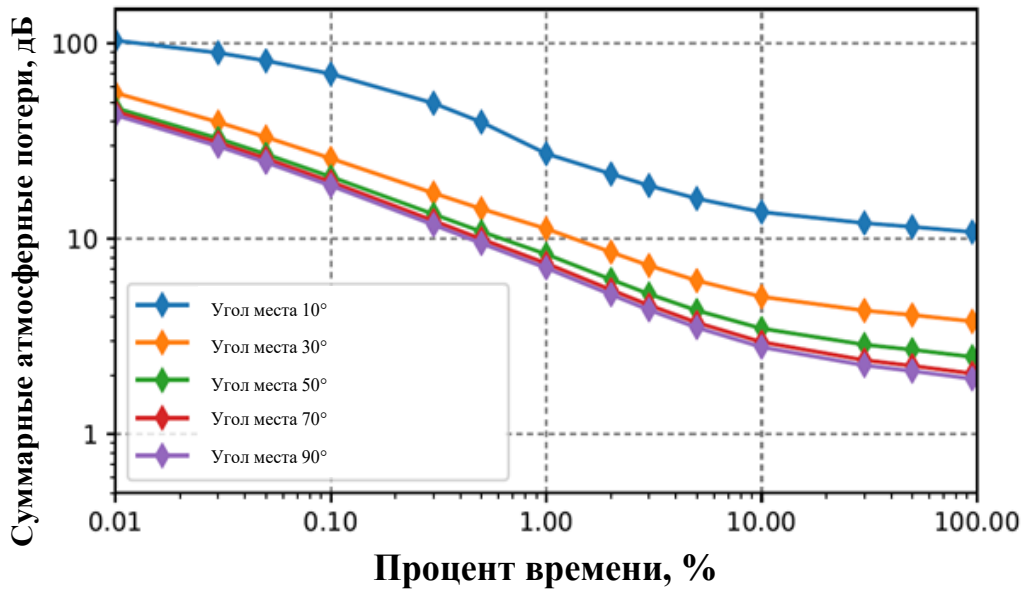


Рисунок 5

$L_s$  – длина наклонной трассы для углов места, превышающих  $5^\circ$ , км:

$$L_s = \frac{(h_R - h_S)}{\sin \theta}$$

где:  $h_S$  – высота земной станции над средним уровнем моря, км;  
 $h_R$  – высота слоя дождя, км, в соответствии с Рекомендацией МСЭ-R P.839.

В частности, в любом из рассматриваемых наземных сегментов, существующих низкоорбитальных космических систем с минимальным углом места  $45^\circ$  расстояние между наземными станциями должно быть не менее 2000 км [2], что, соответствует коэффициенту корреляции менее 3% (рис. 6).

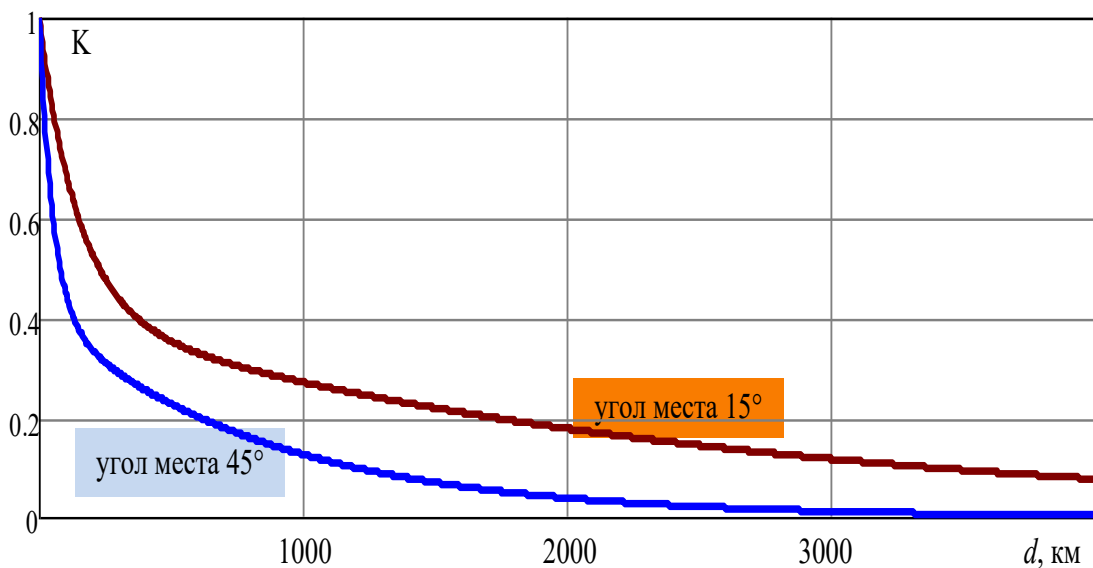


Рисунок 6

Для минимального угла места земной станции  $15^\circ$  в целях снижения метеокорреляции расстояние между ними необходимо увеличить до 3000 км, при этом коэффициент корреляции не превысит 10 %.

Таким образом, атмосферное ослабление необходимо учитывать при расчетах бюджета радиолиний связи КА с земными станциями. С целью уменьшения корреляция атмосферного влияния между соседними земными станциями наземного сегмента рекомендовано территориальное разнесение их на расстояние не менее 3000 км.

### **Критерий транспортной доступности**

Необходимость обеспечения работы спутниковой группировки «Сфера» предъявляет высокие требования по скорости обмена информацией между узлами системы. Необходимым критерием размещения земной станции становится доступность подключения услуг наземного оператора магистральных транспортных сетей.

Магистральные транспортные сети – важная составляющая инфраструктуры связи и технологическая база для оказания комплекса услуг связи. Передача трафика по магистральным сетям – крупный сегмент телекоммуникационного бизнеса. Благодаря географическому расположению России, наземные магистральные сети отечественных операторов связи являются альтернативой межконтинентальным подводным кабельным системам при передаче трафика из Европы в Азию. По данным операторов связи, в 2019 г. объем трафика, передаваемого через территорию России по разным маршрутам из Китая в Европу, составил рекордные 1,5 Тбит/с, превысив показатель предшествующего года (менее 1 Тбит/с).

На рис. 7 представлена карта магистральных сетей связи в РФ, на которой в схематичном виде изображены магистральные транспортные сети крупнейших российских операторов связи. В табл. 1 приведены основные технические характеристики сетей (протяженность магистральных сетей, поставщики оборудования, зарубежные операторы, с сетями которых имеются физические трансграничные стыки и др.).

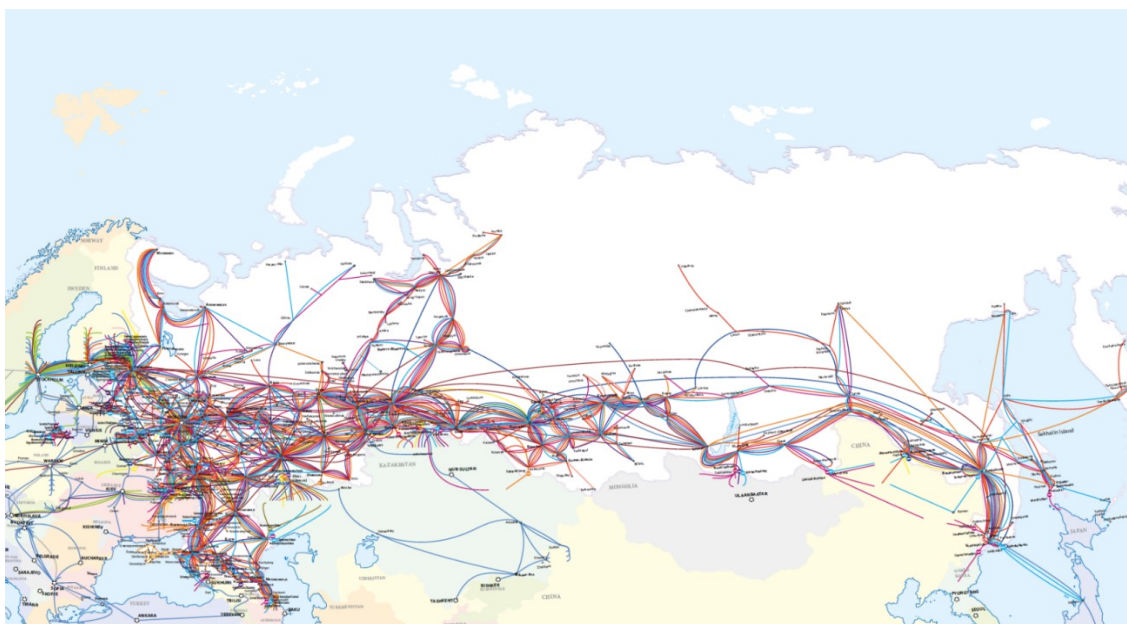


Рисунок 7

Таблица 1.

Оператор	Ростелеком, ПАО	Мобильные ТелеСистемы, ПАО	ВымпелКом, ПАО	МегаФон, ПАО	Компания ТрансТелеКом, АО
Торговая марка		МТС	Билайн	МегаФон	ТТК
Протяженность магистральной сети (тыс. км)	500.00	248.00	190.80	140.40	78.00
Производители передающего оборудования	<i>Coriant, ECI Telecom, Huawei, Infinera, NEC, Nokia Networks, T8</i>	<i>Alcatel-Lucent, Cisco, ECI Telecom, Huawei, Juniper</i>	<i>Alcatel-Lucent, Ciena, Cisco, ECI Telecom, Huawei, Juniper</i>	<i>Cisco, Huawei, Juniper</i>	<i>Alcatel-Lucent, Ciena, Cisco, ECI Telecom, Huawei, ZTE</i>

### Анализ загрузки полос радиочастот, планируемых к использованию земных станций

В соответствии с исходными данными в разрабатываемой спутниковой группировке «Сфера» планируется терминирование абонентских данных опорной сетью посредством организации радиолинии связи.

Выделение полос радиочастот осуществляется в соответствии с требованиями, условиями распределения и использования полос радиочастот, которые определяются Таблицей распределения полос частот между радиослужбами Российской Федерации (Постановление Правительства РФ от 18.09.2019 г. № 1203-47), а также Международным регламентом радиосвязи (PP) на международном уровне. В таб. 2 приведено распределение полос радиочастот. Ка диапазона между радиослужбами в соответствии с нормативными документами.

Выбранные для функционирования ЗС полосы радиочастот в рамках международного и национального распределения выделены фиксированной спутниковой службе на первичной основе. Категория полос радиочастот: «СИ» – полосы радиочастот, предназначенные для совместного пользования радиоэлектронными средствами любого назначения.

Таким образом, на отдельных участках анализируемой полосы радиочастот 17,3-20,2 МГц могут функционировать на первичной основе радиоэлектронные средства следующих радиослужб:

- радиолокационная;
- фиксированная;
- фиксированная спутниковая;
- подвижная спутниковая.

Таблица 2.

Полоса частот	Радиорегламент (район 1), полоса радиочастот радиослужбы	Распределение полос радиочастот между радиослужбами в Российской Федерации	Радиорегламент (район 2), полоса радиочастот радиослужбы	Радиорегламент (район 3), полоса радиочастот радиослужбы
17,3 - 17,7 ГГц	Фиксированная спутниковая («земля-	Радиолокационная, фиксированная спутниковая	Фиксированная спутниковая	Фиксированная спутниковая («земля-космос»),

Полоса частот	Радиорегламент (район 1), полоса радиочастот радиослужбы	Распределение полос радиочастот между радиослужбами в Российской Федерации	Радиорегламент (район 2), полоса радиочастот радиослужбы	Радиорегламент (район 3), полоса радиочастот радиослужбы
	космос») 5.516, «космос-земля», 5.516а, 5.516в, радиолокационная 5.514	(«космос-земля», «земля-космос») 221, 324, 325, 326	(«земля-космос») 5.516, радиовещательная спутниковая, радиолокационная 5.514, 5.515	5.516 радиолокационная 5.514
17,7-18,1 ГГц	Подвижная, фиксированная, фиксированная спутниковая («космос-земля»), 5.484а, («земля-космос») 5.516	Фиксированная, фиксированная спутниковая («космос-земля», «земля-космос») 200, 210, 221, 301, 324, 327	Фиксированная, фиксированная спутниковая («космос-земля»), 5.517, («земля-космос») 5.516 радиовещательная спутниковая, подвижная 5.515, 5.519	Фиксированная, фиксированная спутниковая («космос-земля»), 5.484а, («земля-космос») 5.516 подвижная
18,1 - 18,4 ГГц	Подвижная, фиксированная, фиксированная спутниковая («космос-земля»), 5.484а, 5.516в, («земля-космос»), 5.520 5.519,5.521	Фиксированная, фиксированная спутниковая («космос-земля», «земля-космос») 200, 210, 301, 327, 328,329	Подвижная, фиксированная, фиксированная спутниковая («космос-земля»), 5.484а, 5.516в, («земля-космос»), 5.520 5.519,5.521	
18,4 - 18,6 ГГц	Подвижная, фиксированная, фиксированная спутниковая («космос-земля») 5.484а, 5.516	Фиксированная, фиксированная спутниковая («космос-земля») 210, 301, 324, 327	Подвижная, фиксированная, фиксированная спутниковая («космос-земля») 5.484а, 5.516	
18,8-19,3 ГГц	Фиксированная, фиксированная спутниковая («космос-земля») 5.516в, 5.523а подвижная	Фиксированная, фиксированная спутниковая («космос-земля») 200, 210, 327	Фиксированная, фиксированная спутниковая («космос-земля») 5.516в, 5.523а подвижная	
19,3-19,7 ГГц	Фиксированная, фиксированная спутниковая («космос-земля»),	Фиксированная, фиксированная спутниковая («космос-земля»),	Фиксированная, фиксированная спутниковая («космос-земля»), («земля-космос»)	

Полоса частот	Радиорегламент (район 1), полоса радиочастот радиослужбы	Распределение полос радиочастот между радиослужбами в Российской Федерации	Радиорегламент (район 2), полоса радиочастот радиослужбы	Радиорегламент (район 3), полоса радиочастот радиослужбы
	«земля-космос») 5.523b, 5.523c, 5.523d, 5.523e подвижная	«земля-космос») 200, 210, 327, 331	5.523b, 5.523c, 5.523d, 5.523e подвижная,	
19,7 - 20,1 ГГц	Фиксированная спутниковая («космос-земля»), 5.484a, 5.484в, 5.527a, подвижная спутниковая («космос-земля») 5.524	Фиксированная спутниковая («космос-земля»), подвижная спутниковая («космос-земля») 301, 326	Фиксированная спутниковая («космос-земля»), 5.484a, 5.484в, 5.527a, подвижная спутниковая («космос-земля») 5.524, 5.525, 5.526, 5.527, 5.528, 5.529	Фиксированная спутниковая («космос-земля»), 5.484a, 5.484в, 5.527a, подвижная спутниковая («космос-земля») 5.524
20,1 - 20,2 ГГц	Фиксированная спутниковая («космос-земля»), 5.484a, 5.484в, 5.516в, 5.527a подвижная спутниковая («космос-земля») 5.524, 5.525, 5.526, 5.527, 5.528	Подвижная спутниковая («космос-земля»), фиксированная спутниковая («космос-земля») 301, 326, 332, 333	Фиксированная спутниковая («космос-земля»), 5.484a, 5.484в, 5.516в, 5.527a подвижная спутниковая («космос-земля») 5.524, 5.525, 5.526, 5.527, 5.528	

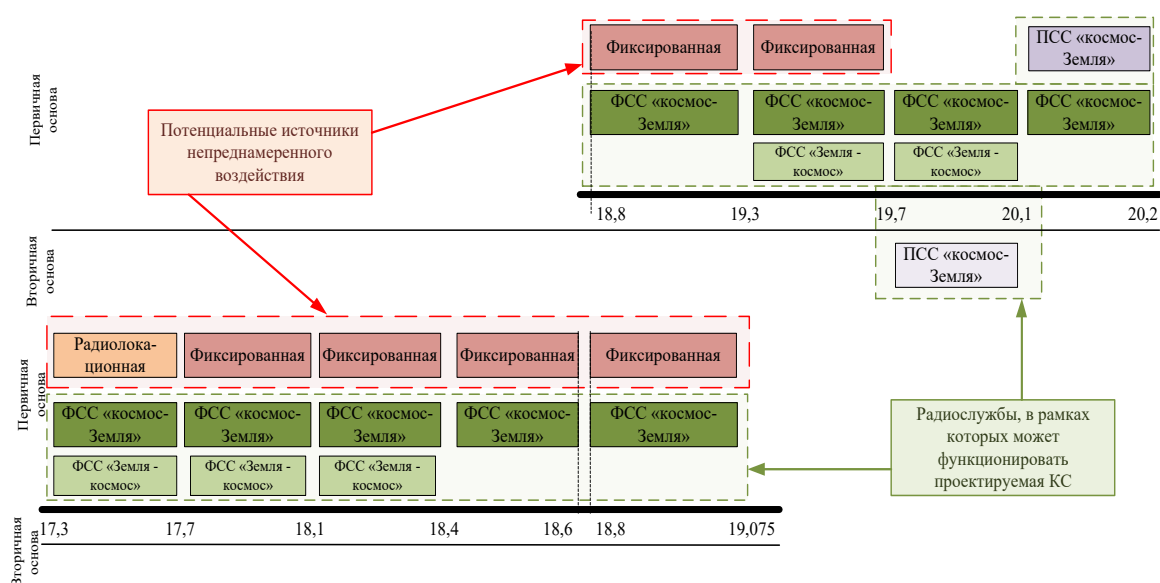


Рисунок 8



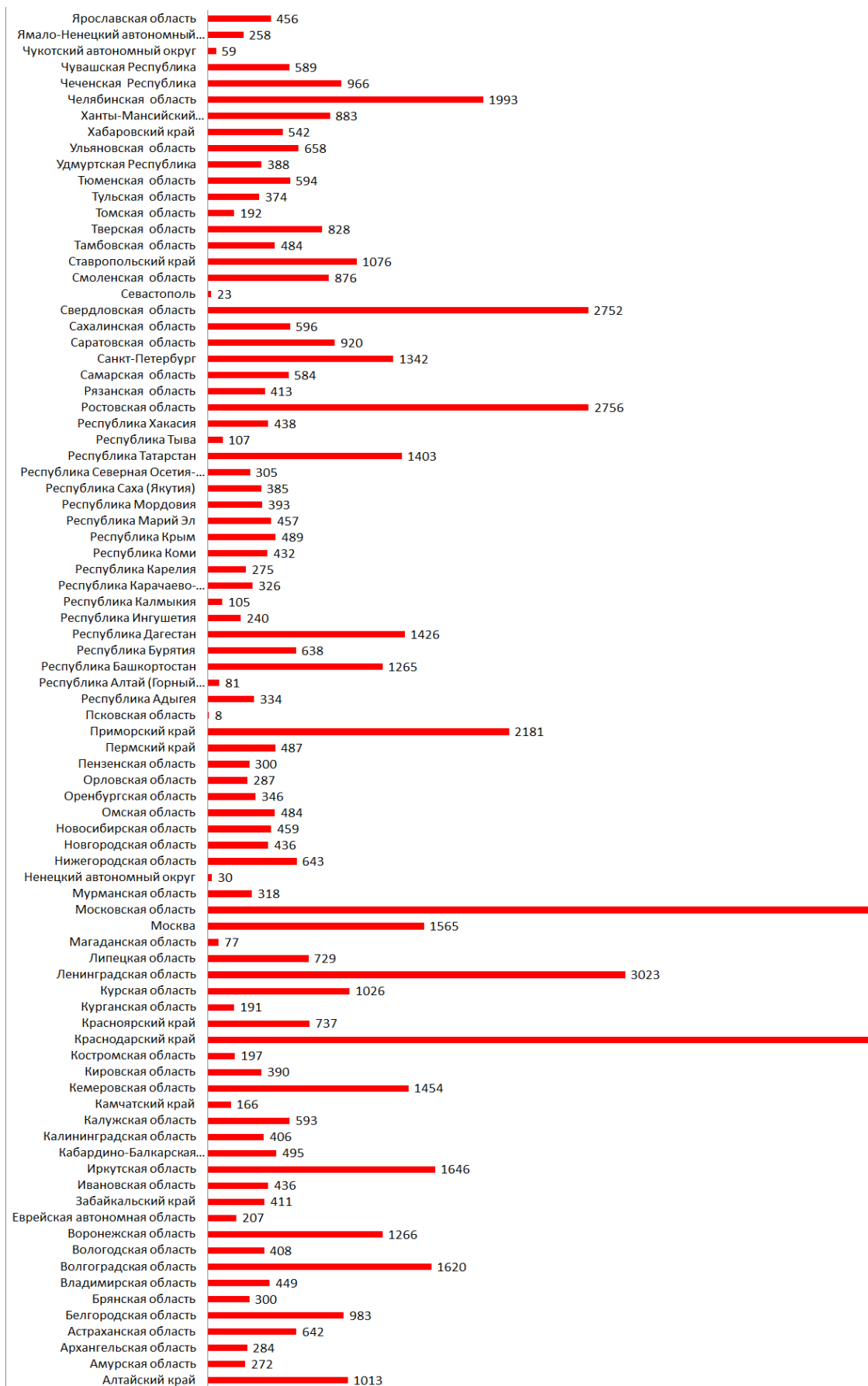


Рисунок 9

По данным ЕТС [10] и ФАИС [11] на территории РФ РЭС радиолокационной службы зарегистрированы в диапазоне радиочастот от 16,6 до 17,1 ГГц. Зарегистрированные РЭС радиолокационной службы в диапазоне радиочастот от 17,3 до 17,7 ГГц отсутствуют.

Радиоэлектронные средства фиксированной службы в диапазоне радиочастот от 17,7 до 19,7 ГГц представлены радиорелейными станциями (РРС). На территории РФ зарегистрировано более 100 000 средств. На рис. 8 приведено распределение полосы 17,3-20,2 ГГц между радиослужбами на территории РФ. Наиболее загруженной полосой, с точки зрения зарегистрированных РРС, является полоса радиочастот 17,96-19,56 ГГц.

На рис. 9 представлена диаграмма распределения количества зарегистрированных РРС на территории РФ по регионам. Наибольшее количество РРС зарегистрировано на территориях Московской области и Краснодарского края.

На рис. 10 приведено размещение зарегистрированных РРС на карте территории РФ.

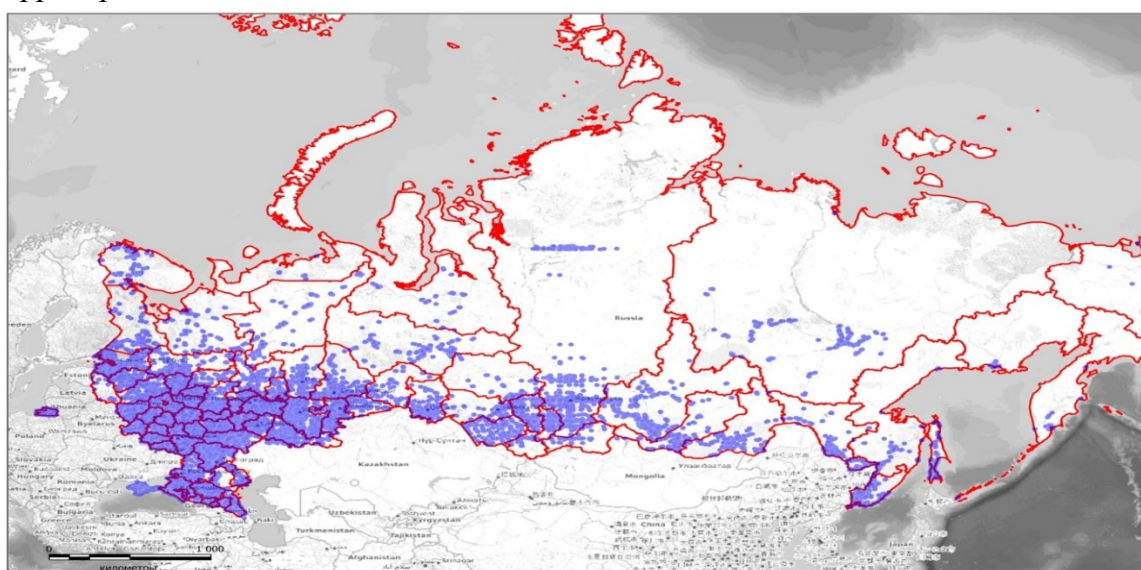


Рисунок 10

В соответствии с национальным распределением полос радиочастот средства фиксированной радиослужбы, представленные радиорелейными станциями, являются РЭС-источниками непреднамеренного помехового воздействия на земные станции.

Основные радиотехнические параметры радиорелейной линии Ка-диапазона (табл. 3) определены Решением ГКРЧ от 25.06.2007 г. № 07-21-02-001 «О выделении полосы радиочастот 17,7-19,7 ГГц для радиорелейных станций прямой видимости». Основные параметры РРС Ка-диапазона представлены в табл. 3.

Таблица 3.

Наименование параметра	Величина параметра	Единица измерения
Полоса радиочастот	17,7-19,7 ГГц	ГГц
Максимальная мощность передатчика РРС	0,5 Вт	Вт
Ширина диаграммы направленности антенны в горизонтальной плоскости	3,8	Град

Частотные планы РРС представлены в рекомендации МСЭ-*R F.595* «Планы размещения частот радиостолов для фиксированных беспроводных систем, действующих в диапазоне частот 17,7-19,7 ГГц».

Анализ международного распределения в Районах 2 и 3 полосы 17,3 – 20,2 ГГц показал, что дополнительно к службам, с которыми необходима разработка условий совместного функционирования при развертывании земных станций фиксированной спутниковой службы на территории РФ, добавляется подвижная служба в полосе 17,7-19,7 ГГц и радиовещательная в полосе частот 17,3-18,1 ГГц в Районе 2.

### **Оценка электромагнитной совместимости РЭС фиксированной службы и РЭС земной станции**

Оценка электромагнитной совместимости (ЭМС) наземных радиоэлектронных средств в группировке представляет собой решение комплексной задачи, включающей в себя выявление источников непреднамеренного помехового воздействия (РЭС-источников), определение возможных сценариев помехового воздействия РЭС-источника на РЭС-рецептор, расчет уровней непреднамеренных помех в соответствии с выбранными сценариями, заключение о приемлемости или недопустимости оцениваемого помехового влияния РЭС-источника на РЭС-рецептор.

Процесс решения задачи по выявлению источников непреднамеренного помехового воздействия заключается в проведении анализа национального и международного распределения полос радиочастот между радиослужбами с формированием перечня типовых радиоэлектронных средств радиослужб, функционирующих в рабочем диапазоне частот РЭС-рецептора. Для такой оценки ЭМС основные параметры РЭС ЗС приведены в табл. 4.

Таблица 4.

<b>Параметр</b>	<b>Значение параметра</b>	
Диапазон частот	$K_a$ – диапазон	
Высота орбиты $K_A$ [км]	500 км	900 км
Угол места [град]	15	
Максимальная дальность [км]	1300	1873
Частота [МГц]	18150 (17400 – 18900 МГц)	
Коэффициент усиления передающей антенны [дБ]	54,5	
ЭИИМ [дБВт]	56,4	60,0
Потери в свободном пространстве [дБ]	181,5	184,7
Потери в атмосфере [дБ]	9,0	
Коэффициент усиления приемной антенны ЗС [дБ]	37,8	
Пороговая чувствительность приемника [дБВт]	-123,1	

На начальном этапе оценки ЭМС РЭС в группировке проводится частотный анализ ЭМС с целью выявления потенциально несовместимых РЭС группировки, а также возможные каналы проникновения радиопомех. Частотный анализ ЭМС РЭС-источником (РЭС фиксированной службы) с РЭС-рецептором (РЭС ЗС) показал их потенциальную несовместимость, учитывая, полное перекрытие рабочей полосы радиочастот РЭС ФС 17,7-19,7 ГГц с полосой частот основного канала приема ЗС 17,4-20,2 ГГц.

На этапе энергетического анализа ЭМС определяется основной энергетический показатель  $\Delta I$  (дБ) ЭМС РЭС:

$$\Delta I = I - I_t, \quad (1)$$

где:  $I$  – мощность непреднамеренной помехи, приведенная ко входу приемника ЗС, дБВт;

$I_t$  – величина допустимой мощности помехи на входе приемника ЗС (соответствует уровню реальной чувствительности), дБВт, определяемая следующим выражением (в соответствии с *ITU-R SF 1006*):

$$I_t = 10 \cdot \lg(kTB) + Q - W = -123,1 \text{ дБВт/МГц}, \quad (2)$$

где:  $k$  – постоянная Больцмана, равная  $1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К;

$T$  – шумовая температура приемника, равная 650 К;

$Q$  – защитное отношение приемника к помехе, равное отношению сигнал/(шум+помеха):  $S / (I + N) = 17,33$  дБ;

$B$  – эталонная полоса частот, равная 1 МГц (табл. 1 рекомендации *ITU-R SF.1006*);

$W$  – коэффициент эквивалентности теплового шума, равный 0 дБ (табл. 1 Рекомендации *ITU-R SF.1006*) [15].

Показатель обеспечения ЭМС РЭС показывает, на сколько децибел уровень непреднамеренной радиопомехи, создаваемой РЭС окружающей группировки, превышает реальную чувствительность приемника ЗС.

В случае наличия непреднамеренного воздействия со стороны РЭС окружающей группировки на ЗС, невыполнение условия  $\Delta I < 0$  говорит о том, что ЗС не сможет выполнять свои задачи с заданным качеством.

Уровень мощности непреднамеренной помехи в приемном тракте РЭС ЗС в соответствии с концепцией потерь передачи для радиолиний (рекомендация МСЭ R-341) определяется следующим выражением:

$$I = P_t - \eta_r - L(d) - \eta_r, \quad (3)$$

где:  $P_t$  – выходная мощность передатчика РЭС-источника на центральной частоте рабочего диапазона приведенная к 1 МГц, дБВт;

$\eta_t$  – затухание в антенно-фидерном тракте передатчика РЭС-источника, 1 дБ;

$\eta_r$  – затухание в антенно-фидерном тракте приемника ЗС, 1 дБ;

$L(d)$  – потери передачи при распространении радиоволн на расстоянии  $d$  между передающей антенной РЭС-источника и приемной антенной ЗС, дБ;

$$L(d) = L_b(d) - G_t(\varphi_r) - G_r(\varphi_t) , \quad (4)$$

где:  $G_t(\varphi_r)$  – коэффициент усиления передающей антенны РЭС-источника в направлении на ЗС, дБ;

$G_r(\varphi_t)$  – коэффициент усиления антенны ЗС в направлении на РЭС-источник излучения, дБ;

$L_b(d)$  – основные потери передачи, определяемые рекомендацией *ITU-R P.452-15* и выражающиеся формулой:

$$L_b(d) = 92,5 + 20 \cdot \lg(d) + 20 \cdot \lg(f) + L_d(p) + A_g + A_h , \quad (5)$$

где:  $d$  – расстояние между антеннами ЗС и РЭС-источника излучения, км;

$f$  – частота моделирования, МГц;

$L_d(p)$  – дифракционные потери, не превышаемые для  $p$  процента времени, дБ;

$A_g$  – общее поглощение в атмосферных газах, дБ:

$$A_g = (\gamma_0 + \gamma_w(\rho)) \cdot d , \quad (6)$$

где:  $\gamma_0$  – значение погонного ослабления в сухом воздухе;

$\gamma_w$  – значение погонного ослабления в парах воды;

$\rho$  – плотность паров воды (по умолчанию равная  $3 \text{ г/м}^3$ );

$A_h$  – дополнительные потери вследствие защиты от местных отражающих предметов описываются выражением:

$$A_h = 10,25 \cdot F_{fc} \cdot e^{-d_k} (1 - \text{tg}(6(\frac{h}{h_a} - 0,625))) - 0,33 , \quad (7)$$

где:  $F_{fc} = 0,25 + 0,375 \cdot (1 + \text{tg}(7,5(f - 0,5)))$  – параметр расчета;

$d_k$  – расстояние от номинального местоположения отражающего предмета до антенны, км;

$h$  – высота антенны ЗС над местным уровнем земли, 20 м;

$h_a$  – номинальная высота отражающего предмета над местным уровнем земли, м.

Вычисление дифракционных потерь  $L_d(p)$  с учетом модели сферической Земли выполняется в соответствии с рекомендацией *ITU-R P.526*.

Выбор значений  $G_r(\varphi_t)$   $G_t(\varphi_r)$  определяет взаимную ориентацию антенн РЭС – выбор сценария помехового воздействия. Возможны следующие сочетания, характеризующие ориентацию антенн РЭС:

Г – Г – влияние излучения РЭС друг на друга при диаграмме направленности антенны РЭС, направленными главными лепестками навстречу друг другу;

Г – Б – влияние главного лепестка диаграммы направленности антенны РЭС-источника на боковой лепесток диаграммы направленности антенны ЗС;

Б – Г – влияние бокового лепестка диаграммы направленности антенны РЭС-источника на главный лепесток диаграммы направленности антенны ЗС;

Б – Б – влияние боковых лепестков диаграммы направленности антенны РЭС друг на друга.

При моделировании значения  $G_r(\varphi_t)$   $G_t(\varphi_r)$  определяются по диаграммам направленности антенн. Рекомендацией *ITU-R F.699* определены основные

параметры диаграммы направленности антенны (ДНА) РРС, представленные на рис. 11.

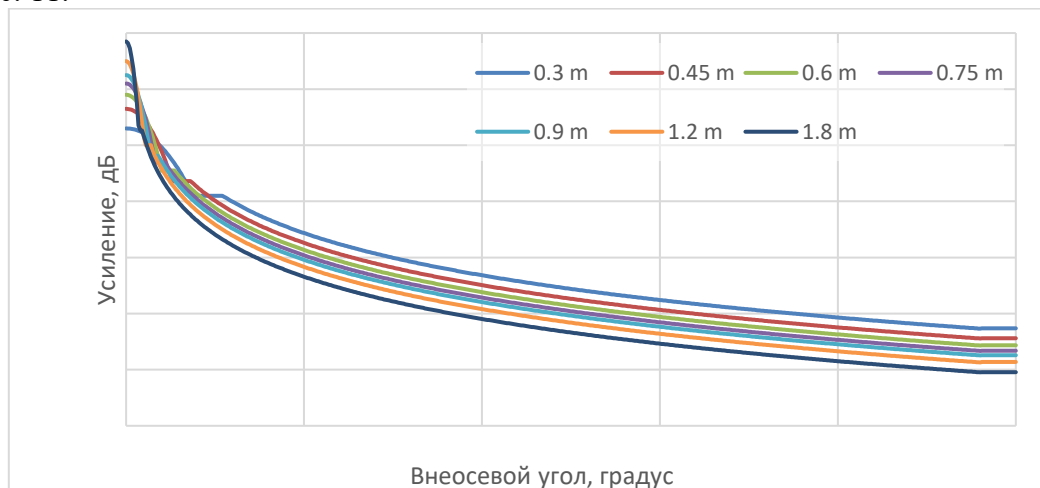


Рисунок 11

Одним из вариантов представления результатов моделирования оценки ЭМС РЭС являются области недопустимого помехового влияния – области пространства, в каждой точке которых РЭС-рецептор испытывает недопустимое помеховое влияние РЭС-источника помех:  $\Delta I > 0$ .

Результаты моделирования представлены на плоскости в декартовой системе координат. В начале координат зафиксировано положение РЭС-источника (РРС). Ориентация основного излучения (главного лепестка ДНА РРС) в азимутальном и угломестном направлении  $0^\circ$ .

В процессе моделирования ЗС перемещается по всей координатной плоскости, при этом ориентация передающей антенны ЗС сохраняется постоянной. Для каждого местоположения ЗС вычисляется величина потерь передачи между ЗС и типовой РРС и отображается в соответствии с цветовой градацией.

Усиление антенны ЗС в направлении станции РРС зависит от местоположения земной станции и угла наведения антенны, а усиление антенны РРС в направлении ЗС зависит от местоположения станции ЗС.

Результаты моделирования типовых координационных зон, обеспечивающих защиту ЗС от помехового воздействия со стороны РРС, представлены на рис. 12-15. Координационные зоны рассчитаны для типовых сценариев направленности антенн ЗС  $180^\circ$ ,  $135^\circ$ ,  $90^\circ$  и  $0^\circ$ . Угломестное положение антенны ЗС соответствует  $15^\circ$  и характеризует наихудший случай помехового воздействия излучений РРС.

По полученным результатам при угле места  $15^\circ$  требуемое расстояние сильно зависит от азимутального направления наведения антенны ЗС, то есть от азимутального местоположения КА.

Необходимое расстояние обеспечения ЭМС составляет порядка 4-9 км и 1-4 км, когда ЗС располагается вне зоны действия главного луча станции РРС (рис. 12-15) – помеховый сценарий «БЛ-БЛ».

На рис. 12 показаны зоны помехового воздействия РРС на ЗС при наведении антенны ЗС на КА: азимут  $135^\circ$ , угол места  $15^\circ$ . На рис. 13 показаны зоны помехового воздействия РРС на ЗС при наведении антенны ЗС на КА: азимут  $90^\circ$ , угол места  $15^\circ$ . На рис. 14 зоны помехового воздействия РРС на ЗС при наведении антенны ЗС на КА: азимут  $0^\circ$ , угол места  $15^\circ$ . На рис. 15 зоны помехового

воздействия РРС на ЗС при наведении антенны ЗС на КА: азимут  $180^\circ$ , угол места  $15^\circ$ .

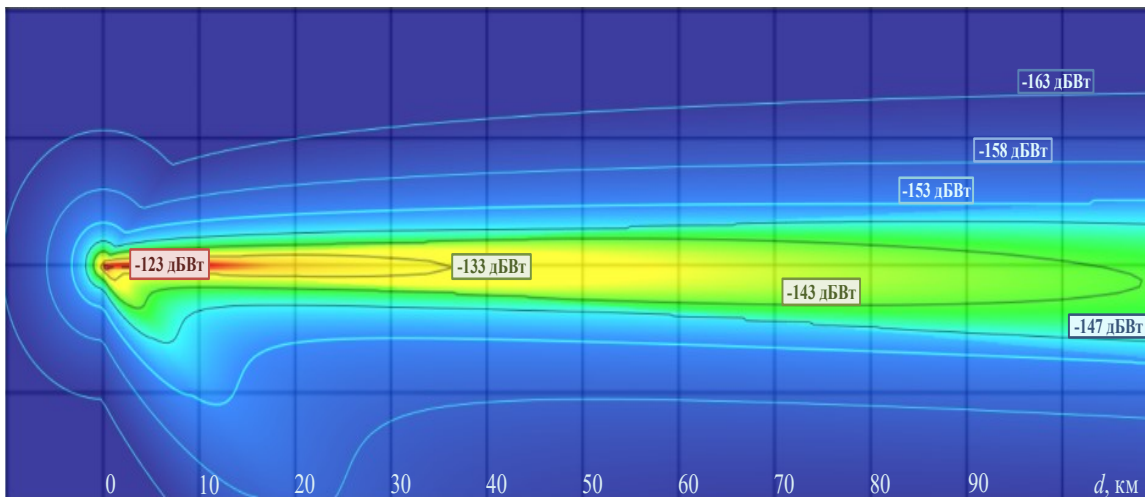


Рисунок 12

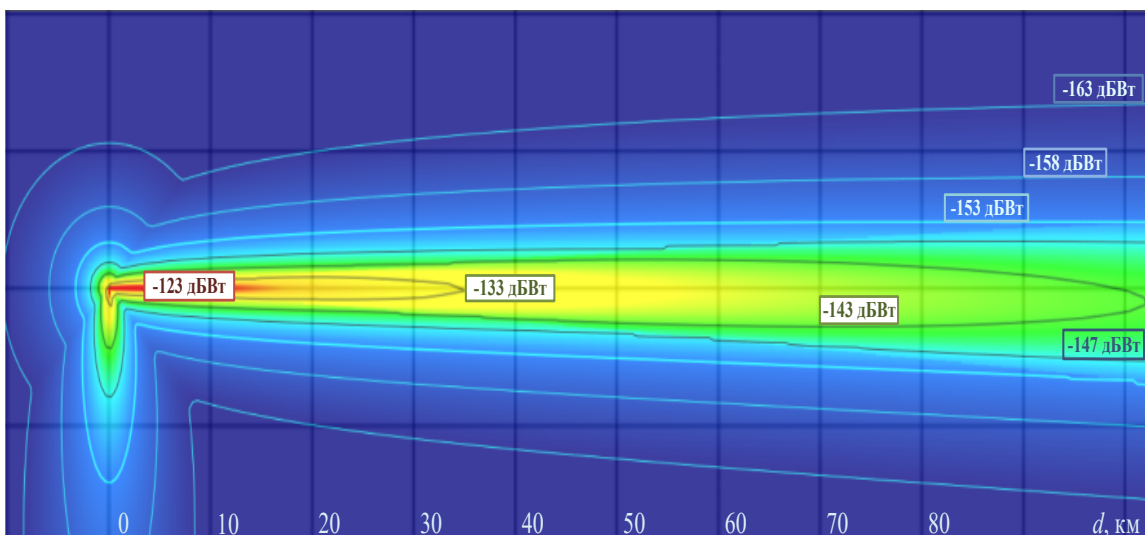


Рисунок 13

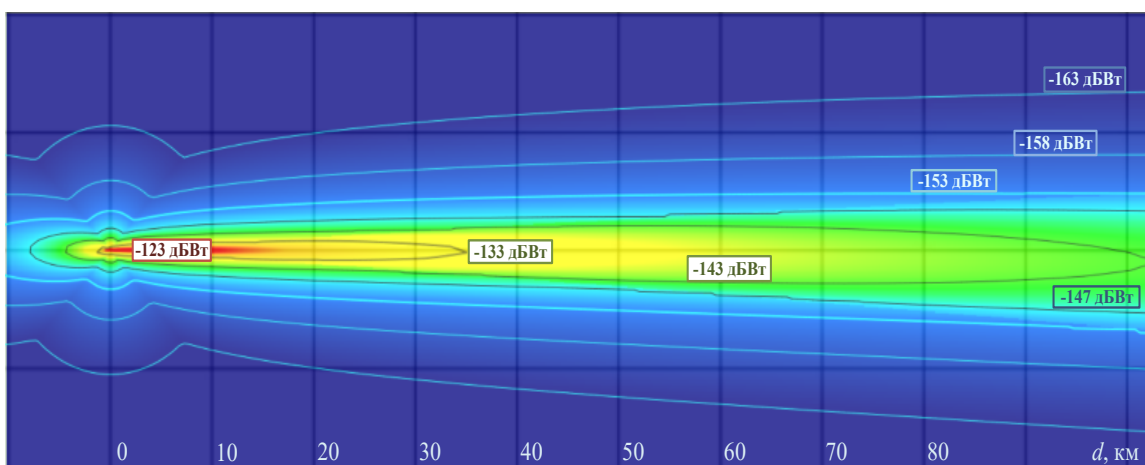


Рисунок 14

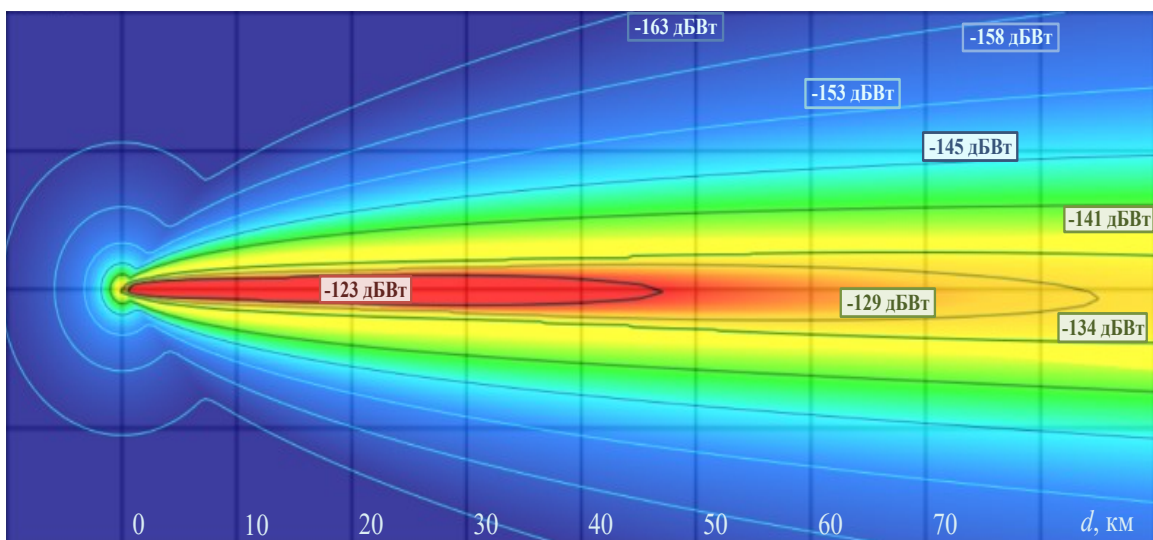


Рисунок 15

Наиболее сильное помеховое воздействие наблюдается в зоне главного луча ДНА РРС – помеховый сценарий «ГЛ-ГЛ». Требуемое расстояние в этом случае не превышает 43 км (рис. 15).

Данное моделирование проведено в соответствии со следующими допущениями:

- распространение происходит в зоне прямой видимости и дифракционными потерями можно пренебречь  $Ld(p) = 0$ ;

- потери передачи не учитывают влияние препятствий, расположенных вблизи антенн  $A_h = 0$ .

Уточнение типовых координационных зон РРС на ЗС возможно при детальном анализе параметров размещения ЗС, учитывающих особенности рельефа местности, наличия затенений и реальных высот подвеса антенн группировки РРС в местах планируемого размещения шлюзовых станций ЗС проектируемой спутниковой группировки.

### Заключение

По результатам проведенной оценки ЭМС ЗС с РЭС фиксированной службы получены численные значения прогнозируемого уровня помех, создаваемых группировкой РРС на уровень реальной чувствительности приемника ЗС. С целью компенсации этого превышения – создания условий обеспечения ЭМС – можно воспользоваться организационными или техническими мерами обеспечения ЭМС. Для реализации технических мер необходима корректировка технических характеристик основных функциональных узлов проектируемых РЭС ЗС: параметров антенн и приемников. Для параметров антенн – это снижение среднего уровня боковых лепестков ДНА.

### Литература

1. Ciesin S. «Gridded population of the world version 4 (gpwv4): population density grids» Palisades, NY: Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC), Columbia University, 2005.



2. Cameron B., I. del Portillo., Crawley E. March. Ground segment architectures for large LEO constellations with feeder links in EHF-bands, 2018 IEEE Aerospace Conference, IEEE, 2018.
3. Deb K., Pratap A., Agarwal S., Meyarivan T. A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGAII Evolutionary Computation, IEEE Transactions on, 2002. – Vol. 6. – № 2. – pp. 182-197.
4. Рекомендация МСЭ-R 618-12 Данные о распространении радиоволн и методы прогнозирования, необходимые для проектирования систем связи Земля-космос.
5. Рекомендация МСЭ-R P.676-10 Затухание в атмосферных газах (Вопрос МСЭ-R 201/3).
6. Рекомендация МСЭ-R P.840-6 Ослабление из-за облачности и тумана (Вопрос МСЭ-R 201/3).
7. Рекомендация МСЭ-R P.837-5, Характеристики осадков, используемые при моделировании распространения радиоволн (Вопрос МСЭ-R 201/3).
8. Рекомендация МСЭ-R P .838-3 Модель погонного ослабления в дожде, используемая в методах прогнозирования (Вопрос МСЭ-R 201/3).
9. МСЭ-R P.839-4 Модель высоты слоя дождя, используемая в методах прогнозирования (Вопрос МСЭ-R 201/3).
10. Единый технический справочник РЭС и ВЧУ, <http://www.ets-res.ru>. (дата обращения: 18.06.2022).
11. ФАИС, Федеральная автоматизированная информационно-аналитическая система в области использования радиочастотного спектра и средств массовой информации, <http://fais-rfs.ru/> (дата обращения: 18.06.2022).
12. Акики Д., Биайнех В., Нассар Е., Хармуш А. «Снижение уровня боковых лепестков зеркальных антенн методом позиционирования металлических полосок в раскрыве. Университет «Нотр Дам», г. Триполи, Ливан.
13. Хансен Р.С. Фазированные антенные решетки. – М.: Техносфера, 2012. – 560 с.
14. Анпилогов В., Эйбус А. Неэквидистантная антенная решетка с низким уровнем боковых лепестков. Технологии и средства связи, 2017. – № 2 (119). – С. 40-43.
15. ITU-R SF 1006 Determination of the interference potential between earth stations of the fixed-satellite service and stations in the fixed service.
16. Рекомендация МСЭ R-341 Концепция потерь передачи для радиолиний (1959-1982-1986-1994-1995-1999-2016).
17. Рекомендация МСЭ-R P.452-15. Процедура прогнозирования для оценки помех между станциями, находящимися на поверхности Земли, на частотах выше приблизительно 0,1 ГГц (Вопрос МСЭ-R 208/3).
18. Рекомендация МСЭ-R P.526. Распространение радиоволн за счет дифракции (Вопрос МСЭ-R 202/3).
19. Рекомендация ITU-R F.699. Эталонные диаграммы направленности антенн фиксированных беспроводных систем для использования при изучении вопросов координации и оценке помех в диапазоне частот от 100 МГц до примерно 70 ГГц.
20. Решение ГКРЧ от 25.06.2007 г. № 07-21-02-001 «О выделении полосы радиочастот 17,7-19,7 ГГц для радиорелейных станций прямой видимости». [Электронный ресурс] <https://docs.cntd.ru/document/902056871> (дата обращения: 18.06.2023).

## СПОСОБЫ РАДИОКОНТРОЛЯ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ

**Б.М. Антипин**, к.т.н., доцент, Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, [antip@irga.sut.ru](mailto:antip@irga.sut.ru);

**Е.М. Виноградов**, к.т.н., доцент, Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, [vinog1936@mail.ru](mailto:vinog1936@mail.ru);

**Е.В. Шаброва**, Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, [shabrova1@mail.ru](mailto:shabrova1@mail.ru).

### УДК 621.396

**Аннотация.** На основе анализа отечественных и зарубежных публикаций в открытых источниках рассматриваются способы радиоконтроля беспилотных авиационных систем, включая радиомониторинг, оценку параметров радиоизлучений передатчиков пункта управления и беспилотного воздушного судна, а также определение их местоположения.

**Ключевые слова:** авиационные системы; беспилотные воздушные суда; определение местоположения; средства измерения параметров излучения.

## METHODS OF RADIO MONITORING OF UNMANNED AIRCRAFT SYSTEMS

**Boris Antipin**, Ph.D., Associate Professor, St. Petersburg state university of telecommunications n/a prof. M.A. Bonch-Bruevich;

**Evgenii Vinogradov**, Ph.D., Associate Professor, St. Petersburg state university of telecommunications n/a prof. M.A. Bonch-Bruevich;

**Elena Shabrova**, St. Petersburg state university of telecommunications n/a prof. M.A. Bonch-Bruevich.

**Annotation.** Based on the analysis of domestic and international publications in open sources, methods of radio monitoring of unmanned aircraft systems are considered, including radio monitoring, evaluation of radio emission parameters of control point transmitters and unmanned aircraft, as well as determining their location.

**Keywords:** unmanned aircraft systems; unmanned aerial vehicles; location determination; means of measuring radiation parameters.

### Введение

Реалии сегодняшнего дня обозначили новые объекты для радиоконтроля – радиоэлектронные средства (РЭС) беспилотных авиационных систем (БАС) гражданского назначения. С учетом интенсивного развития отрасли по производству БАС в Российской Федерации, а также импорта БАС из зарубежных стран, количество таких систем и интенсивность их применения в гражданской сфере увеличивается [1-5]. Соответственно увеличивается и количество РЭС, обеспечивающих функционирование линий управления беспилотными воздушными судами (БВС) и контроля БАС.

Производство БАС в РФ организовано на разных предприятиях, в частности, на базе индустриального парка в Руднево (г. Москва), где до конца года планируется произвести 5000 БАС. С 1 марта 2024 г. вступает в силу упрощенный (уведомительный) порядок применения БАС в сельском хозяйстве, включая

возможность свободной эксплуатации в отдельных зонах на высоте до 150 м, что также скажется на увеличении интенсивности их использования.

В связи с этим особую значимость приобретает незавершенность процесса разработки нормативной базы, регламентирующей вопросы использования радиочастотного спектра РЭС БАС, а перед радиочастотной службой остро встает задача организации радиоконтроля РЭС беспилотных авиационных систем гражданского назначения.

При этом необходимо отметить, что цели осуществления мероприятий радиоконтроля, определенные в статье 25 Закона о Связи 126-ФЗ от 07.07.2003 (в редакции от 01.05.2022) «Контроль за излучениями радиоэлектронных средств и (или) высокочастотных устройств»<sup>1</sup> целиком и полностью относятся и к РЭС БАС гражданского назначения:

- проверка соблюдения пользователем радиочастотным спектром правил его использования;
- выявление не разрешенных для использования РЭС и прекращения их работы;
- выявление источников радиопомех;
- выявление нарушения порядка и правил использования радиочастотного спектра, национальных стандартов Российской Федерации, требований к параметрам излучения (приема) РЭС и (или) ВЧУ;
- обеспечение электромагнитной совместимости (ЭМС);
- обеспечение эксплуатационной готовности радиочастотного спектра.

Особенность радиоконтроля в данном случае состоит в том, что РЭС БАС выполняют функцию обеспечения управления беспилотными авиационными системами на основе контроля телеметрической информации полета БВС. РЭС БАС, как объект радиоконтроля, включают в свой состав два элемента: РЭС на БВС и РЭС на наземном пульте управления (ПУ).

РЭС, размещенные на БВС, являются подвижными объектами радиоконтроля, меняющими свое местоположение в пространстве в течение полета.

РЭС, входящие в состав ПУ, относятся к квазистационарным объектам радиоконтроля (стационарным объектам на время полета БВС).

Учитывая свойства мобильности и квазистационарности элементов БАС можно предполагать, что РЭС ПУ и РЭС БВС будут оказывать различное влияние на локальную электромагнитную и радиоэлектронную обстановку.

### **Общие требования к оборудованию для радиоконтроля РЭС беспилотных авиационных систем**

Процедура организации и осуществления мероприятий радиоконтроля РЭС мобильного (БВС) и квазистационарного (ПУ) элементов БАС имеет свои особенности (различия), что в свою очередь определяет требования к радиоконтрольному оборудованию (РКО). При этом можно определить общие требования к РКО для контроля излучений РЭС БАС и частные требования к РКО для контроля РЭС каждого из элементов БАС [6].

К общим требованиям для радиоконтрольного оборудования системы радиомониторинга РЭС квазистационарного и подвижного элементов БАС в процессе радиомониторинга РКО следует отнести:

---

<sup>1</sup> Федеральный закон от 7 июля 2003 года N 126-ФЗ «О связи» (с изм. и доп.).

- охват мониторингом всего радиочастотного диапазона, используемого элементами БАС;
- высокая чувствительность РКО в сочетании с широким динамическим диапазоном, позволяющая обнаруживать низкоуровневые излучения РЭС элементов БАС на максимально возможном удалении;
- идентификация элементов БАС (ПУ или БВС) по результатам анализа параметров излучений РЭС, а также декодирования служебной информации (MAC адреса), транслируемой в канале телеуправления (передачи данных телеметрии на ПУ);
- определение местоположения (методом радиопеленгования или координатометрии) или направления на источник радиоизлучения элементов БАС.

Частные требования к РКО для мониторинга элементов БАС определяются спецификой излучений их РЭС.

Для РЭС ПУ, использующих режим ППРЧ:

- наличие полосы одновременного анализа до 200 МГц. Очевидно, что чем шире полоса одновременного анализа, тем выше вероятность обнаружения сигнала ППРЧ. Минимально достаточное значение, обеспечивающее обнаружение каналов телеуправления, функционирующих в режиме ППРЧ большинства ПУ БАС гражданского назначения, составляет 80 МГц;
- быстроедействие системы обработки сигнала, позволяющее гарантированно отображать импульсы ППРЧ длительностью до 500 мкс в полосе анализа (при минимальной однократной длительности излучения на частоте одного скачка 500 мкс для его уверенного отображения в режиме «водопада», желательно, чтобы анализатор спектра обладал режимом реального времени с *ROI*, не превышающим 10 мкс);
- отображение спектрограммы в режиме растровой развертки или т.н. «водопада» (в осях частота-время);
- наличие «дифференциального» режима, аналогичного используемому в компактном мониторинговом приемнике реального времени *R&S®PR100*.

При активации дифференциального режима отображаются только отличающиеся от сохраненного спектра сигналы, что позволяет легко отсеleccionировать сигналы постоянных источников излучения, не занимая экран анализатора посторонними излучениями.

Для обнаружения излучения РЭС БВС, передающих сигнал в режиме потокового видео, РКО должно обеспечивать радиоконтроль полос радиочастот 2400-2483,5 МГц, 5725-5825 МГц или 5850-6425 МГц с полосой одновременного анализа не менее 20 МГц.

Таким образом, сопоставляя требования к РКО для обнаружения передатчиков ПУ и БВС, можно сделать вывод, что к оборудованию для обнаружения наземных ПУ предъявляются более жесткие требования по охвату частотного диапазона, полосе анализа, быстрдействию, и чувствительности, а к РКО для обнаружения БВС предъявляются более жесткие требования по динамическому диапазону.

### **Необходимость осуществления радиоконтроля РЭС элементов БАС**

Использование БАС гражданского назначения осуществляется после получения необходимых разрешений. С марта 2024 г. вступает в силу

уведомительный порядок применения БАС в сельском хозяйстве. При применении как разрешительного, так и уведомительного порядков у государственных служб, контролирующих полеты авиации, будет иметься предварительная информация о планируемых полетах гражданских БВС, содержащая данные о районе, высоте, принадлежности БВС к той или иной организации и о содержании выполняемых задач.

При наличии такой предварительной информации радиомониторинг сигналов РЭС БАС гражданского назначения, используемых легитимно, осуществляется с целью подтверждения факта использования БАС и контроля параметров излучений РЭС, указанных в разрешительных документах [7].

Обнаружение в процессе радиомониторинга излучения РЭС ПУ при отсутствии сигналов РЭС БВС будет являться признаком подготовки к началу использования БВС, т.к. ПУ включается еще до того, как будет осуществлен запуск БВС (взлет, набор высоты и выполнение полетного задания БВС).

С учетом возможности использования для управления БВС различных полос радиочастот, средства радиомониторинга должны обеспечивать охват всего частотного диапазона, который используется для радиоканалов телеуправления полетом БВС и полезной нагрузкой (от 20 МГц до 6,5 ГГц). Однако, для сокращения времени обнаружения сигналов РЭС ПУ, целесообразно осуществлять радиомониторинг в разрешенных для использования РЭС БАС полосах радиочастот.

На текущий момент для РЭС БАС гражданского назначения в РФ возможно получение РИЧ в следующих полос радиочастот<sup>2</sup>:

- 117,975-137 МГц;
- 5030-5091 МГц;
- 5850-6425 МГц.

Кроме того, помимо этих полос радиочастот, ранее в рамках рабочей группы, утвержденной Решением ГКРЧ от 23.12.2022 г. № 22-65-03<sup>3</sup> для подготовки предложений по выделению полос радиочастот РЭС для организации радиосвязи БВС и условиям их использования, рассматривалась возможность вынесения на заседание ГКРЧ вопроса о выделении 15 полос радиочастот для БАС в РФ, рассматривались также полосы:

- для организации каналов управления и телеметрии 390-399,9 МГц; 860-876 МГц; 902-915 МГц; 921-925 МГц;
- для организации каналов, обеспечивающих использование полезной нагрузки в БАС 1427-1535 МГц; 2214-2226 МГц; 2328-2340 МГц; 2400- 2500 МГц и 2580-2592 МГц;
- использование БАС полос радиочастот 1710-1785 МГц и 1805-1880 МГц РЭС, установленными на БАС в рамках действующих решений ГКРЧ об использовании полос радиочастот для применения РЭС стандарта *LTE* и действующих РИЧ для РЭС стандарта *LTE*;

---

<sup>2</sup> Решение ГКРЧ от 24 апреля 2023 г. № 23-66-01 «Об использовании полос радиочастот радиоэлектронными средствами для организации связи в беспилотных авиационных системах гражданского назначения». Источник: [digital.gov.ru/ru/documents/8969/](https://digital.gov.ru/ru/documents/8969/).

<sup>3</sup> Решение ГКРЧ от 23 декабря 2022 г. № 22-65-03 «Об использовании полос радиочастот радиоэлектронными средствами для организации связи в беспилотных авиационных системах». Источник: [digital.gov.ru/ru/documents/8628/](https://digital.gov.ru/ru/documents/8628/).

- для проведения исследований о возможности использования полосы радиочастот 960-1200 МГц для организации командной линии БАС и полосы радиочастот 5-5,2 ГГц для организации канала полезной нагрузки в БАС.

В связи с этим следует ожидать выделение и других полос радиочастот, которые в настоящее время не предназначены для использования БАС на территории РФ. На текущий момент эти полосы для использования гражданским БАС не распределены, однако вопрос о выделении дополнительных полос радиочастот находится в проработке.

Помимо этих полос, радиомониторинг БАС целесообразно осуществлять и в полосах радиочастот, распределенных устройствам малого радиуса действия в соответствии с Решением ГКРЧ от 07.05.2007 № 07-20-03-001<sup>4</sup>, и неспециализированным (любого назначения) устройствам в соответствии с Решением ГКРЧ от 11.09.2018 года №18-46-03-1<sup>5</sup> в том числе:

- 26,957-27,283 МГц (на фиксированных частотах 26,995 МГц; 27,045 МГц; 27,095 МГц; 27,145 МГц; 27,195 МГц);
- 28,0-28,2 МГц;
- 40,66-40,7 МГц;
- 433,075-434,79 МГц;
- 864,0-865,0 МГц;
- 866,0-868,0 МГц;
- 868,7-869,2;
- 2400,0-2483,5 МГц;
- 5150-5250 МГц.

Обзор этих полос повышает вероятность обнаружения РЭС БАС, действующих без оформления необходимых разрешительных документов.

### **Определение местоположения элементов БАС**

Определение местоположения РЭС стационарного и мобильного (БВС) элементов БАС обладает рядом особенностей, определяемых параметрами электромагнитных излучений передатчиков и подвижностью (квазистационарностью) элементов БАС в пространстве.

#### *Определение местоположения ПУ*

ПУ – квазистационарный элемент БАС – (стационарный, по крайней мере, на период времени одного полета БВС).

Для определения местоположения стационарного (квазистационарного) РЭС может быть использован как триангуляционный, так и разностно-дальномерный способ [8].

Местоположение РЭС при реализации триангуляционного способа местоопределения может быть получено при пересечении минимум двух линий положения (пеленгов). В классической системе для получения двух линий положения (пеленгов) необходимо наличие двух разнесенных в пространстве

<sup>4</sup> Решение ГКРЧ от 07 мая 2007 года № 07-20-03-001 «О выделении полос радиочастот устройствам малого радиуса действия» (в ред. от 23.12.2022). Источник: docs.cntd.ru/ documents/902048009.

<sup>5</sup> Решение ГКРЧ от 11.09.2018 года № 18-46-03-1 «О выделении полос радиочастот, внесение изменений в решения ГКРЧ и продлении срока действия решений ГКРЧ».

радиопеленгаторов (РП), разнесенных друг от друга на необходимое расстояние. Расстояния от одного РП до другого (гониобаза) и координаты размещения РП должны выбираться таким образом, чтобы обеспечивать требуемый размер зоны радиопеленгования, в пределах которой угол засечки радиопеленгов должен находиться в интервале от 30 до 150 градусов.

С учетом свойства квазистационарности ПУ БВС и времени продолжительности полета БВС, для определения местоположения РЭС ПУ может быть использован один радиопеленгатор, размещенный на МКРК. МКРК производит пеленгование источника из разных точек по маршруту объезда района предполагаемого местонахождения РЭС ПУ с учетом транспортной доступности. Местоположение РЭС ПУ определяется по совокупности обработки разновременных отсчетов радиопеленгов [9].

Оптимальный вариант состава радиопеленгаторной сети по критерию «стоимость-эффективность» для триангуляционной системы местоопределения может быть обеспечен при совместном использовании в составе радиопеленгаторной сети стационарных и мобильных (на базе МКРК) средств радиопеленгования. Такое решение может обеспечить наилучшую топологию радиопеленгаторной сети, адаптированную к конкретным условиям за счет мобильного элемента. Кроме того, применение МКРК обеспечивает получение информации об изменении уровня сигнала РЭС ПУ при объезде предполагаемого района применения БАС. Информация о направлении (секторе) на источник излучения (РЭС ПУ) может быть получена по направлению вектора возрастания уровня сигнала и использована в качестве дополнительного параметра при определении местоположения РЭС ПУ БАС.

Основной особенностью системы радиопеленгования излучений РЭС ПУ в режиме ППРЧ является применение в радиопеленгаторе алгоритма с быстродействием, позволяющем определить направление (пеленг) на ПУ либо за время излучения одного импульса, либо в режиме многократного накопления результатов записи полосы радиочастот и дальнейшей постобработки фрагмента зарегистрированной записи. Последний вариант более приемлем, т.к. будет обладать более высокой точностью, а с учетом квазистационарности ПУ и возможности перемещения мобильного радиопеленгатора позволит обеспечить определение местоположения ПУ БАС с более высокой точностью. Конкретные значения среднеквадратической погрешности полученного местоположения ПУ можно априорно рассчитать (оценить), исходя из предполагаемого взаимного размещения элементов системы пеленгования и ПУ БАС.

При определении топологии радиопеленгаторной сети (точек размещения элементов системы пеленгования или местоопределения на местности) необходимо учитывать, что максимальная дальность определения местоположения для комбинированной (стационарной и мобильной) системы в реальных условиях не будет превышать дальность радиогоризонта для наименее высоко расположенной радиопеленгаторной антенны.

#### *Определение местоположения БВС*

БВС – мобильный элемент БАС (существующие БВС гражданского назначения могут развивать скорость до 100 км/час и более).

Для определения местоположения БВС может быть применен как способ радиопеленгования, так и гиперболический (разностно-дальномерный) способ координатометрии [10-13]. В зарубежной технической литературе этот способ носит название – *TDoA (Time Difference of Arrival)*. Определение местоположения

РЭС способом *TDoA* осуществляется на основе измерения времени прихода сигнала в несколько (в реальных системах – не менее 5) приемных пунктов, в которых размещены приемные сенсоры системы обнаружения, и времени прихода сигнала в опорный (основной) пункт сети. Линией положения на плоскости, т.е. геометрическим местом точек, соответствующих определенной разности времени прихода сигнала в точку размещения одного из приемных сенсоров и приемного сенсора, размещенного в базовой (опорной) точке для этого способа, является гипербола. Охват территории осуществляется размещением приемных сенсоров в стационарных точках в пределах контролируемого географического района. Точность определения местоположения зависит от точности измерения разности времени прихода радиоволны к сенсору опорного пункта и к сенсорам других приемных пунктов.

Основные требования к системе, использующей способ *TDoA*:

- все сенсоры должны работать синхронно (в сети должен использоваться один высокостабильный источник сигналов синхронизации, стабильность источника синхронизации определяет точность местоположения источника излучения);
- система осуществляет одновременный для всех приемных сенсоров (синхронный) обзор (свиппирование) выбранных для контроля полос радиочастот;
- все *I/Q*-данные, полученные в результате обзора полос частот, хранятся в памяти сенсора;
- обнаружение и идентификация сигналов РЭС БАС осуществляется автоматически по признакам, хранящимся в БД;
- *I/Q*-отсчеты, содержащие информацию по обнаруженному и идентифицированному сигналу РЭС БАС, по запросу направляются от всех приемных сенсоров в центральный процессор для расчета местоположения источника радиоизлучения.

Определение местоположения источников радиоизлучений может быть также выполнено и с помощью алгоритмов [14-15].

Варианты комплектов оборудования для реализации разностно-дальномерного способа местоопределения предлагают как отечественные, так и зарубежные фирмы-производители радиоэлектронной аппаратуры (РЭА).

Фирма *KEYSIGHT technologies* для реализации разностно-дальномерного способа в области радиомониторинга радиочастотного спектра в диапазоне 20,0 МГц-6,0 ГГц и анализа результатов предлагает сенсоры *N6841A* (с полосой анализа 20 МГц и временем записи (захвата) *I/Q* сигнала в память сенсора – 4,8 сек), широкополосные антенны с круговой диаграммой направленности и программное обеспечение собственной разработки.

Это решение тестировалось в Малайзии в 2016 г. Система местоопределения источника излучения (РЭС БВС) была развернута на территории университета и включала в свой состав четыре приемных сенсора, разнесенных на 900 метров друг от друга в направлении Восток-Запад и на 700 метров в направлении Север-Юг. В ходе эксперимента была достигнута минимальная среднеквадратическая погрешность местоположения БВС 13 метров, а максимальная – 54-57 метров. Синхронизация приемных сенсоров по времени осуществлялась по сигналам от встроенных *GPS* приемников.



## Измерение параметров излучений РЭС элементов БАС

В процессе осуществления мероприятий радиоконтроля РЭС БАС возникают вопросы:

- какие параметры РЭС элементов БАС необходимо измерять?
- каким оборудованием измерять?
- какими методиками измерений пользоваться?
- что делать с полученными результатами измерений параметров РЭС?

К классическим параметрам излучения любого РЭС, подлежащим измерениям в процессе осуществления мероприятий радиоконтроля, относятся допустимое отклонение частоты и контрольная ширина полосы частот. Измерение энергетических параметров (мощность передатчика) в процессе радиоконтроля производится только по тракту с подключением измерительного оборудования к соответствующим разъемам РЭС.

Следует также отметить специфику измерений параметров излучений РЭС «по полю» при радиоконтроле [16-17].

При использовании на ПУ в канале управления РЭС режима ППРЧ целесообразно использовать понятие центральной частоты полосы излучения РЭС ПУ, определяемой как  $(f_{\max}-f_{\min})/2$ , где  $f_{\max}$  – максимальная частота, а  $f_{\min}$  – минимальная частота настройки импульса сигнала ППРЧ.

При измерении частотных параметров РЭС БВС также целесообразно использование понятия центральной частоты полосы излучения РЭС с учетом того, что ширина полосы частот канала трансляции потокового видео составляет порядка 20 МГц. При этом необходимо учитывать скорость и направление перемещения носителя (эффект Доплера).

Оборудование для измерения параметров излучений должно обеспечивать:

- полосу обзора частотного диапазона, от 20 МГц до 6,5 ГГц.
- полосы одновременного анализа в режиме реального времени, до 100 МГц.
- быстроедействие, позволяющее отображать импульсы ППРЧ длительностью до 500 мкс (для полосы анализа 80 МГц  $ROI$  не хуже 125 мкс, а для полосы анализа 200 МГц – не хуже 10 мкс);
- отображение спектрограммы в режиме растровой развертки, т.н. «водопада».

Наибольшую сложность при радиоконтроле вызывает оценка параметров излучений РЭС в режиме ППРЧ. В настоящее время методики измерений частотных параметров РЭС в режиме ППРЧ для радиочастотной службы не разработаны.

По информации, предоставленной разработчиками РКО, этим требованиям могут удовлетворять анализаторы спектра реального времени и панорамные приемники.

На сегодняшний день отечественные анализаторы спектра реального времени предлагаются несколькими компаниями, в том числе *INWAVE* и Компанией АнтЭМС Групп, специализирующимися на изготовлении и поставке комплексов для испытаний технических средств различного назначения на электромагнитную совместимость (ЭМС) и контрольно-измерительного оборудования.

На данный момент из открытых источников известно, что Компания АнтЭМС Групп выпускает анализаторы спектра реального времени двух типов – *USB* Серии *АСРВ-XX* с диапазоном частот от 9 кГц (фактически работают от 1 Гц

с ненормированными характеристиками) до 4/6/8/9/20/22/40 ГГц и сетевые анализаторы серии АСПВ-ХХс с диапазоном частот от 9 кГц (фактически – от 1 Гц с ненормированными характеристиками) до 4/6/8/9/20/22/40 ГГц.

### **Размещение оборудования радиомониторинга**

Вопрос о размещении оборудования (средств) радиомониторинга и радиопеленгования РЭС элементов БАС играет существенную роль с точки зрения обеспечения требуемой вероятности обнаружения их излучений. В связи с тем, что использование БАС гражданского назначения может осуществляться как над территориями населенных пунктов, так и вне населенных пунктов, для размещения средств радиомониторинга РЭС БАС целесообразно использовать как стационарные средства, т.е. средства, размещенные на радиоконтрольных пунктах (РКП), включая необслуживаемые, так и средства радиоконтроля на мобильных комплексах радиоконтроля. Размещение средств радиомониторинга на РКП обеспечивает установку мониторинговых антенн на крыше зданий, т.е. на максимально возможной высоте, что определяется выбором наиболее высоких зданий (строений) для этих целей.

Для мобильного РКО максимальная высота размещения мониторинговых антенн может быть обеспечена установкой их на выдвинутой 10-ти метровой мачте, входящей в состав штатного оборудования МКРК.

Размещение мониторинговых антенн на максимально возможной высоте способствует обеспечению максимальной дальности обнаружения излучений РЭС элементов БАС.

### **Заключение**

Рост числа БАС гражданского назначения и их применения в гражданской сфере придает особую значимость вопросам радиоконтроля излучений РЭС элементов беспилотных авиационных систем гражданского назначения.

Отечественная и зарубежная радиопромышленность выпускает различные системы радиомониторинга БАС, отличающиеся способами контроля, составом сенсоров, метрологическими характеристиками. Каждый из перечисленных способов имеет свои достоинства и недостатки, определяемые количеством и стоимостью радиоконтрольного оборудования.

Выбор той или иной системы для радиоконтроля РЭС элементов БАС должен определяться конкретными задачами и требованиями действующих нормативных документов к результатам радиоконтроля БАС.

Одной из ближайших задач для радиочастотной службы является разработка методических документов (методик измерений при радиоконтроле) для осуществления мероприятий по контролю излучений РЭС элементов БАС гражданского назначения на предмет обеспечения их легитимного использования и соблюдения требований по электромагнитной совместимости с другими РЭС, действующими на законных основаниях на территории Российской Федерации.

*Исследование выполнено в рамках прикладных научных исследований по государственному заданию СПбГУТ на 2023 г., регистрационный номер 123060900012-6 в ЕГИСУ НИОКТР.*

### **Литература**

1. Растопчин В.В. Напасть XXI века: стороны одной «медали» // Авиапанорама, 2018. – № 4. – С. 12-17.

2. Моисеев В.С. Беспилотные летательные аппараты: Отечественная история создания и современная классификация. Препринт. – Казань: Редакционно-издательский центр «Школа», 2022. – 40 с. (Серия «Современная беспилотная вертолетная техника»).
3. Боев Н.М., Шаршавин П.В., Нигруца И.В. Построение систем связи беспилотных летательных аппаратов для передачи информации на большие расстояния // Таганрог: Известия ЮФУ. Технические науки, 2015. – С. 147-158.
4. Применение коммерческих дронов для выполнения задач МСЭ-R по контролю за использованием спектра. Серия SM. Управление использованием спектра // Отчет МСЭ-R SM.2486-0 (06/2021). [Электронный ресурс]. 20.09.2023. – URL: [https://www.itu.int/dms\\_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-SM.2486-2021-PDF-R.pdf](https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-SM.2486-2021-PDF-R.pdf) (дата обращения - 10.10.2023).
5. Беспилотные летающие аппараты. Справочное пособие. Воронеж: Издательско-полиграфический центр «Научная книга», 2015. – 616 с.
6. Антипин Б.М., Виноградов Е.М. Анализ требований к оборудованию радиоконтроля при мониторинге радиочастотного спектра для оценки электромагнитной совместимости // В сборнике: Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. Сборник научных статей V международной научно-технической и научно-методической конференции, 2016. – С. 95-100.
7. Antipin B.M., Vinogradov E.M., Grossman A.O., Tumanova E.I. The Spectrum Monitoring Station Operation Analysis to Eliminate Interference from Radio Communications // В сборнике: Proceeding s of the 2019 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus), 2019. – С. 15-18.
8. Логинов Ю.И., Екимов О.Б., Антипин Б.М., Гриценко А.А., Павлов В.Н., Портнаго Л.Б. Дальномерно-разностно-дальномерный способ определения координат местоположения источников радиоизлучений и реализующее его устройство. Патент на изобретение № 2510038. Заявка № 2011134103. Приоритет изобретения 12 августа 2011.
9. Логинов Ю.И., Екимов О.Б., Антипин Б.М., Гриценко А.А., Портнаго Л.Б. Мультипликативный разностно-относительный способ стационарно-мобильного определения координат местоположения источника радиоизлучения. Патент на изобретение RUS 2558638 20.08.2013.
10. Логинов Ю.И., Екимов О.Б., Антипин Б.М., Гриценко А.А., Портнаго Л.Б. Разностно-энергетический способ определения координат местоположения источников радиоизлучений Патент на изобретение № 2505835. Заявка №2012115382. Приоритет изобретения 17 апреля 2012.
11. Логинов Ю.И., Екимов О.Б., Антипин Б.М., Портнаго Л.Б. Мультипликативный разностно-относительный способ определения координат местоположения источника импульсного радиоизлучения. Патент на изобретение RUS 2558640 20.08.2013.
12. Логинов Ю.И., Екимов О.Б., Антипин Б.М., Гриценко А.А., Павлов В.Н., Стенюков Н.С. Дихотомический мультипликативный разностно-относительный способ определения координат местоположения источника импульсного радиоизлучения. Патент на изобретение RUS 2562613 20.08.2013.
13. Логинов Ю.И., Портнаго Л.Б., Антипин Б.М. Однопозиционный энергетический дальномерно-угломерный способ определения координат местоположения источников радиоизлучения. Патент на изобретение RUS 2653506. Заявка: 2017110446 от 28.03.2017.

14. Spirin A.D., Antipin B.M. Non-conventional algorithm of radio transmission sources position location // В сборнике: Proceeding s of the 2017 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus), 2017. – С. 565-568.
15. Александров И.В., Антипин Б.М., Спириин А.Д. Определение местоположения источников радиоизлучений в условиях сложного окружения // В сборнике: Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2017) VI Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сборник научных статей: в 4 т, 2017. – С. 31-35.
16. Антипин Б.М., Виноградов Е.М., Грачев В.О. Оценка параметров излучений передатчиков при радиоконтроле с помощью асимптотических алгоритмов 74-я Всероссийская НТК, посвященная дню радио, 22-26 апреля 2019. Сборник докладов, СПб, 2019. – С. 220-221.
17. Антипин Б.М., Грачев В.О., Мартиросова Н.Р. Планирование мероприятий радиоконтроля на основе риск-ориентированного подхода // В сборнике: Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2018) VII Международная научно-техническая и научно-методическая конференция. Сб. науч. ст. в 4 т. Под. ред. С.В. Бачевского; сост. А.Г. Владыко, Е.А. Аникевич. СПб.: СПбГУТ, 2018. – Т. 3. – С. 24-27.

## ПОВЫШЕНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ МОБИЛЬНОЙ ЦИФРОВОЙ СВЯЗИ В СЕТЯХ ПЯТОГО И ШЕСТОГО ПОКОЛЕНИЯ

*А.В. Семашко, д.т.н., профессор, Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, semashko@nntu.ru;*  
*А.Д. Абакшин, Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, abakshin.t@mail.ru.*

### УДК 621.391.82

**Аннотация.** Связь – это основа современной цивилизации и обосновывать важность надежной передачи информации не имеет смысла. Одна из основных проблем последней – помехи в канале связи. Она решается помехоустойчивым кодированием. В данной работе будет рассмотрен вопрос о целесообразности использования нейронных сетей в помехоустойчивом кодировании, как лучше это делать и какие есть альтернативы.

**Ключевые слова:** 5G; 6G; помехоустойчивое кодирование; нейронные сети; мягкое декодирование.

## INCREASING RELIABILITY OF MOBILE DIGITAL COMMUNICATION IN FIFTH AND SIXTH GENERATION NETWORKS

*A.V. Semashko, doctor of technical sciences, professor, Nizhny Novgorod State Technical University R.E. Alekseeva;*  
*A.D. Abakshin, Nizhny Novgorod State Technical University R.E. Alekseeva.*

**Annotation.** It makes no sense to justify the importance of reliable information transfer. Communication is the basis of modern civilization. One of the main problems of the latter is interference in the communication channel. It is solved by noise-resistant

coding. This paper will consider the feasibility of using neural networks in error-correcting coding, how best to do this and what alternatives there are.

**Keywords:** 5G; 6G; noise-resistant coding; neural networks; soft decoding.

---

### **Введение**

Развитие высокоскоростной мобильной связи стало закономерным итогом совершенствования технологий передачи и обработки данных. Инженерная мысль дошла до такого уровня, когда привычных и проверенных методов организации архитектуры сети становится недостаточно для удовлетворения потребностей потребителя. С сетями пятого поколения мобильной связи это не выражается столь явно. Большинство пользователей обратили свое внимание исключительно на рост скорости передачи информации, не придав значения тому, что основное внимание при разработке 5G было уделено связи «машина-машина» [1]. Следующее, шестое поколение сетей связи должно еще больше расширить эту и иные связи. По плану разработчиков *Hexa-X* с приходом 6G «человек-машинное» взаимодействие должно выйти на совершенно новый уровень [2]. Все это так или иначе приведет к повышению объемов передающейся по каналам связи информации, увеличению масштабов использования радиосвязи, а следовательно, и зашумлению каналов передачи данных. Один из методов борьбы с помехами – помехоустойчивое кодирование [3].

Коды защиты от помех широко известны. Они применяются достаточно долгий период времени, получили высокое распространение и отличаются своим разнообразием. На сегодняшний день нам достоверно известны коды, используемые в сетях 5G: *Turbo*-коды, полярные и *LDPC* [4]. Для сетей 6G ситуация сильно отличается – в заинтересованных в проекте государствах Европы и Азии еще только ведутся активные разработки технологий и стандартов будущего поколения сетевых технологий [2].

Исходя из вышесказанного особый интерес вызывают методы мягкого декодирования и нейросетевой оптимизации процедур мягкого декодирования помехоустойчивых кодов. В общем случае мягкое решение более трудоемко, чем декодирование с жестким решением, что окупается повышением эффективности системы кодирования [3]. Декодирование сообщений посредством нейросети также требует вычислений высокой сложности. Однако, учитывая прогресс вычислительной техники и прогнозы на увеличение мощности вычислительных устройств к моменту выхода сетей 6G вероятность использования этого метода весьма высока. Следовательно, более детальное исследование корректирующих возможностей кодов с мягким решением и нейросетевым методом декодирования становится насущной необходимостью для ведения дальнейших разработок.

### **Требования к системам мобильной связи**

Первоначально следует определить для каких задач будут использоваться следующие поколения мобильной связи. В то время, как 5G еще только разворачивается, а общество начинает «вкушать плоды» постепенного внедрения новых технологий, специалисты ведут разработку следующего поколения – 6G. Статей и концепций о требованиях и возможностях будущего поколения мобильной связи достаточно много, однако единый стандарт сети еще не разработан. Из представленных в свободном доступе материалов можно сделать вывод, что разработчики сходятся во мнении о том, что: 1) 6G должна стать более удобной в эксплуатации, более управляемой и автоматизированной; 2) для 6G

должны быть разработаны новые протоколы маршрутизации; 3) новая сеть должна быть надежной и рентабельной [2].

Специалисты сходятся во мнении, что речь пойдет о взаимодействии роботизированных систем. В современной литературе можно часто встретить такое понятие как «кобот»-коллаборативный робот – робот, предназначенный для взаимодействия с человеком. 5G установило направление развития мобильной связи на увеличение взаимодействия типа «машина-машина» и сегодняшние технологические достижения подводят нас к тому, что в дальнейшем этот курс не только сохранится, но и будет расширяться [2].

Описанные ранее решения приводят к выводу о применении более высоких частот передачи данных, что было реализовано в 5G и дало возможность увеличить скорость передачи данных в 30 раз. Однако, увеличение скорости без, как минимум, сохранения достигнутого уровня помехоустойчивости информации в каналах связи не имеет смысла. В данной работе речь пойдет только об одном из методов защиты передаваемых данных – помехоустойчивом кодировании.

Логично, что кратное увеличение количества передаваемой информации в единицу времени ведет к повышению сложности ее кодирования и декодирования, а параллельное увеличение числа источников и приемников, работающих в одном диапазоне волн – к увеличению зашумленности канала, что становится следствием возрастания числа ошибок в передаваемом сообщении. 5G решает проблему кодирования и декодирования за счет LDPC кодов и кодов на основе поляризации канала (рис. 1).

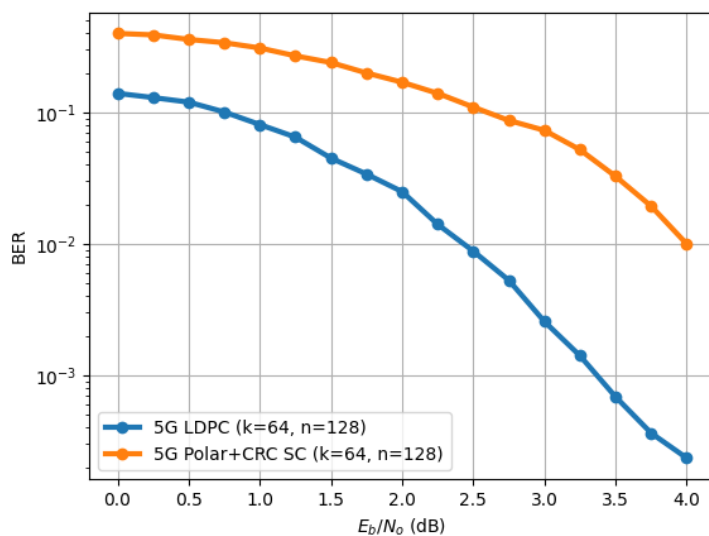


Рисунок 1

Поляризационные и LDPC-коды справляются со своей задачей, обеспечивая помехоустойчивость, модель работы алгоритмов кодирования представлена на (рис. 1). Однако, не известно насколько они будут эффективны в сетях шестого поколения. Разработка новых методов защиты от помех будет разумным решением проблемы.

### Мягкое декодирование

Коды защиты от помех разделяют на жесткие и мягкие в зависимости от метода решения. Различия заключаются в подходе к расчету вероятности существования ошибки. И те и другие коды известны достаточно давно, однако

мягкие методы ранее не получали широкого распространения в связи с более высокой вычислительной сложностью [5].

Причин повышения сложности две. Первая заключается в выполнении операций с действительными числами. Вторая заключается в необходимости расчета апостериорных статистик для кодовых слов. Как можно увидеть из [3] для двоичных сигналов в гауссовом канале при кодах с мягким решением можно добиться той же эффективности, что и при кодах с жестким решением, только на 2-3 дБ меньше. То есть, система с мягким декодированием может снизить свою мощность на 50-63% относительно системы с жестким решением [6].

Сегодня методы с мягким решением широко используются в 5G, в частности для декодирования LDPC кодов. Известны следующие методы декодирования: декодирование на основе критерия максимума апостериорной вероятности (*Maximum A-Posteriori* – MAP) [7], обеспечивающего минимум вероятности ошибочного декодирования каждого бита и способного формировать мягкие решения для декодируемых битов; инверсии битов (*BitFlipping* алгоритм) [7], в чьей основе лежит инверсия значения бита, соответствующего наибольшему количеству неудачной проверки; алгоритмы *BeliefPropagation* (IBP) или *MessagePassing*, заключающиеся в передаче информации между переменными узлами и узлами четности в графе Тэннера; алгоритм *SumProduct* и его более новая версия на основе логарифмического отношения правдоподобия [7]. Данные коды хорошо известны и не нуждаются в повторном исследовании. Известно, что IBP-декодер превосходит по корректирующей способности аналоги, однако обладает наибольшей сложностью среди них [7]. Выигрыш по вероятности ошибки декодирования зависит от вида канала и количества итераций и может составлять несколько децибел.

### **Нейросетевое декодирование**

Последнее время в системах связи стало модно применять сверточные коды, вместе с тем блочные коды обладают рядом преимуществ, в частности, разработка кодов с заданными характеристиками. Мягкие методы декодирования дают возможность повысить помехоустойчивость на 3 дБ в отношении сигнал/ шум применительно к своим аналогам с жестким решением. Исследования в этой области проводились А.И. Туркиным, Л.Ф. Бородиным, Р. Блейхутом [8], однако современные исследования в области искусственного интеллекта дают возможность надеяться, что эти методы позволят существенно облегчить процедуру декодирования.

Во время декодирования нейронная сеть не вычисляет исходное сообщение, а «распознает» его. Похожим образом человек путем тренировки обучает свой разум находить и исправлять ошибки в словах, ориентируясь на изученные ранее паттерны. Нейронные сети дали возможность обучить машину запоминать нужный словарь и распознавать в полученном сообщении исходное. В случае обнаружения ошибки нейронная сеть исправит ее, для этого необходима избыточность, именно на нее ориентируется нейросеть [9].

Отрицательной стороной использования нейронных сетей является изначальное незнание разработчика – какой сложности (размерности) ему потребуется система. Она может оказаться чрезмерно высокой и потребует организации сложной сетевой архитектуры. Из работы [10] известно, что простейшие однослойные нейронные сети способны решать только линейно разделимые задачи. Проблема решается переходом на многослойные нейронные сети [11]. В этом случае вектор, соответствующий входному образцу,

преобразуется скрытым слоем в некоторое новое пространство, которое может иметь другую размерность, а затем гиперплоскости, соответствующие нейронам выходного слоя, разделяют его на классы. За счет этого происходит определение характеристик исходных данных и данных, созданных скрытым слоем. Последнее дает возможность определить корреляционные зависимости между информационными и избыточными символами. Так нейросеть декодирует исходное сообщение и распознает ошибки [12].

Алгоритм на описанной основе имеет еще одну отрицательную сторону, а именно способ представления выходных данных. Один из наиболее удобных вариантов – это представление результатов работы в виде вектора, чьи компоненты соответствуют различным номерам классов. При этом  $i$ -я компонента вектора соответствует  $j$ -му классу. Все остальные компоненты при этом устанавливаются в нуль. Однако, тогда число выходов будет соответствовать числу классов и тем самым сильно увеличит сложность сети.

Альтернативой является представление вектора номером кластера, представленного в двоичной форме, это приведет к созданию векторов из восьми элементов при ста двадцати восьми классах. Такой вариант проще в реализации, но корректирующая способность кода снизится.

В классификации большое значение имеют исходные данные. Если говорить о ранее упомянутых *LDPC*-кодах, то есть линейных блочных кодах, исходными данными будет являться кодовая последовательность передаваемого сообщения. Соответственно в декодер поступит именно ее искаженная помехами версия. На выходе будет получен указатель на номер класса с исходным, не искаженным сообщением или сама кодовая последовательность. Схему нейронной сети можно увидеть на рис. 2.

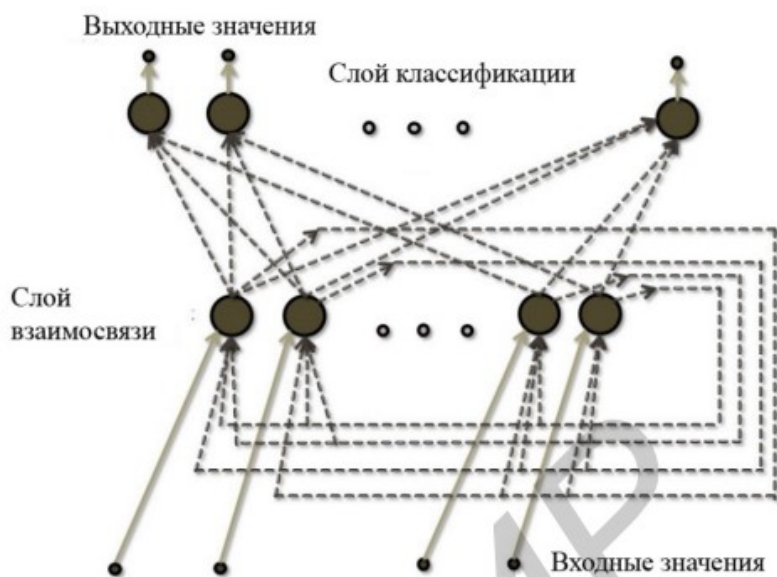


Рисунок 2

Существует альтернативный метод использования нейронных сетей, подразумевающий не декодирование сообщения нейросетью, а оптимизацию ею декодера. Например, декодера *min-sum*, использующего линейное приближение (*LAMS*) для *LDPC*-кодов с квазициклическими структурами (*QC-LDPC*). Сегодня *QC-LDPC* широко используется в стандартах систем цифрового вещания и в стандартах систем связи и телекоммуникации ((*IEEE 802.16e*, *IEEE 802.11n*, *IEEE*



802.15.3c). Линейное приближение основано на введение некоторых факторов в каждую итерацию декодирования, которые линейно корректируют проверочные узлы и входные данные канала. Эти факторы оптимизируются нейронной сетью от итерации к итерации, что выдвигает к ней определенные требования. Нейросеть должна быть не большой и не глубокой из-за лавинообразного возрастания вычислительной сложности системы [6]. Для представленного ранее примера, нейронная сеть, построенная в соответствии с матрицей проверки четности кода *QC-LDPC* со структурами контроля четности, будет значительно меньше аналогичной структуры без учета описанного. Оптимизация коэффициентов может быть проведена один и более раз. Количество итераций не ограничено. Задание полученных коэффициентов в модель *LAMS*-декодера для сетей пятого поколения (*5G*) показывает заметное улучшение корректирующей способности декодера относительно алгоритмов нормальной и минимальной суммы, а также лучшую производительность, чем у алгоритма распространения доверия в некоторых областях с высоким отношением сигнал/шум.

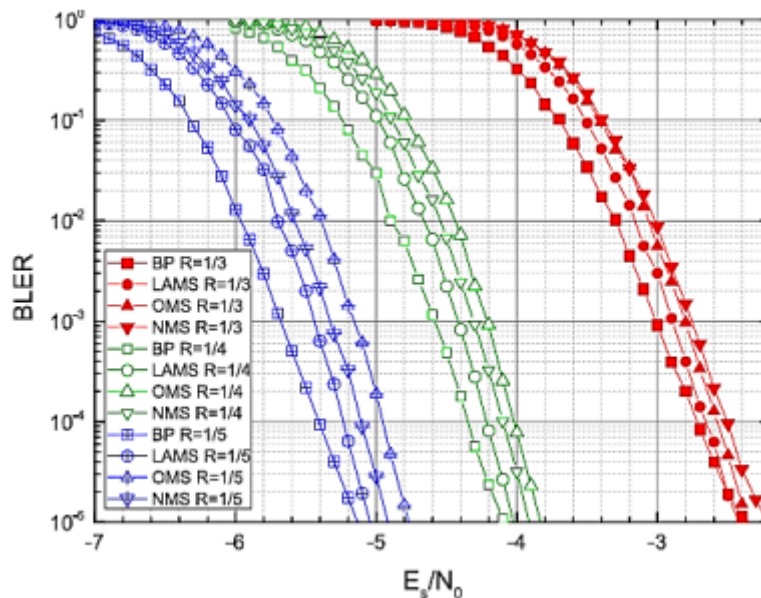


Рисунок 3

На рис. 3 раскрывается эффективность *BLER* кодов *5G* с длиной информации  $K=520$ , количеством итераций  $I=15$  и различными скоростями кодирования информации  $R=1/3, 1/4, 1/5$ . Как можно увидеть, *LAMS*-декодер, благодаря использованию нейронной сети обладает лучшей производительностью, чем коды нормальная минимальная сумма (*NMS*) и минимальная сумма со смещением (*OMS*). Причем эффективность приведенного в пример кода напрямую зависит от скорости кодирования. Чем она выше, тем более эффективен *LAMS*-декодер [13]. По мере увеличения *SNR* разрыв между *LAMS*-декодером и кодом на основе алгоритма распространения доверия (*BP*) становится меньше. Также стоит отметить большую устойчивость *LAMS* относительно *OMS*, позволяющую поддерживать высокую производительность при одинаковых коэффициентах для разных скоростей кодирования.

### Моделирование

Исходя из цели текущего исследования, определение корректирующих возможностей кодов с мягким решением, усовершенствованных посредством

нейронных сетей, а также методов декодирования на основе только нейронной сети следует провести построение группы моделей известных корректирующих кодов.

Первым рассмотрим нейронный декодер. Лучшим предметом для демонстрации работы подобных кодов является код Хэмминга  $(n, k)$ , из-за чего он используется в иных работах, связанных с данной темой [14]. В текущем случае, начало работы с моделированием выше названного линейного блочного кода обусловлено необходимостью изучения требований к вычислительным ресурсам, необходимым для достижения цели. Системы на основе нейронных сетей требовательны к возможностям вычислительных устройств на этапе своего построения и обучения, возможностью проведения сравнительного анализа результатов работы с трудами других авторов и значительным упрощением дальнейшей разработки модели на основе LDPC-кода. Входной слой, состоящий из  $n$  элементов, принимает кодовую последовательность. Скрытый слой, также состоящий из  $n$  элементов, рекуррентно связан с целью получения корреляции между символами переданного сообщения. В результате, мы получим из  $k$  символов  $k^2$  кодовых последовательностей (классов) для сети. То есть, в дальнейшем будет использоваться  $k$  или  $k^2$  элементов, в зависимости от применяемого метода кодирования классов. Обучение нейронной сети будет проходить методом градиентного спуска с минимизацией среднего количества неправильных классификаций. Схема сети приведена на рис. 2. Стоит заметить, что обучение не требуется проводить постоянно при работе декодера, а достаточно провести его перед началом работы для настройки сети.

Рассмотрим пример декодирования. После получения из канала с шумом сообщение 0010110 формирует входной вектор нейронной сети. Итогом работы нейронной сети после соответствующих вычислений будет выходной вектор значений: 1; 0,52; 1; 0,59; 1; 0,88; 0,62; 1; 0,86; 0,73; 1; 0,65; 1; 0,64; 0,59; 0,67. Минимальное значение, полученное во втором элементе вектора, означает, что переданная кодовая последовательность относится ко второму классу, который соответствует кодовой последовательности 0010110 (из таблицы соответствия класса кодовой последовательности). Если значения изначальной кодовой последовательности и последовательность, выбранная нейронной сетью, совпадают, то сеть правильно декодировала сообщение.

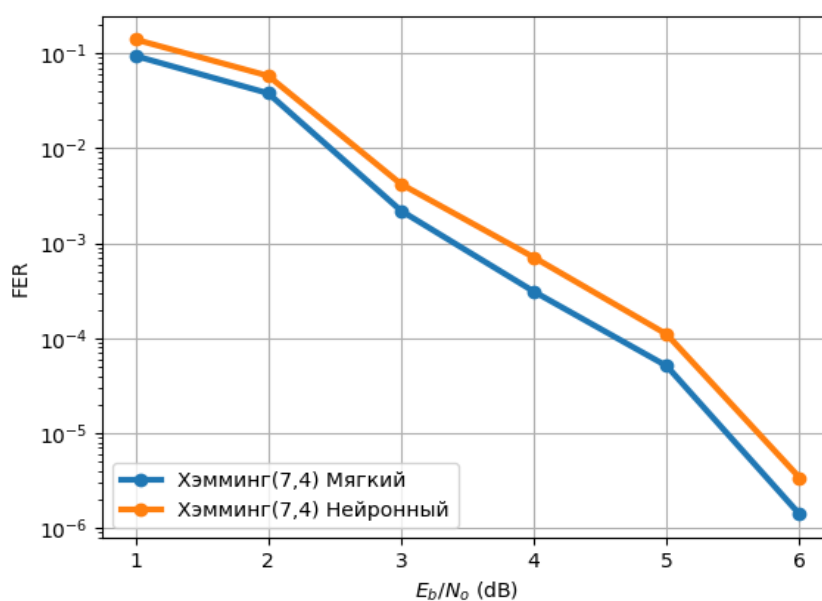


Рисунок 4

На рис. 4 представлено декодирование кода Хэмминга (7,4), где можно увидеть, что нейронный декодер незначительно уступает мягкому. Проблема решается с увеличением сложности нейронной сети. Это позволяет повысить корректирующую способность кода и на 0,5-1,5 дБ превзойти декодер с мягким решением по обеспечению помехоустойчивости. Недостатком такого решения будет возрастание вычислительной сложности алгоритма в  $2^m$  раз, где  $m$  – число итераций.

Также следует учитывать, что все правила кодирования – это сама нейронная сеть и ее весовые коэффициенты. Конкретное правило декодирования хранится во всей нейронной сети распределенным способом. Вероятность ошибки на бит сильно зависит от степени выходного узла, с корректным алгоритмом расчета которого можно ознакомиться в [15].

Перейдем ко второй части работы и проведем моделирование кода с мягким решением, усовершенствованным нейронной сетью. Воспользуемся теоретической информацией из раздела данной статьи «Мягкое декодирование» и используем группу кодов *min-sum*. Применение нейронных сетей позволяет добиться большей корректирующей способности для мягкого декодирования LDPC-кодов. Проведем моделирование алгоритма *neural min-sum normalize* и сравним его с мягкими методами декодирования.

Как видно из рис. 5 вероятность ошибки на бит для декодера с основой *N-NMS* алгоритма заметно ниже, чем в иных случаях. Показатели BER для NNMS алгоритма на 1,5-2 дБ лучше, чем у *NMS*.

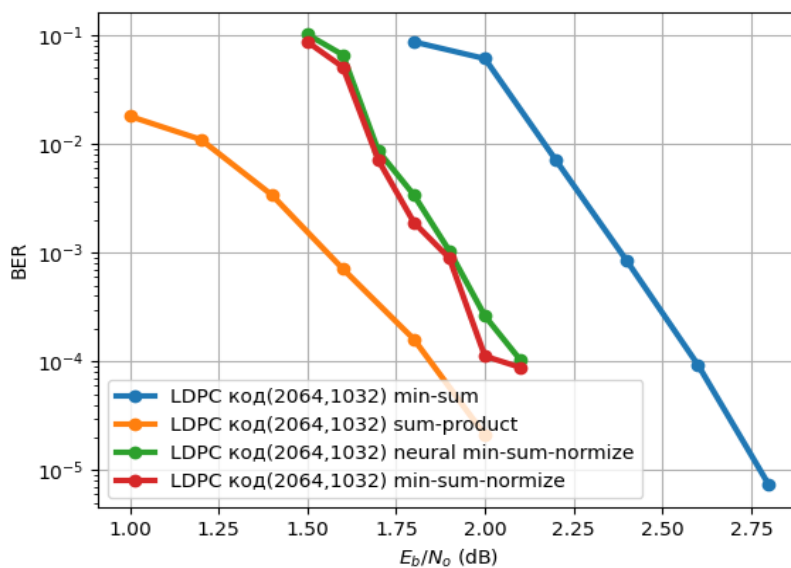


Рисунок 5

Исходя из результатов моделирования можно прийти к выводу, что декодирование за счет исключительно нейронной сети возможно и данный метод имеет перспективу для дальнейших исследований, однако даже на первый взгляд сложность сетей для передачи информации по транспортному каналу будет чрезвычайно велика. Разумнее для этих целей использовать алгоритм на основе мягкого декодирования, модифицированного посредством нейронной сети.

### Заключение

Нейронные сети позволяют разработать универсальный декодер линейных блочных кодов, а также оптимизировать существующие методы мягкого

декодирования. Провести сравнительный анализ вычислительной сложности подходов не представляется возможным в связи с высокой степенью вариативности нейронных сетей в каждом конкретном случае. Исходя из проведенных исследований можно однозначно сказать, что нейронные сети не уступают по корректирующей способности, а в некоторых случаях и превосходят коды с мягким решением. Также следует отметить, что является рациональным использование нейросетей для оптимизации мягких методов декодирования. Быстрое развитие первых дает возможность значительно увеличить корректирующую способность алгоритмов декодирования, несмотря на рост вычислительной сложности системы и необходимость в предварительном обучении нейронной сети. На основании проведенных исследований можно сделать вывод, что лучшие результаты по соотношению корректирующая способность/вычислительная сложность системы покажут смешанные решения, использующие как мягкое решение, так и нейронные сети в своей структуре.

### Литература

1. Paul Schwentek, Giang T. Nguyen, Holger Boche, Wolfgang Kellerer and Frank H. P. Fitzek 6G Perspective of Mobile Network Operators, Manufacturers, and Verticals // IEEE Networking Letters, 2023.
2. Mikko A. Uusitalo, Sr Member, Patrik Rugeland, Mauro Renato Boldi, Emilio Calvanese Strinati, Member, Panagiotis Demestichas, Sr Member, Mårten Ericson, Gerhard P. Fettweis, Miltiadis C. Filippou, Sr. Member, Azeddine Gati, Marie-Helene Hamon, Marco Hoffmann<sup>10</sup>, Matti Latva-aho<sup>11</sup>, Sr Member, Aarno Pärssinen, Sr Member Björn Richerzhagen, Hans Schotten, Tommy. Svensson, Sr Member, Gustav Wikström, Henk Wymeersch, Sr. Member, Volker Ziegler, Sr Member and Yaning Zou 6G Vision, Value, Use Cases and Technologies From European 6G Flagship Project Hexa-X // IEEE Access, 2021.
3. Туркин А.И. Рекуррентный прием сложных сигналов (на основе метода погружения и решения непрерывных экстремальных задач) – М: Радио и связь, 1988. – 248 с.: ил – (Статистическая теория связи. Вып. 29). ISBN 5.256.00017-9.
4. URL <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3107> (дата обращения май 2023).
5. Быховский М.А. Исследование нового метода мягкого декодирования помехоустойчивых кодов // Цифровая обработка сигналов, 2021. – № 4. – С. 22-30.
6. Кларк Дж., мл., Кейн Дж. Кодирование с исправлением ошибок в системах цифровой связи: Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1987. – 392 с.
7. Золотарев В.В., Овечкин Г.В. Помехоустойчивое кодирование. Методы и алгоритмы: Справочник. / Под. ред. чл.-кор. РАН Ю.Ю. Зубарева. – М.: Горячая линия-Телеком, 2004. – 126 с.
8. Блейхут Р. «Теория и практика кодов, контролирующих ошибки» Москва «Мир», 1986.
9. Березкин А.А. Модели и методы декодирования помехоустойчивых кодов на основе нейросетевого базиса: Дис. кан. техн. наук: 05.13.01; [Место защиты: Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича.]. – М., 2009. – 16 с.
10. Minsky M.L., Papert S. Perceptrons: An Introduction to Computational Geometry. Cambridge // MA: MIT Press, 1969. – 258 p.
11. Астахов Н.В., Башкиров А.В., Муратов А.В., Хорошайлова М.В., Ципина Н.В. Декодирование линейных блочных кодов с использованием нейронных сетей на

основе персептронов высокого порядка // Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Россия, 2020. – № 3. – С. 87-94.

12. Драко А.М., Романенко Д.М. Особенности нейросетевого декодирования линейных блочных кодов // Труды БГТУ. Физико-математические науки и информатика, 2015. – № 6. – С. 166-170.

13. Свиридова И.В., Хорошайлова М.В., Использование нейронных сетей для оптимизации декодирования LDPC кодов для 5G беспроводной сети // Вестник Воронежского государственного технического университета, 2019. – Т. 15. – № 2 – С. 139-144.

14. Stefano A.D., Cataldo G.D., Palumbo G. On the use of neural networks for hamming coding // IEEE International Symposium on Circuits and Systems, 1991. – Vol. 3. – P. 1601-1604.

15. Башкиров А.В., Пухов Д.А., Свиридова И.В., Хорошайлова М.В. Проектирование и реализация нейросетевого кодирования и декодирования // Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Россия.

## ОБЗОР СИСТЕМ ПРОВЕДЕНИЯ РАДИОИЗМЕРЕНИЙ И ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПОКРЫТИЯ СЕТЕЙ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ

*А.А. Прасолов, к.т.н., Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, prasolov.alex@gmail.com;*

*Р.С. Роцинский, Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, rosh.rs@bk.ru;*

*А.С. Федоров, Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, as.fdrv@bk.ru;*

*Д.М. Чудинов, Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, d.chudinov.spb@yandex.ru.*

### УДК 621.391.8

**Аннотация.** Целью данной работы является обзор представленных на рынке систем проведения радиоизмерений и оценки качества покрытия сетей мобильной связи, как зарубежных, так и российских. Описана текущая разработка авторов и приведены примеры ее апробации.

**Ключевые слова:** радиоизмерения; мобильная связь; параметры сети; качество сети; измерительные комплексы.

## MOBILE COMMUNICATION NETWORKS RADIO MEASURING AND COVERAGE QUALITY ASSESSING SYSTEMS OVERVIEW

*A.A. Prasolov, Ph.D. of Engineering Sciences, St. Petersburg state university of telecommunications n/a prof. M.A. Bonch-Bruevich;*

*R.S. Roschinsky, St. Petersburg state university of telecommunications n/a prof. M.A. Bonch-Bruevich;*

*A.S. Fedorov, St. Petersburg state university of telecommunications n/a prof. M.A. Bonch-Bruevich;*

*D.M. Chudinov, St. Petersburg state university of telecommunications n/a prof. M.A. Bonch-Bruevich.*

**Annotation.** The article is devoted to systems for conducting radio measurements and assessing the quality of coverage of mobile networks. An overview of similar systems implemented in Russia and in the world is presented. The current development of the authors is described and examples of its testing are given.

**Keywords:** radio measurements; mobile communication; network settings; network quality; measuring systems.

---

### Введение

Проведение радиоизмерений и оценка качества радиопокрытия является одной из самых важных задач при планировании новых сетей связи, оптимизации и оценки качества существующих сетей, а также для проведения исследований в области взаимного влияния этих сетей. Для решения этих задач на рынке существуют готовые решения, однако в научно-технической литературе до сих пор встречаются работы, посвященные разработке подобных систем, что особенно актуально для России на сегодняшний день, ввиду приостановки деятельности крупнейших западных компаний-производителей измерительного оборудования. Вместе с постоянным развитием сетей радиосвязи различного назначения встает задача совершенствования измерительного оборудования с учетом появления новых особенностей работы, взаимного влияния и требований по учету дополнительных параметров.

### Существующие на рынке решения

Крупнейшим производителем оборудования для проведения радиоизмерений является немецкая компания *Rohde & Schwarz* [1]. Основным средством для проведения измерений и оценки качества покрытия сетей радиосвязи являются сканеры семейства *TSMx*, которые поддерживают работу со следующими стандартами: *GSM*, *UMTS*, *LTE*, *NR*, *NB-IoT*, *LTE-M*, *CDMA2000*, *EVDO*, *TETRA*, *WiMAX*, различными технологиями *WLAN*, *CW*, а также в режиме радиомониторинга. Внешний вид сканеров данного семейства представлен на рис. 1.

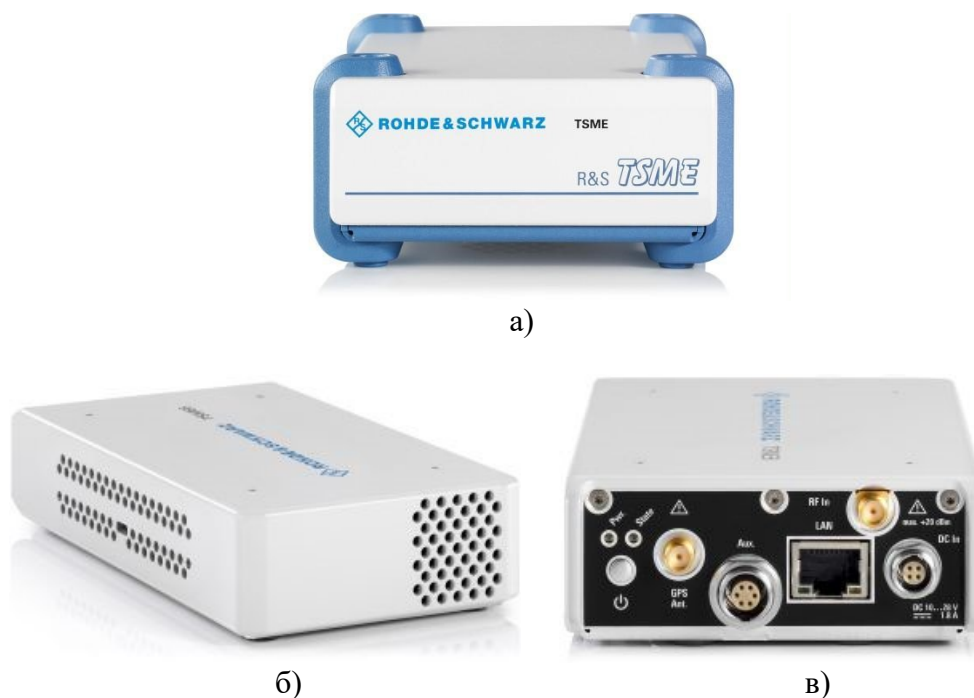


Рисунок 1

Сканеры семейства *TSMx* имеют возможность каскадного соединения, что позволяет одновременно проводить измерения большего количества стандартов, например, для оценки их взаимного влияния. Пример каскадного соединения сканеров представлен на рис. 2.

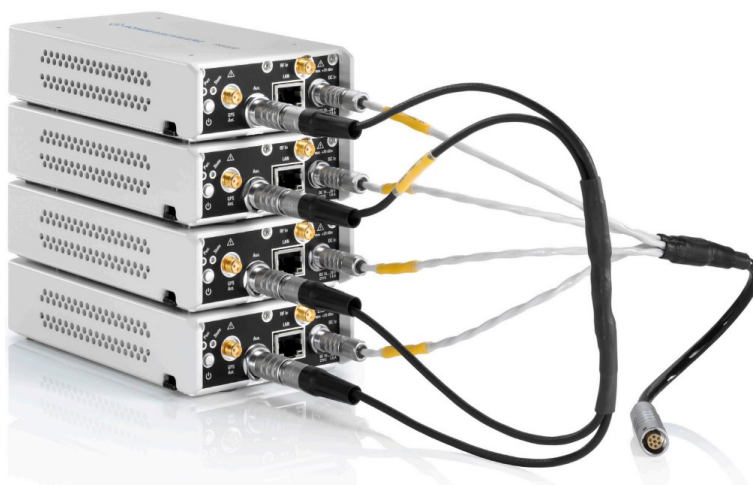


Рисунок 2

Сканеры работают под управлением программного обеспечения *ROMES4*, позволяющего конфигурировать сканеры и прочие подключенные устройства, отображать результаты измерений на картах, в виде таблиц и т.д., а также оценивать их во времени, проводить оценку сигнальных созвездий, отображать данные о соседних базовых станциях, оценивать параметры качества обслуживания (*Quality of Service, QoS*) и многое другое. Пример рабочего окна *ROMES4* представлен на рис. 3.



Рисунок 3

Компания *Rohde & Schwarz* в своем арсенале также имеет и измерительные мобильные телефоны, которые работают с программным обеспечением *QualiPoc* и позволяют измерять не только радиопараметры, но и давать оценку качества речи, передачи данных, потоковой передачи видео, а также отслеживать произошедшие во время измерений события, процедуры и сценарии. Примеры рабочих окон измерительного телефона и *QualiPoc* представлены на рис. 4.



Рисунок 4

Для проведения драйв-тестов рассмотренные выше сканеры и измерительные телефоны могут объединяться, для чего компанией *Rohde & Schwarz* представлено решение *Freerider 4*, представляющее собой рюкзак с измерительными устройствами, системой электропитания (аккумуляторы, либо питание от электросети автомобиля) и вентиляцией. Решение поддерживает до 12 измерительных телефонов в своем составе и сканер семейства *TSMx*. Внешний вид решения *Freerider 4* представлен на рис. 5.

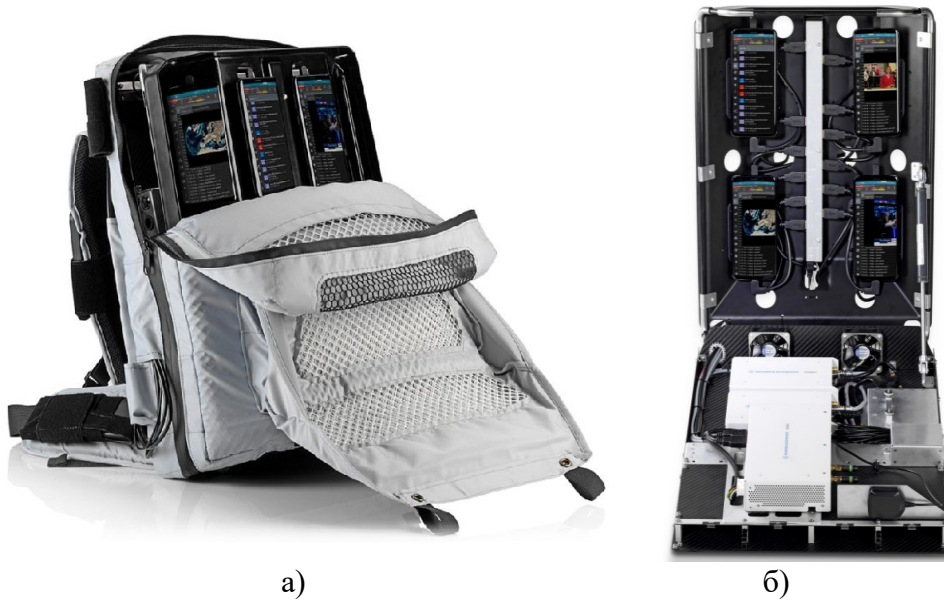


Рисунок 5



Еще одной особенностью измерительных сканеров и программного обеспечения компании Rohde & Schwarz является наличие функции автоматического обнаружения каналов (*Automatic Channel Detection, ACD*). Данная функция на основании анализа сигналов по различным признакам (форма сигнала, частота, ширина полосы и т.д.) идентифицирует их принадлежность к стандартам, что позволяет оценить динамически изменяющуюся электромагнитную обстановку в месте проведения измерений и, например, определить потенциально помеховые сигналы. Пример работы функции автоматического обнаружения каналов представлен на рис. 6.

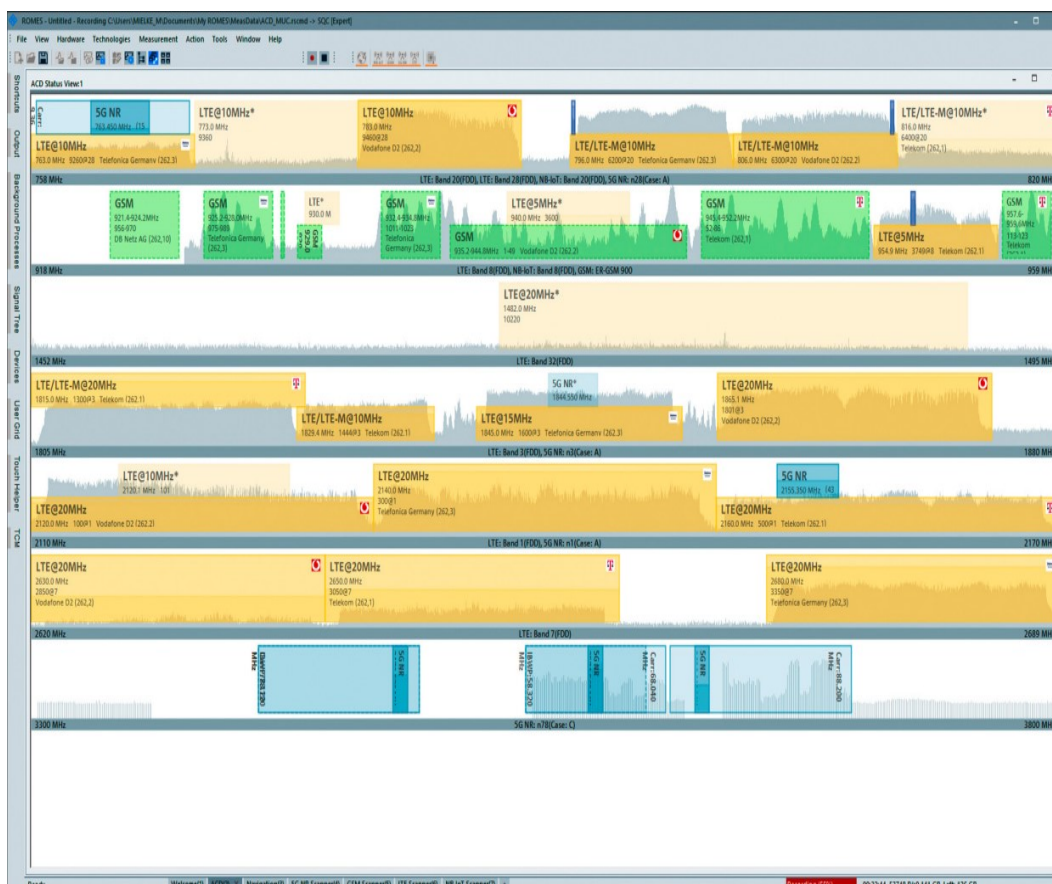


Рисунок 6

Дополнительное программное обеспечение *Network Problem Analyzer (NPA)* позволяет провести пост-анализ работы сети по проведенным ранее измерениям в ПО *ROMES4* с использованием радиосканера (или в ПО *QualiPoc* с использованием измерительных телефонов) и сформированным на их основе совокупности лог-файлов (размер и время формирования лог-файла также может настраиваться в ПО *ROMES4*). *NPA* визуализирует результаты измерений в виде тепловых карт, а также позволяет изучить служебную информацию, представленную в соответствующих блоках (*System Information Blocks, SIB*). Подобный подход позволяет оценивать зоны покрытия и обслуживания, а также сценарии и процедуры, произошедшие за время измерений (звонок, передача сообщения или данных, хэндовер, реселекция соты и т.д.). Пример окна *NPA* представлен на рис. 7.

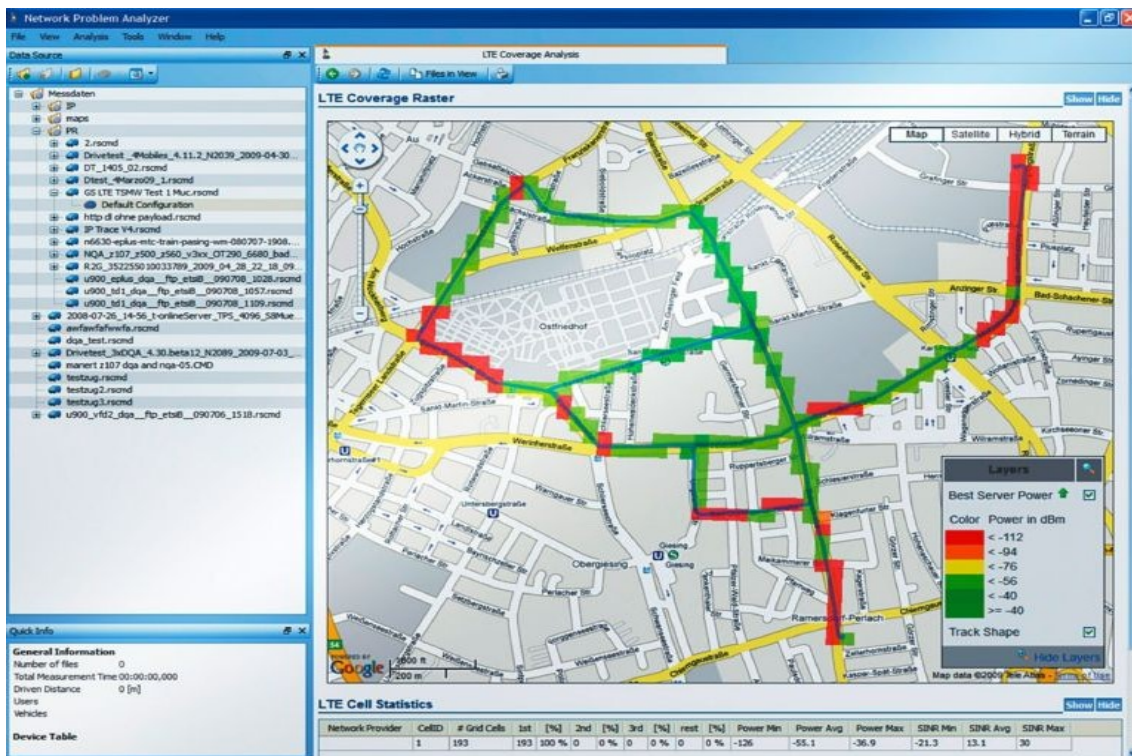


Рисунок 7

В работе [2] представлен пример результатов проведенных измерений стандарта *TETRA*, полученных с помощью измерительного сканера компании *Rohde & Schwarz*. Измерения проводились из вагона-лаборатории на Октябрьской железной дороге вблизи станции Чудово (Новгородская область). Приведена схема измерительного комплекса и карта покрытия с нанесенным уровнем сигнала (представлены для примера на рис. 8 и 9 соответственно), по которой был сделан вывод – на одном из участков не соблюдаются требования с точки зрения минимально допустимого уровня принимаемого сигнала и требуемого перекрытия между соседними базовыми станциями<sup>1</sup>, вследствие чего на основании расчетов по известной модели распространения радиоволн Окамура-Хата [3] была предложена методика модернизации исследуемой сети и установки новой базовой станции. Результаты теоретического расчета показали, что модернизированная сеть удовлетворяет требованиям нормативно-правовой базы.

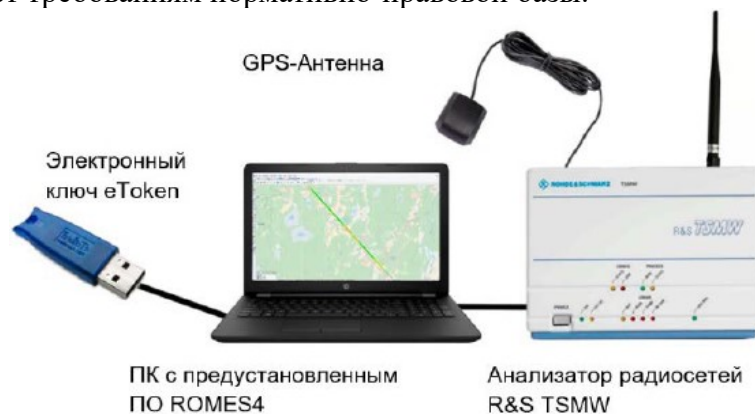


Рисунок 8

<sup>1</sup> ГОСТ 33973-2016. Железнодорожная электросвязь. Поездная радиосвязь. Технические требования и методы контроля.



Рисунок 9

Основным конкурентом компании *Rohde & Schwarz* в области радиоизмерений является американская компания *Keysight Technologies* [4]. Данная компания имеет аналогичное *Freerider* решение для проведения драйв-тестов, которое носит название *Nemo Walker Air*, однако оно в своем составе имеет только измерительные телефоны, что ограничивает варианты его использования. Внешний вид решения *Nemo Walker Air* представлен на рис. 10.



Рисунок 10

Среди отечественных решений в качестве примера можно привести устройство для определения уровня качества сети *NB-IoT* и тестирования передачи данных *NB-IOT TESTER RB-NBT*, разработанное российской компанией *RedBees*

[5]. Данный тестер представляет собой автономное устройство с дисплеем и несколькими кнопками. Внешний вид тестера *NB-IOT TESTER RB-NBT* представлен на рис. 11.



Рисунок 11

Тестер предназначен для измерений параметров сети стандарта *NB-IoT* (измеряются такие параметры, как *RSSI*, *RSRP*, *RSRQ*, *SNR*, *EARFCN*, код *PLMN*, состоящий из *MCC* и *MNC*, *Cell ID*, *IMSI*), определения наличия регистрации в сети с получением статуса подключения, определения координат местоположения и температуры окружающей среды, а также передачи измеренных данных через сеть на удаленный сервер с получением подтверждения о доставке. Тестер имеет в своем составе модем *u-blox SARA-N410* и поддерживает частотные диапазоны *B3* (восходящая линия от 1710 МГц до 1785 МГц, нисходящая линия от 1805 МГц до 1880 МГц, тип дуплекса – частотный, *FDD*), *B8* (восходящая линия от 880 МГц до 915 МГц, нисходящая линия от 925 МГц до 960 МГц, тип дуплекса – частотный, *FDD*), *B20* (восходящая линия от 832 МГц до 862 МГц, нисходящая линия от 791 МГц до 821 МГц, тип дуплекса – частотный, *FDD*). Также стоит отметить, что используемый в устройстве модем может быть заменен на аналогичный, в связи с чем возникает возможность применять устройство для измерений других стандартов и в других диапазонах частот.

Также стоит отметить, что разработчиком получена декларация о соответствии данного тестера требованиям Технического регламента Таможенного союза ТР ТС 020/2011 «Электромагнитная совместимость технических средств», действительная до 2025 г.

Тестер используется операторами сотовой связи (разработчик также предлагает услуги брендинга устройства) и при проведении научных исследований. В работах [6, 7] представлены примеры процесса и результатов измерений с использованием данного тестера. Измерения проводились в Санкт-Петербурге в трех различных сценариях: на улице, внутри помещения, в условиях воздействия устройства глушения. Представлены результаты измерений и дана оценка качества рассматриваемой сети.

Оценивать качество мобильных сетей можно и без использования описанных выше комплексов и макетов с использованием внешних модемов. Для абонентских устройств (смартфоны, планшеты и т.д.) существует большое

количество приложений, которые могут проводить сбор первичных данных сотовых сетей. В работе [8] описана разработка подобного приложения для операционной системы *Android*, позволяющего фиксировать и отображать на карте источники излучения и радиусов их действия на карте на примере стандартов *Wi-Fi*, *Bluetooth* и стандартов мобильной связи (приведены результаты измерений в городе Томск).

### Обзор имеющихся разработок

С 2019 г. по настоящее время на базе научно-образовательного центра «Беспроводные инфотелекоммуникационные сети» Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича также ведутся работы по разработке макетов для проведения измерений параметров сетей сотовой связи. Разработанные макеты включали в себя: модуль обработки информации; управляющий радиомодулем и остальными частями макета; радиомодуль для подключения к сети, проведения измерений и определения местоположения; устройства ввода/вывода (экран, кнопки и т.д.) для управления макетом и визуализации полученных параметров); систему хранения данных (в частности лог-файлов с результатами измерений) и систему электропитания. Общая архитектура рассматриваемых макетов представлена на рис. 12.

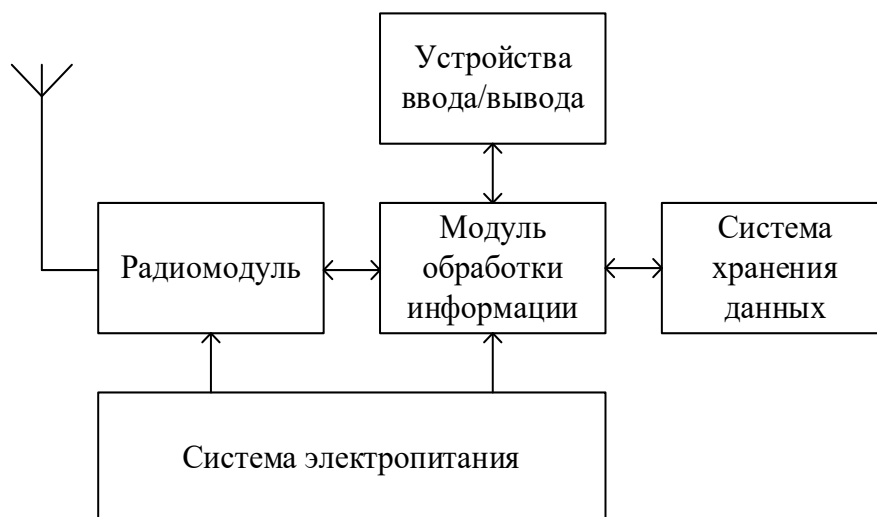


Рисунок 12

Описанный в работе [9] макет построен на базе *Raspberry Pi Zero* и модема *SIMCom SIM800L*. Программное обеспечение написано на языке *Python* и зарегистрировано как результат интеллектуальной деятельности [10]. Разработанный макет поддерживает стандарт *GSM* и измерения следующих параметров: уровень принимаемого сигнала *RSSI*, номер канала *ARFCN*, отношение сигнал/шум *SNR*, коды страны и сети (*MCC* и *MNC*), идентификатор соты *Cell ID*, координаты.

Описанный в работе [11] макет построен на базе *Arduino Mega* и отладочной платы *Shield GPRS/GSM*, включающей в себя модем *SIMCom SIM900*. Программное обеспечение написано на языке *Arduino C*. Разработанный макет поддерживает стандарт *GSM* и измерения следующих параметров: уровень принимаемого сигнала *RSSI*, номер канала *ARFCN*, идентификатор зоны и идентификатор соты (*LAC* и *Cell ID*).

Описанный в работе [12] макет построен на базе *Raspberry Pi Zero* и модема *SIMCom SIM800L*. Программное обеспечение написано на языке *Python*. Разработанный макет поддерживает стандарт *LTE* и измерения следующих параметров: уровень принимаемого сигнала *RSSI*, отношение сигнал/шум *SNR*, коэффициент битовой ошибки *BER*, номер канала *EARFCN*, идентификатор соты *Cell ID*.

Описанный в работе [13] макет построен на базе *Raspberry Pi 3 Model B* и модема *SIMCom SIM7600E-H*. Программное обеспечение написано на языке *JavaScript* и зарегистрировано как результат интеллектуальной деятельности [14, 15]. Разработанный макет поддерживает стандарт *GSM*, *UMTS*, *LTE* и измерения следующих параметров: уровень принимаемого сигнала *RSSI*, коды страны и сети (*MCC* и *MNC*), идентификатор зоны и идентификатор соты (*LAC* и *Cell ID*), коэффициент битовой ошибки *BER*, номер канала, координаты.

Описанный в работе [16] макет построен на базе ноутбука и модема *SIMCom SIM7600E-H*. Программное обеспечение написано на языке *Java* и зарегистрировано как результат интеллектуальной деятельности [17, 18]. Разработанный макет поддерживает стандарт *GSM* и измерения следующих параметров: уровень принимаемого сигнала *RSSI*, коды страны и сети (*MCC* и *MNC*), идентификатор зоны и идентификатор соты (*LAC* и *Cell ID*), коэффициент битовой ошибки *BER*, номер канала *ARFCN*.

Также стоит отметить, что в рассмотренных выше макетах используется только один радиомодуль, что ограничивает возможности применения разработанного на их основе измерительного устройства. В работе [19] исследуется подход к построению блока-радиоизмерителя с точки зрения расположения нескольких измерительных модулей в устройстве. В качестве ориентиров взяты измерительные рюкзаки компаний *Rohde & Schwarz* и *Keysight*. Исследование проводилось на примере стандарта *Wi-Fi*, три измерительных модуля располагались либо в одинаковом положении (их положение одновременно менялось на вертикальное, горизонтальное и под углом), либо в разном (первый модуль вертикально, второй – горизонтально, третий – под углом). Приведены результаты измерений уровня принимаемого сигнала и количества обнаруженных точек доступа. По результатам измерений был сделан вывод, что разброс принимаемого уровня сигнала между модулями, расположенными одинаково был практически постоянен и такой вариант неэффективен. Наблюдалась разница между модулями, зависящая от их расположения и, следовательно, поляризации антенны. Использование второго варианта позволило учитывать эту разницу одновременно. Также значения уровня сигнала, полученные при использовании второго варианта, в большинстве случаев примерно равны среднему значению уровней сигнала, принятых от трех модулей, расположенных одинаково.

В работе [20] рассмотрены и апробированы существующие и упомянутые выше приложения для сбора первичных данных сотовых сетей с представлением примеров результатов их работы, определен минимальный перечень параметров для оценки качества сети сотовой связи, включающий в себя коды страны *MCC* и сети *MNC*, код области *LAC/TAC*, идентификатор базовой станции *Cell ID*, координаты местоположения, время и дата проведения измерений, фиксация произошедшего события (например звонок, хэндовер и т.д.), мощность принимаемого сигнала *RSSI*, мощность пилотного сигнала *RSRP*, качество пилотного сигнала *RSRQ*, отношение сигнал/шум. К рассматриваемым приложениям был выдвинут ряд критериев (касающихся как возможностей, так и удобства пользования программами) и составлена сравнительная характеристика,

на основании которой был сделан вывод, что наиболее удобной из рассматриваемых программ является *G-NetTrack Pro*, однако среди ее основных недостатков называются отсутствие некоторых функций, присутствующих у конкурентов, а также несоответствие названий некоторых измеряемых параметров спецификациям консорциума *3GPP*, что может вызывать разночтения при пост-анализе и оценке результатов полученных измерений. На основе проведенного исследования ставится задача разработки собственного приложения, описание которого будет приведено далее.

### Текущая разработка

На текущий момент разработанное программное обеспечение включает в себя два отдельных приложения, работающих в связке и позволяющих проводить как радиоизмерения, так и пост-анализ их результатов. Архитектура разработанного программного обеспечения представлена на рис. 13.

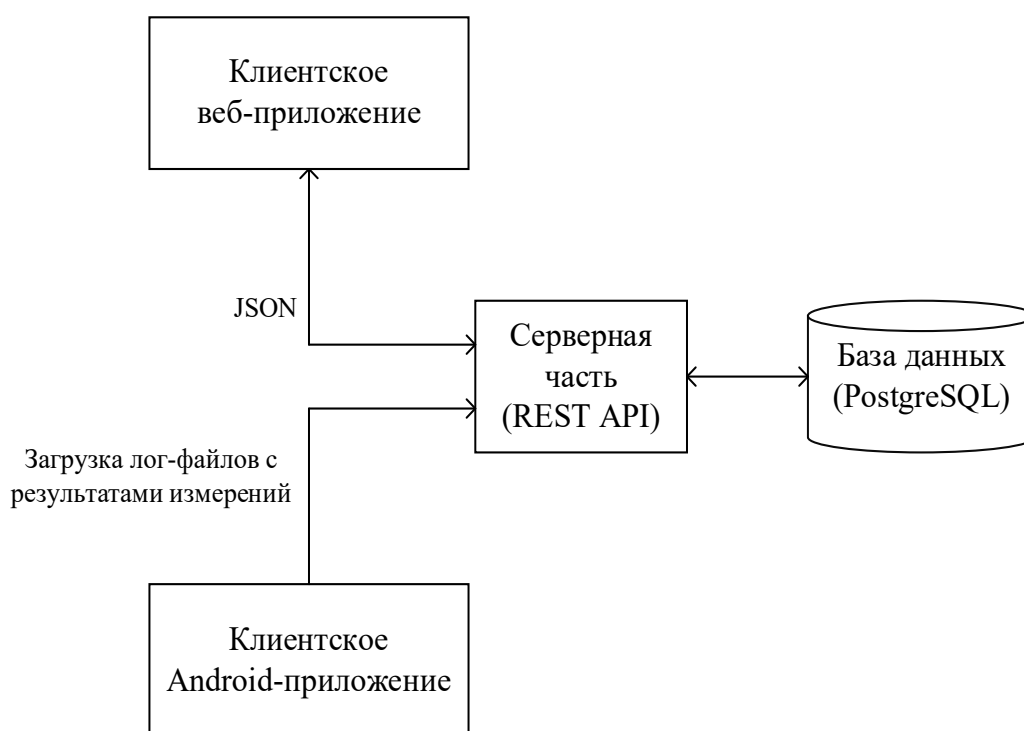


Рисунок 13

Клиентское *Android*-приложение предназначено для проведения радиоизмерений параметров сетей мобильной связи различных стандартов и разработано в среде *Android Studio* на языке *Java*, в связи с чем может быть использовано на абонентских устройствах (например смартфон или планшет).

Для каждого стандарта (поколения) мобильной связи определены свои радиопараметры. Перечень параметров, которые доступны для измерений в разработанной программе для проведения радиоизмерений, представлены в табл. 1.

Таблица 1.

Стандарт	Перечень параметров, доступных для измерений
<i>GSM</i>	Оператор, коды страны и сети ( <i>MCC</i> и <i>MNC</i> ), идентификатор зоны и идентификатор соты ( <i>LAC</i> и <i>Cell ID</i> ), номер частотного канала <i>ARFCN</i> , код идентификации базовой станции <i>BSIC</i> , уровень принимаемого сигнала <i>RSSI</i> , коэффициент битовой ошибки <i>BER</i> , координаты местоположения.
<i>UMTS</i>	Оператор, коды страны и сети ( <i>MCC</i> и <i>MNC</i> ), идентификатор зоны и идентификатор соты ( <i>LAC</i> и <i>Cell ID</i> ), номер частотного канала <i>UARFCN</i> , идентификатор контроллера радиосети <i>RNC</i> , номер скремблирующей последовательности <i>PSC</i> , уровень принимаемого пилотного сигнала <i>RSCP</i> , уровень принимаемого сигнала <i>RSSI</i> , отношение сигнал/шум, координаты местоположения.
<i>LTE</i>	Оператор, коды страны и сети ( <i>MCC</i> и <i>MNC</i> ), идентификатор зоны и идентификатор соты ( <i>TAC</i> и <i>Cell ID</i> ), физический идентификатор соты <i>PCI</i> , номер частотного канала <i>EARFCN</i> , идентификатор базовой станции <i>eNB</i> , частотный диапазон и ширина полосы, тип дуплекса, частоты восходящей и нисходящей линий связи, уровень принимаемого сигнала <i>RSSI</i> , уровень принимаемого пилотного сигнала <i>RSRP</i> , показатель качества пилотного сигнала <i>RSRQ</i> , отношение сигнал/шум, идентификатор качества канала <i>CQI</i> , координаты местоположения.

Примеры вывода представленных в табл. 1 параметров для стандартов *GSM*, *UMTS*, *LTE* представлены на рис. 14а, 14б и 14в соответственно.

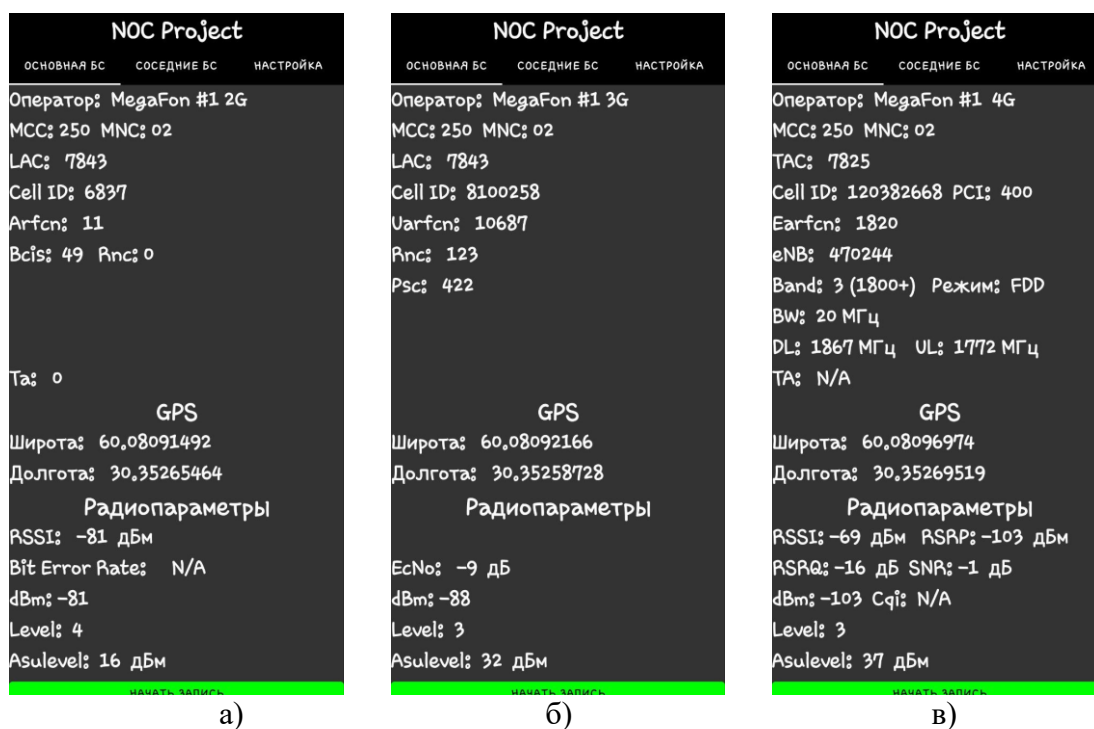


Рисунок 14

Часть приведенных в табл. 1 параметров доступна для измерения, в том числе, и от соседних базовых станций. Примеры вывода параметров соседних базовых станций для стандартов *GSM*, *UMTS*, *LTE* представлены на рис. 15а, 15б и 15в соответственно.



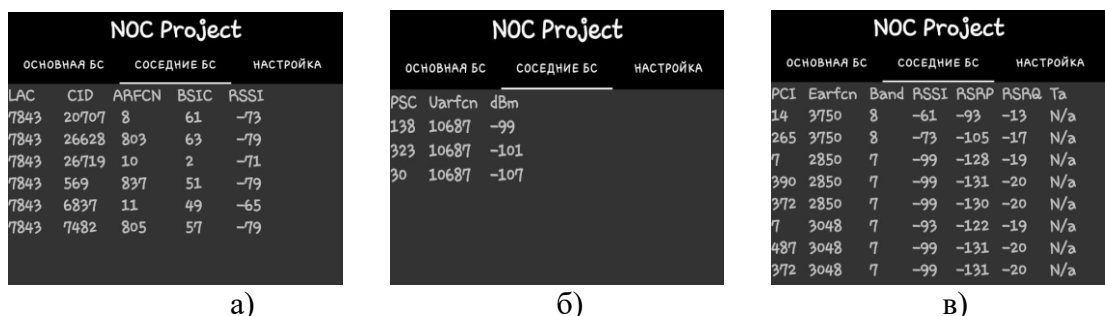


Рисунок 15

Также стоит отметить, что в приложении имеется возможность конфигурации шага проведения измерений.

Результатом работы программы является формирование лог-файла формата CSV, представляющего собой универсальную таблицу, включающую в себя полученные в ходе измерений параметры. Если какой-то параметр не был получен в ходе измерений, то соответствующая ячейка в таблице будет пустой. Пример сформированного лог-файла, содержащего результаты измерений параметров сети LTE представлен на рис. 16.

lat	log	Operator	Network	mcc	mnc	TAC/LAC	CID	eNB	Band	Earfcn	Uarfcn	Arfcn
59.902919	30.490588	MegaFon	#4G	250	02	7833	20161280	787550	7	2850		
59.903016	30.490541	MegaFon	#4G	250	02	7833	20161280	787550	7	2850		
59.903107	30.490471	MegaFon	#4G	250	02	7833	20161280	787550	7	2850		
59.903192	30.490396	MegaFon	#4G	250	02	7833	20161280	787550	7	2850		
59.903278	30.490318	MegaFon	#4G	250	02	7833	20161280	787550	7	2850		
59.903357	30.490230	MegaFon	#4G	250	02	7833	20161280	787550	7	2850		
59.903437	30.490149	MegaFon	#4G	250	02	7833	20161280	787550	7	2850		
59.903521	30.490064	MegaFon	#4G	250	02	7833	20161280	787550	7	2850		
59.903609	30.489995	MegaFon	#4G	250	02	7833	20161280	787550	7	2850		
59.903693	30.489914	MegaFon	#4G	250	02	7833	20161280	787550	7	2850		
59.903783	30.489847	MegaFon	#4G	250	02	7833	20161280	787550	7	2850		
59.903870	30.489760	MegaFon	#4G	250	02	7833	20161280	787550	7	2850		
59.903896	30.489582	MegaFon	#4G	250	02	7833	20161280	787550	7	3048		
59.903848	30.489414	MegaFon	#4G	250	02	7833	20161280	787550	7	3048		
59.903802	30.489250	MegaFon	#4G	250	02	7833	20161280	787550	7	3048		
59.903752	30.489083	MegaFon	#4G	250	02	7833	20161280	787550	7	3048		
59.903689	30.488926	MegaFon	#4G	250	02	7833	20161280	787550	7	3048		
59.903641	30.488759	MegaFon	#4G	250	02	7833	20161280	787550	7	3048		

Рисунок 16

Клиентское Android-приложение передает лог-файлы, содержащие результаты измерений, в базу данных PostgreSQL через серверную часть. Серверная часть предоставляет уже клиентскому веб-приложению информацию в формате JSON с использованием архитектурного стиля REST API, что дает возможность взаимодействовать разным клиентским устройствам с данными, хранящимися в базе данных.

Клиентское веб-приложение предназначено для получения, сохранения и визуализации измеренных параметров на карте и разработано на языках JavaScript и Golang. Параметры отображаются на карте (в соответствии с измеренными координатами) в виде меток разных цветов, что позволяет построить тепловую карту для отображения уровня принимаемого сигнала в заданной точке. Также на карте отображается местоположение обнаруженных базовых станций. В веб-приложении реализован фильтр, позволяющий отобразить результаты измерений в зависимости от интересующего стандарта мобильной связи, оператора, даты проведения измерений, а также отобразить только проверенные базовые станции (те, к которым абонентской станцией было выполнено подключение во время

проведения измерений). Пример окна клиентского веб-приложения с загруженным лог-файлом, содержащим результаты измерений стандарта *LTE*, проведенных в Санкт-Петербурге, представлен на рис. 17.

**Загрузить CSV файл с измерениями** не выбран

[Обзор...](#) Файлы не выбраны. [Загрузить](#) [Удалить выбранный файл](#)

**Укажите период:**  
 Дата: 2023-08-20 - 2023-08-31

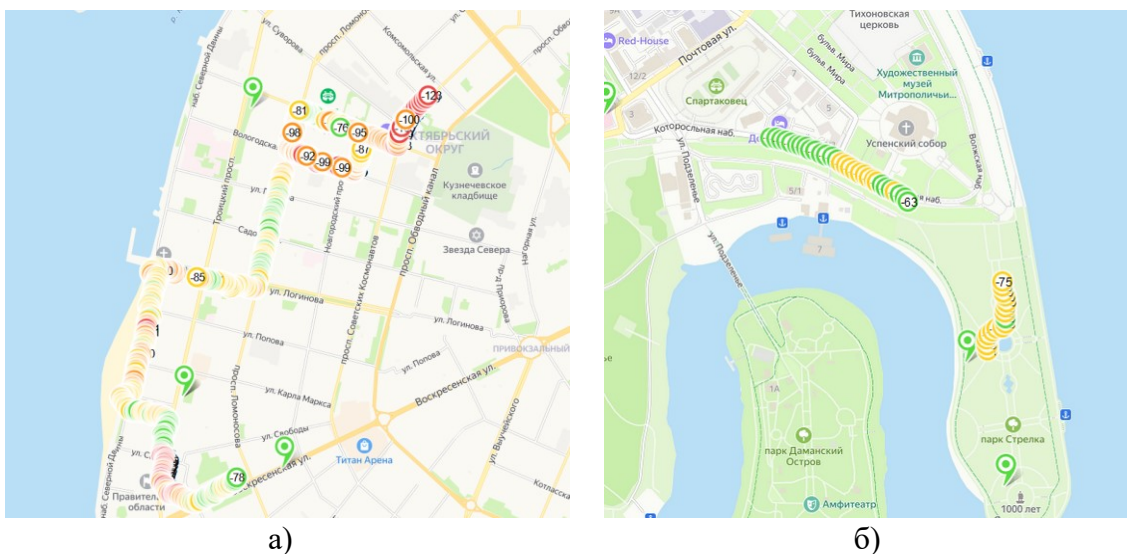
**Сотовая сеть**  
 Стандарты связи: LTE  
 Оператор: МegaFон

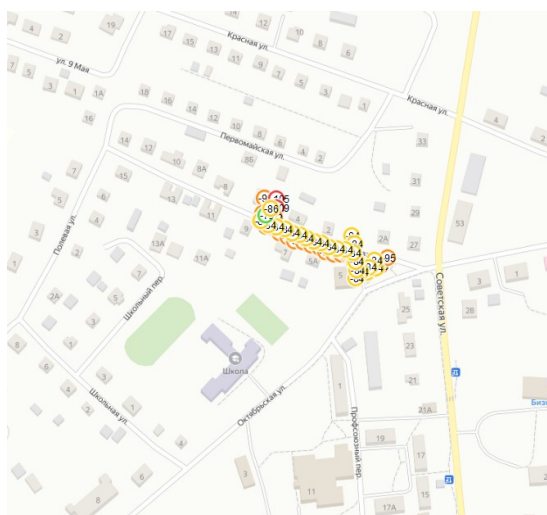
Operator: MegaFon #1  
 network: 4G  
 file\_name: 2023-08-23\_00-46-27\_Main.csv  
 msc: 250  
 mnc: 2  
 tac\_lac: 7825  
 cid: 199694085  
 enb: 780055  
 band: 7 (2600)  
 bandwidths\_mhz: 20/20/10/5  
 earfcn: 3048  
 uarfcn: 0  
 arfcn: 0  
 ul\_mhz: 2529  
 dl\_mhz: 2649  
 pci: 201  
 psc: 0  
 mc: 0  
 bsic: 0  
 rssi: -51  
 rsrp: -81  
 rsrq: -11  
 snr: 1  
 ec\_no: 0

Рисунок 17

**Апробация разработанного программного обеспечения**

Кроме Санкт-Петербурга разработанные программы также были апробированы и в других городах – Архангельске (в рамках Арктической технологической экспедиции СПбГУТ им. проф. М.А. Бонч-Бруевича [21]), Ярославле, Калининграде. Для примера приведены фрагменты тепловых карт уровней сигнала, построенных по результатам измерений в упомянутых городах, представленные на рис. 18а, 18б, 18в соответственно.





в)

Рисунок 18

На данный момент разработанная программа для проведения радиоизмерений тестировалась на 10 абонентских устройствах различных производителей, которые, в свою очередь, работают на базе различных SoC (использовались устройства, работающие на базе семейств *Qualcomm Snapdragon*, *Samsung Exynos*, *Mediatek Helio*). Был сделан вывод, что модель SoC влияет на возможность вывода ряда важных параметров (например уровня принимаемого сигнала, частотного диапазона, ширины полосы, идентификатора качества канала). Как было описано выше, в работе [20] были выдвинуты критерии для разработки собственного приложения. В табл. 2 приведена сравнительная характеристика не только с эталонным приложением *G-NetTrack*, но и с другими рассматриваемыми программами.

Таблица 2.

Критерий	Разработанная программа	<i>Cellular-Pro Play</i>	<i>CellMapper</i>	<i>G-NetTrack Pro</i>	<i>Signal Check Pro</i>
Запись лог-файла	Да	Да, но с ограничением записи в 2 минуты	Есть, но без подписи параметров	Да	Да
Доступность	Полный доступ	240\$ в год	Бесплатно	20\$	3\$
Интерфейс	Удобно	Удобно	Удобно	Не удобно	Не удобно

Критерий	Разработанная программа	<i>Cellular-Pro Play</i>	<i>CellMapper</i>	<i>G-NetTrack Pro</i>	<i>Signal Check Pro</i>
Необходимые параметры, для проведения анализа	Есть все нужные параметры	Есть все нужные параметры, но из-за ограниченности версии, нельзя записать все	Нет названия у параметров	Есть нужны перечень, но названия не соответствуют <i>3GPP</i>	Неполный перечень
Запись в формате <i>kml</i>	Нет	Да, но в подписке	Нет	Да	Нет
Тепловая карта в приложении	Нет	Да, но не удобная цветовая палитра	Есть. С полной информацией о базовых станциях и секторах	Да	Нет
Проведение измерений внутри здания	Нет	Да	Нет	Да	Нет
Загрузка своей базы данных	Нет	Нет	Да	Да	Нет

### Заключение

Можно сделать выводы, что ограничений по времени записи лог-файла нет и это дает возможность производить измерения в течении необходимого времени. Интерфейс разработан интуитивно понятным, без переходов в отдельное меню, что ускоряет процесс работы. Все параметры названы в соответствии со спецификациями *3GPP*, чтобы не создавать разночтения, как, к примеру это реализовано в приложении *G-NetTrack*. Для избежания создания многочисленных файлов не формируются лог-файлы формата *kml*. В разрабатываемой программе *CVS*-файл универсальный и его можно обработать как в программах для работы с электронными таблицами, так и в клиент-серверном приложении для дальнейшей пост-обработки. Приложение разработано и оптимизированно под большую часть абонентских устройств. Также главным преимуществом приложения является наличие исходного кода для внесения изменений, так как существует проблема удаления приложений с торговых площадок на территории Российской Федерации. На текущий момент продолжается работа над описанной разработкой. Программа тестируется и отлаживается для еще большего числа абонентских устройств, построенных на базе *SoC*, имеющих различные модемы. Ожидается получение свидетельств о регистрации программ для ЭВМ для их текущих версий. Ведется работа по реализации возможностей оценки качества услуг с точки зрения абонента

– голосовых вызовов (например, разборчивости речи), передачи СМС-сообщений и данных (например, времени и скорости передачи данных).

Кроме того, текущую разработку планируется параллельно развивать и в виде другого макета – на основе микроконтроллера и внешних модемов. Таким образом, можно использовать модемы, поддерживающие иные стандарты радиосвязи (не только мобильной), например, *LoRa*, *Wi-Fi*, *TETRA* и т.д.

*Работа выполнена в рамках прикладных научных исследований СПбГУТ 2023 г., регистрационный номер 123060900012-6 в ЕГИСУ НИОКТР.*

## **Литература**

1. URL <https://www.rohde-schwarz.com> (дата обращения – сентябрь 2023 г.).
2. Бабаев Н.В., Симонина О.А. Методика модернизации сети транкинговой связи стандарта TETRA // Труды учебных заведений связи, 2018. – Т. 4. – № 2. – С. 36-43.
3. Nata M. Empirical formula for propagation loss in land mobile radio services // IEEE transactions on Vehicular Technology, 1980. – Т. 29. – № 3. – С. 317-325.
4. URL <https://www.keysight.com> (дата обращения – сентябрь 2023 г.).
5. URL [https://redbees.ru/nb-iot\\_tester](https://redbees.ru/nb-iot_tester) (дата обращения – сентябрь 2023 г.).
6. Прасолов А.А., Рощинский Р.С., Федоров А.С. Оценка качества радиопокрытия сети NB-IoT на территории Санкт-Петербурга // Экономика и качество систем связи, 2022. – № 4. – С. 32-39.
7. Прасолов А.А., Рощинский Р.С., Федоров А.С. Оценка качества радиопокрытия сети NB-IoT внутри зданий на территории Санкт-Петербурга // Экономика и качество систем связи, 2023. – № 1. – С. 34-41.
8. Самойленко Б.И., Вичугов В.Н., Вичугова А.А. Мобильная визуализация данных об электромагнитном излучении беспроводных сетей // Известия Томского политехнического университета, 2015. – Т. 326. – № 5. – С. 121-130.
9. Румянцев Д.Ю., Андреев Р.А., Мышьянов С.В. Разработка программно-аппаратного комплекса для проведения измерений параметров сети мобильной связи на базе Raspberry Pi // Экономика и качество систем связи, 2019. – № 4. – С. 61-68.
10. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019666739 Российская Федерация. Измеритель параметров мобильной связи стандарта GSM: № 2019665939: заявл. 05.12.2019: опубл. 13.12.2019 / Румянцев Д.Ю., Андреев Р.А., Прасолов А.А., Бабаев Н.В., Мошков В.В.; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича» (СПбГУТ).
11. Мошков В.В., Андреев Р.А., Прасолов А.А. Разработка программно-аппаратного комплекса для проведения измерений параметров сети мобильной связи на базе Arduino Mega // Экономика и качество систем связи, 2019. – № 4. – С. 53-61.
12. Бабаев Н.В., Румянцев Д.Ю. Разработка устройства для проведения измерений параметров сигнала сети LTE // Экономика и качество систем связи, 2020. – № 3. – С. 23-32.
13. Бабанов И.А., Прасолов А.А., Федоров А.С. Разработка многоцелевого тестера мобильной связи // International journal of Professional Science, 2020. – № 12. – С. 89-99.
14. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020666793 Российская Федерация. Многоцелевой тестер мобильной связи: № 2020666162: заявл. 04.12.2020: опубл. 16.12.2020 / Андреев Р.А., Бабанов И.А.,

Прасолов А.А., Румянцев Д.Ю., Федоров А.С.; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича» (СПбГУТ).

15. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020667467 Российская Федерация. Многоцелевой тестер мобильной связи - серверная часть: № 2020666180: заявл. 04.12.2020: опубл. 23.12.2020 / Андреев Р.А., Бабанов И.А., Прасолов А.А., Румянцев Д.Ю., Федоров А.С.; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича» (СПбГУТ).

16. Андреев Р.А., Дмитренко Н.А., Федоров А.С. Разработка программного обеспечения для оценки качества мобильной сети // Экономика и качество систем связи, 2021. – № 4. – С. 21-35.

17. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022614191 Российская Федерация. Кроссплатформенное программное обеспечение для оценки качества мобильной сети – клиентская часть: № 2022612912: заявл. 03.03.2022: опубл. 17.03.2022 / Андреев Р.А., Дмитренко Н.А., Прасолов А.А., Федоров А.С.; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича» (СПбГУТ).

18. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022614192 Российская Федерация. Кроссплатформенное программное обеспечение для оценки качества мобильной сети - серверная часть: № 2022612915: заявл. 03.03.2022: опубл. 17.03.2022 / Андреев Р.А., Дмитренко Н.А., Прасолов А.А., Федоров А.С.; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича» (СПбГУТ).

19. Прасолов А.А., Рошинский Р.С., Федоров А.С. Исследование подхода к построению блока-радиоизмерителя на примере стандарта Wi-Fi // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2023) : Сборник научных статей XII Международной научно-технической и научно-методической конференции: в 4 т., Санкт-Петербург, 28 февраля – 01 2023 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, 2023. – С. 443-448. – EDN IJZFRA.

20. Прасолов А.А., Рошинский Р.С., Федоров А.С. Обзор программного обеспечения абонентских устройств для сбора первичных данных сетей сотовой связи // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2023): Сборник научных статей XII Международной научно-технической и научно-методической конференции: в 4 т., Санкт-Петербург, 28 февраля – 01 2023 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, 2023. – С. 448-453. – EDN LCEFIX.

21. URL <https://www.sut.ru/bonchnews/science/08-09-2023-spbgut-dal-start-novoy-arkticheskoy-ekspedicii> (дата обращения – сентябрь 2023 г.).

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ, СЕТИ И ТЕХНОЛОГИИ.  
ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ.  
ИНФОРМАТИКА И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ.  
ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ**

**МЕТОДИКА ОПТИМИЗАЦИИ СЕТКИ ЛИНИЙ СЕТИ СВЯЗИ КАК  
ПРОГРАММНО-КОНФИГУРИРУЕМОЙ СЕТИ**

*С.А. Шинкарев, к.т.н., доцент, Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного, se\_ten82@mail.ru;*

*Н.В. Евглевская, к.т.н., Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного, n.evglevskaya@gmail.com;*

*П.Н. Антонов, Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного, talou-ozr@mail.ru.a;*

*Т.Р. Магдеев, Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного, timazel@mail.ru.*

**УДК 004.716**

---

**Аннотация.** Решение задачи оптимизации обуславливается формированием структуры сети связи, удовлетворяющей определенным требованиям. В данной статье предложена методика и алгоритм построения линий связи на заданной сети.

**Ключевые слова:** программно-конфигурируемая сеть; задача коммивояжера; алгоритм; узел; сетка линий.

**METHODOLOGY FOR LINE GRID OPTIMIZATION OF NETWORK AS A  
SOFTWARE-DEFINED NETWORKING**

*Semen Shinkarev, candidate of Engineering, assistant professor, The Military Academy of Telecommunications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny;*

*Natalya Evglevskaya, candidate of Engineering, The Military Academy of Telecommunications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny;*

*Pavel Antonov, The Military Academy of Telecommunications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny;*

*Timur Magdeev, The Military Academy of Telecommunications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny.*

**Annotation.** Optimization task solution is determined by the formation of a network structure that satisfies certain requirements. This article proposes a methodology and algorithm for constructing communication lines on a given network.

**Keywords:** software-defined networking; travelling salesman problem; algorithm; node; line grid.

---

**Введение**

В настоящее время состояние телекоммуникационных сетей показывает, что возможности базовых сетевых технологий, включающие в себя согласованный набор протоколов и аппаратно-программных средств, близки к исчерпанию. Это приводит к повышению загруженности линий сети связи, вследствие чего

увеличивается время передачи информации. Одним из вариантов решения этой проблемы является переход на концепцию программно-конфигурируемых сетей. В последние годы данный вопрос рассматривается в научных работах, авторы которых предлагают использовать метод оптимизации сетки линий сети связи для повышения надежности сети.

### Методика оптимизации линий сети связи

После определения количества и местоположения сетевых узлов, необходимо сформировать сетку линий таким образом, чтобы полученный вариант структуры удовлетворял предъявляемым требованиям.

Данное построение является задачей коммивояжера [1-3]. В общем виде задача коммивояжера носит комбинаторный характер.

Пусть  $P = 1, i_2, i_3, \dots, i_N$  – некоторая перестановка чисел  $1, 2, \dots, N$ , определяемая количеством узлов структуры сети:

$$P = \begin{pmatrix} 1 & 2 & \dots & N \\ 1 & i_2 & \dots & i_N \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Пусть известна общая матрица расстояний на сети  $L = \|l_{ij}\|$  вида  $N \times N$ .

Если в множестве  $P_N$  всех перестановок вида (1) выделить множество всех полных циклов, то задачу коммивояжера можно представить в следующем виде.

Каждой перестановке (1) сопоставим выражение (2), которое называется длиной перестановки (1):

$$C_l(p) = \sum_{i=1}^N l_{i p(i)}. \quad (2)$$

Таким образом, решение задачи коммивояжера заключается в нахождении из  $P_N$  перестановки (цикла)  $p_0$ , для которой  $C_l^*(p_0)$  минимально на множестве длин (2), вычисленных для всех полных циклов, определяемых  $C_l^*(p_0) = \arg \min_{p \in P_N} \{C_l(p)\}$ .

Задача коммивояжера является трудно решаемой задачей комбинаторной оптимизации.

Число алгоритмов решения этой задачи как точных, так и приближенных превышает несколько десятков [1-3]. Наиболее известным из существующих является алгоритм Литтла, основанный на методе ветвей и границ, обладающий практически экспоненциальной сложностью. Недостатком данного алгоритма является то, что он способен решать задачи при небольшом количестве узлов, а также относительно сложен для программной реализации.

Наиболее приемлемыми и позволяющими решать задачи с реальной размерностью сети, являются два метода:

1) метод динамического программирования для задач упорядочивания, предложенный М. Хелдом и Р. Карпом [4-6];

2) метод Р. Беллмана применительно к задаче о коммивояжере [7-9].

Данные методы были предложены независимо.

Метод Беллмана рассматривается как многошаговый процесс принятия решения. Путь является замкнутым, но начальным является узел 0. На некотором оптимальном пути узел  $i$  становится достигнутым и перед возвращением в узел 0



остается посетить  $k$  узлов  $j_1, j_2, \dots, j_k$ . В связи с тем, что путь является оптимальным, его часть, соединяющая в некотором порядке узлы  $j_1, j_2, \dots, j_k$ , должна иметь минимальную длину, в ином случае путь не был бы оптимальным. Уравнение, выражающее принцип оптимальности, представлено выражением  $f(i; j_1, j_2, \dots, j_k) = \min_{1 \leq m \leq k} \{l_{ij_m} + f(i; j_1, j_2, \dots, j_{m-1}, j_{m+1}, \dots, j_k)\}$ , рекурсивная функция:

$$f(i; j) = l_{ij} + l_{j0}, \quad (3)$$

из которой можно найти  $f(i; j_1, j_2)$ . С помощью уравнения (3) можно определить  $f(i; j_1, j_2, j_3)$  и т.д. до тех пор, пока не будет вычислено  $f(0; j_1, \dots, j_n)$ , где  $l_{ij}$  – расстояние между узлами  $i$  и  $j$ , а последовательность  $m$  дает искомый минимальный путь.

Метод Беллмана является простым для реализации и имеет небольшую вычислительную сложность при небольшом количестве узлов. При значительном увеличении количества узлов решение задачи методом Беллмана в режиме реального времени не представляется возможным вследствие экспоненциальной сложности.

Для получения варианта решения в режиме реального времени необходимо введение обязательной эвристической процедуры, которая позволила бы разбить перестановку для нахождения не всего цикла, а лишь его фрагментов. Метод Беллмана не позволяет декомпозировать задачу, так как рассматриваемый путь в задаче является замкнутым.

Метод Хелда и Карпа дает последовательность перестановок, каждая из которых получается из предыдущей путем решения некоторой подзадачи сравнительно небольшого объема с той же структурой, что и данная, т.е. с помощью метода Хелда и Карпа можно декомпозировать задачу. Сущность метода заключается в следующем.

Пусть  $S \subseteq \{2, 3, \dots, N\}$  – некоторое подмножество узлов,  $C(S, a_r)$  – путь минимальной длины для элементарной цепи, начинающийся в вершине 1, проходящий через все вершины из  $S$  и заканчивающийся в вершине  $a_r \in S$ .

Тогда:

$$(n(S) = 1): C(\{a_r\}, a_r) = l_{1a_r}, \text{ для любого } a_r, \quad (4a)$$

где: вершина  $a_m$  непосредственно предшествует  $a_r$  и все остальные вершины просматриваются в оптимальном порядке, получаем:

$$(n(S) > 1): C(S, a_r) = \min_{a_m \in S \setminus a_r} [C(S - a_r, a_m) + l_{a_m a_r}]. \quad (4б)$$

Если через  $C^*$  обозначить путь минимальной длины, включая возвращение в 1, то:

$$C^* = \min_{a_r \in \{2, 3, \dots, n\}} [C(\{2, 3, \dots, n\}, a_r) + l_{a_r 1}]. \quad (5)$$

Перестановка  $P = 1, a_2, a_3, \dots, a_n$  оптимальна тогда и только тогда, когда:

$$C^* = C(\{2, 3, \dots, n\}, a_r) + l_{a_1} \quad (6)$$

для  $2 \leq p \leq n-1$

$$C(\{2, 3, \dots, p, a_{p+1}\} + a_{p+1}) = C(\{2, 3, \dots, p\}, a_p) + l_{a_p a_{p+1}} \quad (7)$$

Для получения оптимального решения вычисления проводятся в два этапа.

На первом этапе, используя (4б), необходимо определить  $C(S, a_r)$ .  $C^*$  определяется по формуле (5).

На втором этапе для нахождения оптимальной перестановки используются выражения (6) и (7).

Данный метод позволяет находить кратчайшую цепь не на всем множестве перестановок, а лишь на его части.

Задача разбиения перестановок  $P$ , представляющая собой путь через  $N$  узлов, на  $k$  упорядоченных подмножествах, каждое из которых состоит из городов, встречающихся последовательно в соответствии с перестановкой  $P$  и сохраняющих тот же порядок, что и в  $P$ , можно представить выражением:

$$P = (1, a_2, a_3, \dots, a_n) = \bigcup_{u=1}^k S_u, \text{ где } S_u \dot{\in} \{a_2, a_3, \dots, a_r, a_{r+1}\}.$$

Затем решается задача коммивояжера для  $k$  вершин, в котором каждое упорядоченное множество рассматривается как один город, а стоимость перехода определяются в соответствии с выражением:

$$S_u(a_q, a_{q+1}, \dots, a_{m-1}, a_m) \rightarrow S_{u+1}(a_i, a_{i+1}, \dots, a_{r-1}, a_r) = l_{a_m a_r}.$$

На рис. 1 представлена процедура разбиения на подмножества и сам метод нахождения цикла Гамильтона.

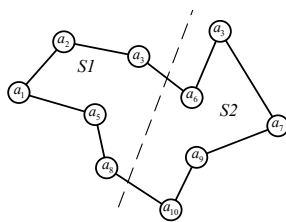


Рисунок 1

Следующий шаг формирования сетки линий – введение дополнительных ребер  $b_{pg}^* \in \{b_{kl}\}$ , где  $n^* = |\{b_{kl}\}|$  – множество всех возможных ребер. Ребра должны вводиться в соответствии с условием:

$$b_{pg}^* \Rightarrow \max_{\{b_{pg}^{(m)} \in \Gamma\}} \Delta N_{од}, p, g = \overline{1, N}, p \neq g,$$

согласно которому необходимо вводить только те ребра, которые дают максимальное количество остовных деревьев.

Процедура введения ребер продолжается до тех пор, пока ранг всех узлов не будет равен требуемому значению.

Количество ребер, которое может быть введено, определяется в соответствии с выражением:  $n^* = \lfloor \frac{Nr(a_i)}{2} \rfloor - N$ , то есть процедура введения ребер конечна.

Дополнительные ребра вводятся с использованием метода разложения графа по ребру [10-12]. Данный метод направлен на увеличение  $N_{од}$  – количества остовых деревьев и уменьшение диаметра и среднего расстояния на сети. Суть метода заключается во введении дополнительных ребер, имеющих максимальный вес в матрице весов ребер  $D$  :

$$D^{(m)} = \|\Delta N_{од}^{pg}\|,$$

$$\Delta N_{од}^{pg(m)} = \begin{cases} \Delta N_{од}^{pg}, & p, g = \overline{1, N}, p \neq g, \\ 0, & p = g, \end{cases}$$

элементы этой матрицы определяются согласно выражению:

$$\Delta N_{од}^{(m)} = N_{од}^{(m)}(\{\Gamma_i\} \cup [\{b_{kl}\}^{(m-1)} \cup b_{pg} \notin \{\Gamma_i\}]) - N_{од}^{(m-1)}(\{\Gamma_i\} \cup [\{b_{kl}\}^{(m-1)} \notin \{\Gamma_i\}]),$$

где количество остовных деревьев в топологической структуре подсистемы связи и передачи данных:  $G(A, B) = \Gamma \cup b_{kl}$ , где  $b_{kl} \notin \Gamma$ .

На рис. 2 представлен пример введения дополнительных ребер.

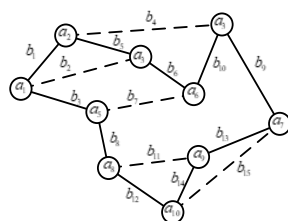


Рисунок 2

После введения дополнительных ребер производится трансформация сети [13-15] с целью увеличения ранга минимальных сечений и выравнивания основной системы сечений.

Для этого необходимо найти в графе сечение минимального ранга:

$$G(A, B_e, \bar{A}), B_e = \min_{\sigma_{ij}^e} \{b_{ij}\} = \sigma_{ij}^{\min},$$

разбить граф на множества  $A$  и  $\bar{A} = G_{s-1} : [A, \bar{A}]$ , менять ребра «крест на крест», при этом брать их из каждой вершины попарно:

$$\begin{cases} b_a = (a, a'); \\ b_{\bar{a}} = (\bar{a}, \bar{a}'), a, a' \in A; \\ \bar{a}, \bar{a}' \in A, b_a, b_{\bar{a}} \in \Gamma_i; \\ G_s = G_{s-1} \cup \{b_c, b_d\} \setminus \{b_a, b_{\bar{a}}\}; \\ b_c = (a, \bar{a}'), b_d = (a', \bar{a}), \end{cases}$$

до тех пор, пока не будет получена структура с выровненными сечениями и пересекающимися множествами на всей сети, ранг которых будет равен или отличаться на единицу  $r(\sigma_1) \approx r(\sigma_2) \approx \dots \approx r(\sigma_n)$ .

Осуществим трансформацию сети на примере, представленном на рис. 2 «Процесс введения дополнительных ребер».

Разобьем узлы на два подмножества сечением  $\sigma_{\min} = \{b_8, b_9\}$   $A = \{a_1, \dots, a_6\}$  и  $\bar{A} = \{a_7, \dots, a_{10}\}$ .

Выберем произвольное ребро в сечении  $[A, \bar{A}]$ , например  $b(a_5, a_8)$ . Существует по крайней мере два ребра, соединяющих узел  $a_5$  с остальными узлами в  $A$ . Из этих узлов один  $a_1$  не смежен с узлами в  $\bar{A}$ . Подобно этому, в  $\bar{A}$  существует хотя бы один узел, например  $a_9$ , смежный с узлом  $a_8$ , но не смежный ни с одним узлом в  $A$ . Трансформация состоит в удалении  $b(a_5, a_1)$  и  $b(a_8, a_9)$  из  $G$  и добавления  $b(a_1, a_8)$  и  $b(a_5, a_9)$ , как показано на рис. 3, где раскрыт процесс трансформации сети (пример 1).

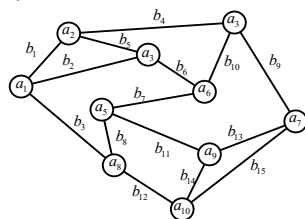


Рисунок 3

Таким образом, трансформация не влияет на ранг узлов, однако позволяет уменьшить число сечений минимального ранга.

Реализуя дальнейшую трансформацию сети, должны получить сечения с одинаковым рангом или отличным на единицу.

Найдем минимальное сечение в графе (рис. 3)  $\sigma_{\min} = \{b_3, b_7, b_9\}$ . Определим узлы из подмножеств, не инцидентных узлам подмножеств  $a_3$  и  $a_9$ , с соответствующими ребрами  $b(a_3, a_6)$  и  $b(a_5, a_9)$ . Произведем трансформацию, результаты которой представлены на рис. 4, где раскрыт процесс трансформации сети (пример 2).

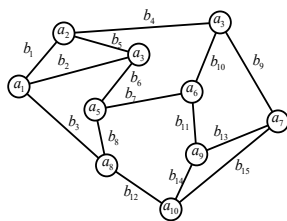


Рисунок 4

Рассмотрим следующее минимальное сечение  $\sigma_{\min} = \{b_4, b_7, b_{12}\}$ . Узлы  $a_8$  и  $a_7$  с ребрами  $b(a_5, a_8)$  и  $b(a_7, a_9)$ . Трансформация представлена на рис. 5, где представлен процесс трансформации сети (пример 3).

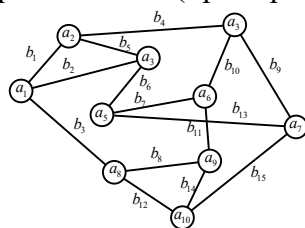


Рисунок 5

Если дальше производить трансформацию сети, то можно получить граф  $G'(A, B')$ , представленный на рис. 6, рассматриваемый как вариант топологической структуры. По сравнению с первоначальным вариантом  $G(A, B)$  (рис. 3), в данном графе сечения выровнены и имеют более высокий ранг, в соответствии с условием.

В итоге получена топологическая структура (рис. 6), обладающая рядом характеристик, имеющих экстремальные значения: максимальное количество остовых деревьев; минимальный диаметр и среднее расстояние; требуемая узловая и вершинная связности; мощности сечений основной системы, которые максимизированы и выровнены; сетевые узлы, расположенные на необходимом расстоянии или близком к нему; требуемый ранг вершин.

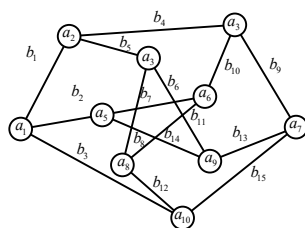


Рисунок 6

Оптимальные значения указанных теоретико-графовых характеристик достигаются именно на неиерархических квазиоднородных структурах при рациональном расходе ресурса сил и средств на развертывание сети связи.

### Заключение

В статье представлена методика формирования сетки линий сети связи, позволяющая получить структуру сети с повышенной надежностью и производительностью.

### Литература

1. Меламед И.И., Сергеев С.И., Сигал И.Х. Задача коммивояжера. Точные алгоритмы // Автоматика и телемеханика, 1989. – № 10. – С. 3-29.
2. Панюков А.В., Леонова Ю.Ф. Алгоритм соединения циклов для метрической задачи коммивояжера на максимум // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Вычислительная математика и информатика, 2021. – № 4. – С. 26-36.

3. Борисова Е.С., Мельников Б.Ф. Аппроксимационные алгоритмы и псевдометрический вариант задачи коммивояжера // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико-математические науки, 2009. – № 3. – С. 96-100.
4. Хелд М., Карп Р.М. Применение динамического программирования к задачам упорядочивания // Кибернетический сборник, 1964. – № 9. – С. 182-218.
5. Сесекин А.Н., Ченцов А.А., Ченцов А.Г. Задачи маршрутизации перемещений. Учебное пособие для вузов. – СПб.: М.: Краснодар.: Изд-во Лань, 2022. – 240 с.
6. Саттон Р.С., Барто Э. Дж. Обучение с подкреплением: введение. – М.: Изд-во ДМК Пресс, 2020. – 552 с.
7. Беллман Р. Применение динамического программирования к задаче о коммивояжере // Кибернетический сборник, 1964. – № 9. – С. 219-222.
8. Окулов С.М., Пестов О.А. Динамическое программирование. – М.: Изд-во «Лаборатория знаний», 2020. – 299 с.
9. Ченцов А.Г. Задача маршрутизации «На узкие места» с системой первоочередных заданий // Известия Института математики и информатики Удмуртского государственного университета, 2023. – № 1 (61). – С. 156-186.
10. Фрэнк Г., Фриш И. Сети, связь и потоки. – М.: Изд-во Связь, 1978. – 448 с.
11. Велигоша А.В. Общая теория связи: учебное пособие. – Ставрополь.: Изд-во СКФУ, 2014. – 240 с.
12. Берлин А.Н. Высокоскоростные сети связи: учебное пособие. – М.: Изд-во ИНТУИТ, 2016. – 451 с.
13. Давыдов Г.Б. Сети электросвязи. – М.: Изд-во «Связь», 1977. – 360 с.
14. Цветков Ф.А. Программно-конфигурируемые радиоустройства: принципы построения и алгоритмы обработки сигналов: учебное пособие. – Ростов-на-Дону.: Изд-во ЮФУ, 2020. – 163 с.
15. Гольдштейн Б.С., Елагин В.С., Зарубин А.А., Селиванов А.Е. Программно-конфигурируемые сети SDN. Протокол OPENFLOW: учебное пособие. – Санкт-Петербург.: Изд-во СПбГУТ им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, 2018. – 47 с.

## **МЕТОДИКА НАХОЖДЕНИЯ МЕСТОРАСПОЛОЖЕНИЯ КОНТРОЛЛЕРА НА ПРОГРАММНО-КОНФИГУРИРУЕМОЙ СЕТИ**

**С.А. Шинкарев**, к.т.н., доцент, Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного, [se\\_ten82@mail.ru](mailto:se_ten82@mail.ru);

**Н.В. Евглевская**, к.т.н., Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного, [n.evglevskaya@gmail.com](mailto:n.evglevskaya@gmail.com);

**П.Н. Антонов**, Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного, [talou-ozr@mail.ru.a](mailto:talou-ozr@mail.ru.a);

**Т.Р. Магдеев**, Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного, [timazel@mail.ru](mailto:timazel@mail.ru);

### **УДК 004.716**

**Аннотация.** В связи с ростом объема трафика традиционный подход к построению сетей перестал удовлетворять стремительно растущим требованиям бизнеса к сетевым средам. В статье предложена методика и алгоритм нахождения оптимального месторасположения контроллера на заданной сети связи.

**Ключевые слова:** программно-конфигурируемая сеть; алгоритм; граф; функция; вершина.

## METHODS OF CONTROLLER POSITION-FINDING ON A SOFTWARE-DEFINED NETWORKING

*Semen Shinkarev, candidate of Engineering, assistant professor, The Military Academy of Telecommunications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny;*

*Natalya Evglevskaya, candidate of Engineering, The Military Academy of Telecommunications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny;*

*Pavel Antonov, The Military Academy of Telecommunications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny;*

*Timur Magdeev, The Military Academy of Telecommunications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny.*

**Annotation.** Due to traffic volume growth, the traditional approach of network design has ceased to meet the rapidly growing requirements of business for network environments. The article proposes a methods and algorithm for optimal controller position-finding on a given communication network.

**Keywords:** software-defined networking; algorithm; graph; function; node.

---

### Введение

Математическая структура задачи размещения обуславливается конфигурацией области допустимых точек и методом оценки качества размещения. В данной статье ограничимся рассмотрением только таких задач размещения, в которых областью допустимых точек размещения центров обслуживания является некоторый граф, т.е. эти центры могут располагаться в какой-либо вершине или на какой-либо дуге графа [1-3].

### Методика выбора места для размещения контроллера

Для начала дадим некоторые определения, необходимые для описания точек на дугах и различных расстояний в графе.

Множество вершин в графе  $G$  содержит вершины с номерами от 1 до  $n$ . Рассмотрим произвольную дугу  $(i, j)$ , длина которой равна  $a(i, j) > 0$ . Пусть  $f$  обозначает точку на дуге  $(i, j)$ , которая для всех  $0 \leq f \leq 1$  отстоит на  $fa(i, j)$  единиц от вершины  $i$  и на  $(1 - f)a(i, j)$  единиц от вершины  $j$ . Назовем ее  $f$ -точкой. Таким образом, четверть-точкой дуги  $(i, j)$  является точка, отстоящая от вершины  $i$  на  $1/4$  длины дуги  $(i, j)$ .

Ноль-точка дуги  $(i, j)$  является вершиной  $i$ , а единичная точка дуги  $(i, j)$  – вершиной  $j$ . Следовательно, вершины графа могут рассматриваться как точки дуг. Точки дуг, которые не являются вершинами, называются внутренними точками. Любая точка дуги является либо внутренней точкой, либо вершиной. Обозначим через  $X$  множество вершин графа, а через  $P$  – множество всех точек. Таким образом,  $P - X$  является множеством всех внутренних точек.

Пусть  $l(i, j)$  обозначает длину кратчайшего пути из вершины  $i$  в вершину  $j$ . Тогда через  $L$  обозначается матрица, размером  $n \times n$ , в которой элементом  $(i, j)$  является  $l(i, j)$ , эти элементы называются расстояниями вершина-вершина. Для вычисления элементов матрицы  $L$  может быть использован алгоритм Флойда или алгоритм Данцига. Пусть через  $l(f - (r, s), j)$  обозначена длина кратчайшего пути от  $f$ -точки на дуге  $(r, s)$  до вершины  $j$ , данная величина называется расстоянием точка-вершина. Если дуга  $(r, s)$  неориентированная, т.е., допустим ее обход в обоих

направлениях, то в качестве  $l(f - (r, s), j)$  должно быть выбрано наименьшее из следующих двух расстояний:

1. Расстояние от точки до вершины  $r$  плюс расстояние от вершины  $r$  до вершины  $j$ .
2. Расстояние от  $f$ -точки до вершины  $s$  плюс расстояние от вершины  $s$  до вершины  $j$ .

Таким образом:

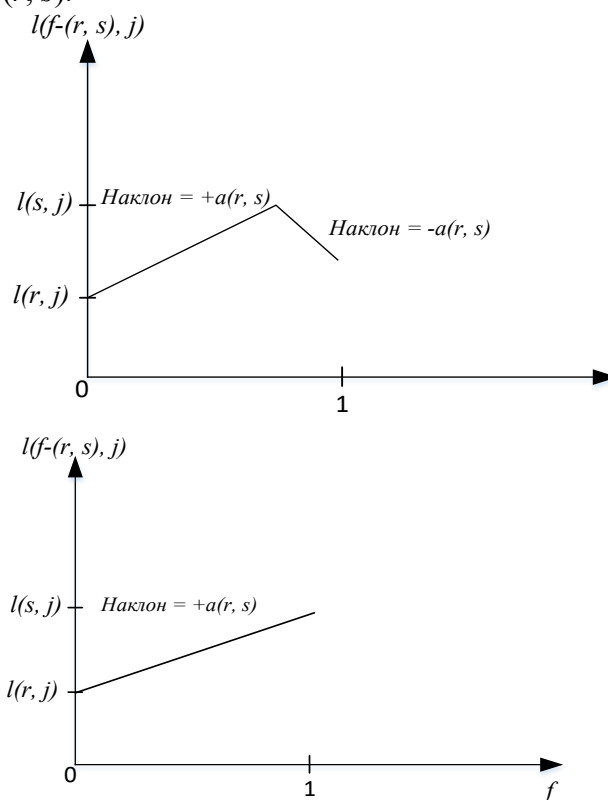
$$l(f - (r, s), j) = \min \{fa(r, s) + l(r, j), (1 - f)a(i, j) + l(s, j)\}. \quad (1)$$

Если дуга  $(r, s)$  ориентированная, т. е. ее обход допустим только из  $r$  в  $s$ , то первый член в формуле (1) может быть исключен.

Тогда получаем:

$$l(f - (r, s), j) = (1 - f)a(i, j) + l(s, j). \quad (2)$$

Для заданной дуги  $(r, s)$  и вершины  $j$  расстояние точка-вершина, как функция от  $f$ , на графике должна иметь один из трех типов зависимостей, показанных на рис. 1, где представлены графики функций, характеризующих расстояние точка-вершина. Отметим, что угол наклона этой кусочно-линейной кривой равен  $+a(r, s)$  или  $-a(r, s)$  и его величина может измениться не более одного раза от  $+a(r, s)$  до  $-a(r, s)$ .





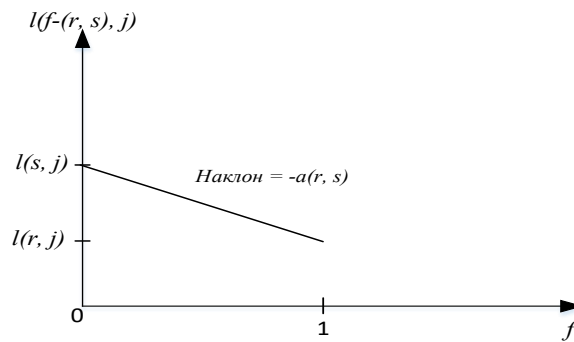


Рисунок 1

Рассмотрим наименьшее расстояние от вершины  $j$  до каждой точки на дуге  $(r, s)$ . Для некоторой точки на дуге  $(r, s)$  это расстояние принимает максимальное значение. Это расстояние обозначается через  $l(j, (r, s))$  и называется расстоянием вершина-дуга. Если дуга  $(r, s)$  неориентированная, то имеются два маршрута движения из вершины  $j$  в  $f$ -точку на дуге  $(r, s)$ : через вершину  $r$  или вершину  $s$ . Выбирается кратчайший путь из этих двух маршрутов. Если эти два маршрута из вершины  $j$  в  $f$ -точку на дуге  $(r, s)$  имеют различную протяженность, то некоторые точки, соседние с  $f$ -точкой на дуге  $(r, s)$ , находятся еще дальше от вершины  $j$ . Например, на рис. 2, где приведен пример графа четверть-точка на дуге  $(3, 4)$ ,  $f$ -точка отдалена от вершины 6 на 1,25 единицы, если двигаться через вершину 3, и на 2,75 единицы, если двигаться через вершину 4. Если  $f$  возрастает с 0,25 до 0,26, то наименьшее расстояние от вершины 2 до значения 0,26 на дуге  $(3, 4)$  равно  $\min\{1,26; 2; 74\} = 1,26$ .

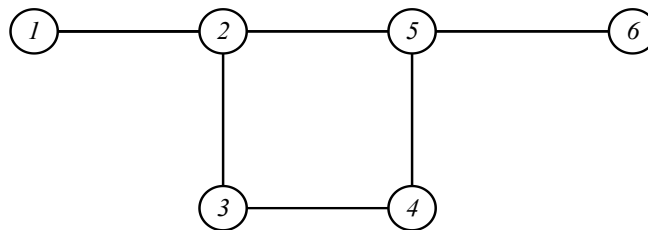


Рисунок 2

Поэтому два расстояния от вершины  $j$  до некоторой точки на дуге равны между собой, если эта точка является наиболее удаленной от вершины  $j$ .

Следует заметить, что сумма этих расстояний всегда равна:

$$l(j, r) + fa(r, s) + l(j, s) + (1 - f)a(r, s) = l(j, r) + l(j, s) + a(r, s).$$

Следовательно:

$$l(j, (r, s)) = \frac{l(j, r) + l(j, s) + a(r, s)}{2}. \quad (3)$$

С другой стороны, если дуга  $(r, s)$  ориентированная, то некоторая точка на дуге  $(r, s)$  может быть достигнута только через вершину  $r$ . Таким образом, наиболее удаленной от любой вершины графа точкой на дуге  $(r, s)$  является точка, которая находится ближе всего к вершине  $s$ . В таком случае:

$$\Gamma(j, (r, s)) = d(j, r) + a(r, s). \quad (4)$$

Пусть в графе имеется  $m$  дуг. Обозначим через  $L$  матрицу размерности  $n \times m$ , у которой элемент, стоящий на пересечении  $i$ -й строки и  $k$ -го столбца, является расстоянием вершина-дуга от  $j$ -й вершины до  $k$ -й дуги. При этом значения элементов матрицы  $L$  вычисляются с помощью равенств (3) и (4) при известных расстояниях вершина-вершина, задаваемых матрицей  $L$ , и длинах дуг графа.

Пусть  $l(f - (r, s), (t, u))$  обозначает максимальное расстояние от  $f$ -точки на дуге  $(r, s)$  до точек на дуге  $(t, u)$ . Такое расстояние называется расстоянием точка-дуга.

Если дуга  $(r, s)$  неориентированная и если  $(r, s) \neq (t, u)$ , то маршрут от  $f$ -точки на дуге  $(r, s)$  до наиболее отдаленной точки на дуге  $(t, u)$  должен проходить либо через вершину  $r$ , либо через вершину  $s$ . Отсюда следует:

$$l(f - (r, s), (t, u)) = \min \{fa(r, s) + \Gamma(r, (t, u)), (1 - f)a(r, s) + \Gamma(s, (t, u))\}. \quad (5)$$

Если же дуга  $(r, s)$  ориентированная и  $(r, s) \neq (t, u)$ , то первый член в формуле (5) может быть исключен. Тогда получаем равенство:

$$l(f - (r, s), (t, u)) = (1 - f)a(r, s) + \Gamma(s, (t, u)). \quad (6)$$

Если  $(r, s) = (t, u)$  ориентированная, то наиболее удаленная точка на дуге  $(r, s)$  от  $f$ -точки на  $(r, s)$  является  $g$ -точкой, где  $g$  стремится к  $f$  со стороны значений, меньших, чем  $f$ . В этом случае:

$$l(f - (r, s), (r, s)) = 1 - fa(r, s) + l(s, r). \quad (7)$$

Если же  $(r, s) = (t, u)$  и дуга  $(r, s)$  неориентированная, то максимальное расстояние от  $f$ -точки на дуге  $(r, s)$  до  $g$ -точки на дуге  $(r, s)$ , в случае, когда  $g < f$ , не превышает:

$$A \equiv \min \{fa(r, s), \frac{1}{2}[a(r, s) + l(s, r)]\}. \quad (8)$$

Первый член в выражении (8) равен длине маршрута от  $f$ -точки до  $g$ -точки в пределах дуги  $(r, s)$ , второй член равен длине маршрута от  $f$ -точки на дуге  $(r, s)$  до  $g$ -точки на дуге  $(r, s)$ , проходящего через вершину  $s$ .

Аналогично, в случае, когда  $g > f$ , максимальное расстояние от  $f$ -точки на дуге  $(r, s)$  до  $g$ -точки на дуге  $(r, s)$  не превышает  $(r, s)$ :

$$B \equiv \min \{(1 - f)a(r, s), \frac{1}{2}[a(r, s) + l(r, s)]\}. \quad (9)$$

Первый член в выражении (9) для  $B$  равен длине маршрута от  $f$ -точки до  $g$ -точки в пределах дуги  $(r, s)$ , а второй член равен длине маршрута от  $f$ -точки на дуге  $(r, s)$  до  $g$ -точки на дуге  $(r, s)$ , который проходит через вершину  $r$ .

Следовательно, если дуга  $(r, s)$  неориентированная, то  $l(f - (r, s), (r, s)) = \max \{A, B\}$ , что равнозначно:

$$l(f - (r, s), (r, s)) = \max \left\{ \begin{array}{l} \min \{fa(r, s), \frac{1}{2}[a(r, s) + l(s, r)]\}, \\ \min \{(1 - f)a(r, s), \frac{1}{2}[a(r, s) + l(r, s)]\} \end{array} \right\}. \quad (10)$$

Если изобразить расстояние  $l(f - (r, s), (t, u))$  точка-дуга как функцию  $f$  для всех  $(r, s) \neq (t, u)$ , то соответствующая кривая на графике будет иметь такой же вид, что и кривая расстояний точка-вершина, показанная на рис. 3 в виде графика функции, характеризующей расстояние точка-дуга  $l(f - (r, s), (t, u))$ , потому что уравнения (5) и (6) имеют соответственно тот же вид, что и уравнения (1) и (2). Отличаться они будут только постоянными величинами. С другой стороны, если  $l(f - (r, s), (r, s))$  для любой неориентированной дуги  $(r, s)$  представить как функцию от  $f$ , то кривая функции будет иметь вид, представленный на рис. 3. Это следует из уравнения (10).

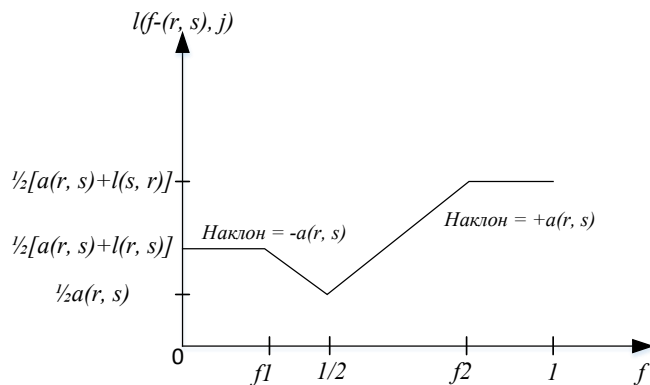


Рисунок 3

Таким образом, представленные определения можно записать в форме табл.

1.

Таблица 1.

Обозначение	Наименование	Способ определения
$a(i, j)$	Длина дуги	Задана
$l(i, j)$	Расстояние вершина-вершина	Алгоритм Флойда или Данцига
$l(f - (r, s), j)$	Расстояние точка-вершина	Уравнения (1), (2)
$l(f - (r, s))$	Расстояние вершина-дуга	Уравнения (3), (4)
$l(f - (r, s), (t, u))$	Расстояние дуга-дуга	Уравнения (5), (6), (7), (10)

Пусть:

$$MBV(i) = \max\{l(i, j)\} \quad (11)$$

– максимальное расстояние от вершины  $i$  до вершин графа, т.е. расстояние от вершины  $i$  до наиболее отдаленной вершины графа. Тогда:

$$CBV(i) = \sum_j l(i, j) \quad (12)$$

– сумма расстояний от вершины  $i$  до всех вершин графа.

Пусть:

$$MTV(j - (r, s)) = \max\{l(f - (r, s), j)\} \quad (13)$$

– максимальное расстояние от  $f$ -точки на дуге  $(r, s)$  до вершин графа, т.е. расстояние от  $f$ -точки на дуге  $(r, s)$  до наиболее отдаленной вершины графа.

Тогда:

$$\text{СТВ}(j - (r, s)) = \sum_j l(f - (r, s), f) \quad (14)$$

– сумма расстояний от  $f$ -точки на дуге  $(r, s)$  до всех вершин графа.

Введя определения этих расстояний, их максимумов и сумм, мы готовы к тому, чтобы дать строгие определения для рассматриваемых далее различных типов размещений.

1. Центром графа  $G$  является любая вершина  $x$  этого графа, такая, что:

$$\text{МВВ}(x) = \min\{\text{МВВ}(i)\}. \quad (15)$$

Таким образом, центр – это любая вершина, от которой расстояние до наиболее удаленной от нее вершины минимально.

2. Главным центром графа  $G$  является любая вершина  $x$  этого графа, такая, что:

$$\text{МВД}(x) = \min\{\text{МВД}(i)\}, \quad (16)$$

т.е. главный центр – это любая вершина, расстояние от которой до наиболее удаленной точки на дугах графа минимально.

3. Абсолютным центром графа  $G$  является любая  $f$ -точка на произвольной дуге  $(r, s)$  этого графа, такая, что:

$$\text{МТВ}(f - (r, s)) = \min\{\text{МТВ}(f - (t, u))\}, \quad (17)$$

т.е. абсолютный центр – это любая точка на дуге, расстояние от которой до наиболее удаленной вершины графа минимально.

4. Главным абсолютным центром графа  $G$  является  $f$ -точка на произвольной дуге  $(r, s)$  этого графа, такая, что:

$$\text{МТД}(f - (r, s)) = \min\{\text{МТД}(f - (t, u))\}. \quad (18)$$

Таким образом, главный абсолютный центр – это любая точка, расстояние от которой до наиболее удаленной точки минимально.

Определения типов размещений (15-18) совершенно аналогичны определениям соответствующих предыдущих типов размещений, за исключением того, что везде оператор максимизации [т.е.  $\text{МВВ}(i)$ ,  $\text{МВД}(i)$ ,  $\text{МТВ}(f - (i, u))$ ,  $\text{МТД}(f - (t, u))$ ] заменяется оператором суммирования [т.е.  $\text{СВВ}(i)$ ,  $\text{СВД}(i)$ ,  $\text{СТВ}(f - (i, u))$ ,  $\text{СТД}(f - (t, u))$ ].

Для последующего решения задачи введем следующие понятия [4, 5]:

- Эксцентриситет  $e(a_i)$  вершины в связном графе  $G(A, B)$  определяется как  $\max\{l(a_i, a_j)\}$ .
- Радиусом графа  $r(G)$  называется наименьший из эксцентриситетов вершин.
- Вершина  $(a_i)$  – центральная вершина графа, при условии, что  $e(a_i) = r(G)$ ,  $a_i \in A$ .
- Центр графа – это множество центральных вершин.

Введем множество  $N_\lambda^0(a_i) = \{a_i | l_{ij} \leq \lambda, a_i \in A\}$  – множество всех вершин, расстояние до которых от  $a_i$  не больше  $\lambda$ . Определим  $C_0(a_i) = \max(l_{ij})$ ,  $a_i \in A$  для каждой вершины. Пусть  $\lambda_0$  – наименьшее значение  $\lambda$  такое, что для некоторой

вершины  $a_i: N_{\lambda}^0(a_i) = A$ , т.е. длина пути от  $a_i$  до любой вершины графа не превосходит  $\lambda_0$ . Тогда  $C_0(a_i) = \lambda_0$ . Вершина  $a_0^*$  такая, что  $C_0(a_i^*) = \min[N_0(a_i)]$ ,  $a_i^* \in A$ , называется центром графа  $G(A, B)$  [6-8].

*Алгоритм поиска.* Построим матрицу  $L_{n \times n}$  ( $n$  – мощность множества  $A$ ), где  $l_{ij} = l(i, j)$  – матрица кратчайших путей. Для построения данной матрицы можно воспользоваться любым из приведенных выше алгоритмов. При расчете максимума в каждой строчке получим массив длины  $n$ , где  $i$ -й элемент – минимальная длина от  $i$ -й вершины до остальных. Найдем наименьший элемент в этом массиве. Вершина, которая соответствует этому элементу, и будет центром графа. Если таких вершин несколько, то все они могут являться центром графа.

### Пример нахождения центра взвешенного неориентированного графа

Пусть имеется взвешенный неориентированный граф  $G(A, B)$ ;  $A = \overline{1, 7}$ ;  $B = \{b_{ij}\}; i, j = \overline{1, 7}$ , представленный на рис. 4.

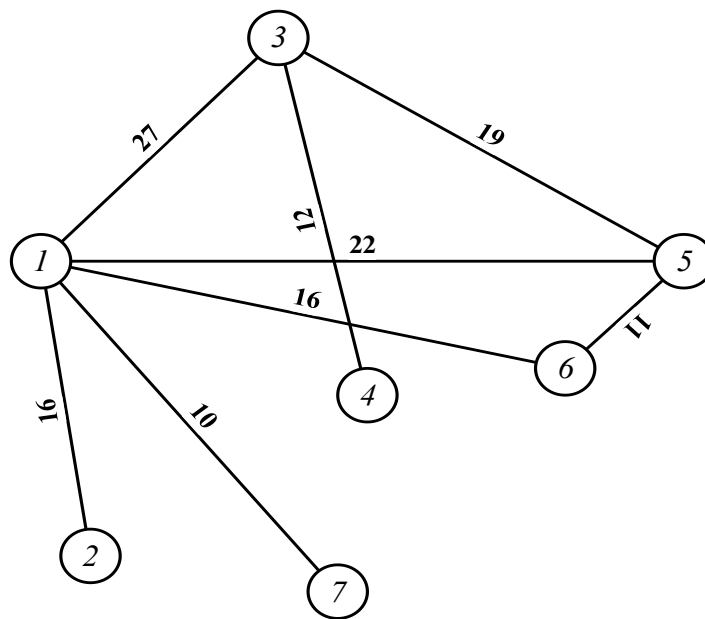


Рисунок 4

Составим матрицу длин кратчайших дуг между каждой парой вершин –  $L^0$ . Если дуги между вершинами  $i$  и  $j$  не существует, элементу  $l(i, j)$  матрицы присваивается значение 0.

$$L^0 = \begin{pmatrix} 0 & 16 & 27 & 0 & 22 & 16 & 10 \\ 16 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 27 & 0 & 0 & 12 & 19 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 12 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 22 & 0 & 19 & 0 & 0 & 11 & 0 \\ 16 & 0 & 0 & 0 & 11 & 0 & 0 \\ 10 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

С помощью алгоритма Флойда-Уоршелла получаем матрицу длин кратчайших путей между каждой парой вершин графа [6, 7]:

$$L = \begin{pmatrix} 0 & 16 & 27 & 39 & 22 & 16 & 10 \\ 16 & 0 & 43 & 55 & 38 & 32 & 26 \\ 27 & 43 & 0 & 12 & 19 & 30 & 37 \\ 39 & 55 & 12 & 0 & 31 & 42 & 49 \\ 22 & 38 & 19 & 31 & 0 & 11 & 32 \\ 16 & 32 & 30 & 42 & 11 & 0 & 26 \\ 10 & 26 & 37 & 49 & 32 & 26 & 0 \end{pmatrix}.$$

Основываясь на полученной матрице, найдем эксцентриситет для каждой вершины графа:  $e(a_i) = \max\{l(a_i, a_j)\}$ :

$$e(a_1) = 39;$$

$$e(a_2) = 55;$$

$$e(a_3) = 43;$$

$$e(a_4) = 55;$$

$$e(a_5) = 38;$$

$$e(a_6) = 42;$$

$$e(a_7) = 49.$$

Центром графа является такая вершина  $A$ , для которой  $e(a_i) = r(G)$ ,  $a_i \in A$ . Минимальным значением радиуса обладает вершина  $5-e(a_5) = 38$ , следовательно, вершина 5 является центром графа.

#### **Алгоритм размещения пунктов управления с учетом физико-географических условий**

Определению узловой основы посвящено достаточно большое количество работ. Решение такой задачи основывается на определении множества узлов  $A$ , исходя из выполнения необходимого ресурса сети по качеству каналов. При формировании узловой основы, помимо нахождения количества узлов и выполнения требований по качеству каналов, необходимо решить задачу взаимного размещения узлов в районе [8-10].

Узловая основа представляет собой множество  $|A| = N$ , где  $A = \{a_i\}$ ,  $\{x_i, y_i\}$ ,  $i = \overline{1, N}$  – совокупность узлов связи (УС), а  $\{x, y\}$  – географические координаты узлов связи. На момент определения месторасположения контроллера на сети местоположение УС  $A$  будет определено. Постановку задачи (формирования узловой основы) можно записать так:  $R_V = \sum_{i=1}^N a_i \rightarrow \min$ .

В общем виде выполнение требований по качеству можно представить, как задачу образования каналов заданного качества, которая состоит: 1) в определении пути заданного ранга, 2) выбора на сети необходимого маршрута. Ранг канала определяет время задержки цифрового сигнала и допустимую величину фазовых дрожаний. Из теории сетей и систем передачи известно, что для рационального использования энергетики линии, протяженности простых каналов на пути должны быть одинаковыми:

$$l(a_1; a_2) \approx l(a_2; a_5) \approx \dots \approx l(a_r; a_k) \approx \dots \approx l(a_g; a_i) \approx \dots \approx l(a_i; a_j) \approx R_0,$$

где:  $R_0$  – рациональное расстояние между соседними узлами сети.

Рациональное расстояние между соседними узлами сети  $R_0$  определяется, исходя из максимальной протяженности составного канала связи  $l_{max}$  и ранга этого

канала  $n$ , а также исходя из наиболее жестких требований по виду связи, предъявляемых к параметрам цифрового канала (ЦК):

$$R_0 = f(j_{ВХ1}, j_{ВХ}^{TP}, l_{max}, n). \quad (19)$$

Одно из решений – покрытие территории оперативного района окружностями радиусом  $r = R_0/2$ , где координаты центра окружности укажут на возможное расположение узла транспортной сети для выполнения необходимых требований по качеству ЦК.

Для выбора варианта покрытия необходимо решить задачу геометрической оптимизации [11], в которой требуется найти эффективность упаковки на плоскости окружностями заданного радиуса.

Рассмотрим задачу упаковки равных кругов радиусом  $r = 1/2$  на плоскости таким образом, что каждый круг касается шести других кругов (рис. 5 – Покрытие плоскости окружностями с помощью треугольника). Каждый такой круг можно рассматривать как круг, вписанный в правильный шестиугольник с тем же центром; эти шестиугольники заполняют плоскость. Эффективность  $\Phi_l$  получается путем сравнения площади правильного треугольника, вершинами которого служат центры трех смежных кругов, с площадями секторов трех кругов, содержащихся внутри треугольника. Эффективность такой упаковки равна:

$$\Phi_l = \frac{3\pi(\frac{1}{2})^2/6}{\sqrt{3}/4} = \frac{\pi}{\sqrt{12}} \approx 0,9069.$$

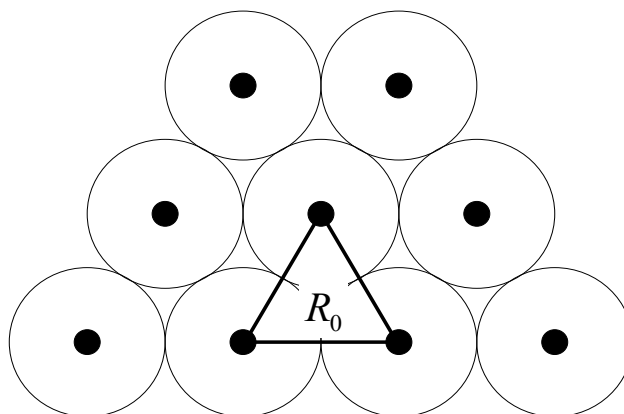


Рисунок 5

Особенностью задачи формирования узловой основы является наличие ограничений, таких как, физико-географические условия района и условия оперативной обстановки на введение учреждений телефонных сетей (УТС).

$$\mathfrak{R}: F(a, b), g_k(\bar{a}) \leq 0, k = \overline{1, h}, \quad (20)$$

где:  $a$  и  $b$  – ширина и глубина оперативного района, а  $g_k(\bar{a}) \leq 0$  – ограничения на введение УТС, определяемые физико-географическими особенностями оперативного района.

Если при первоначальном варианте взаимного размещения УС координаты вводимого узла попали в область ограничений, то данная точка выводится на

границу ограничений. Эта задача решается методом проекции градиентов, где целевая функция и ограничения нелинейные [12-15].

Алгоритм формирования узловой основы представлен на рис. 6 в виде блок-схемы алгоритма формирования узловой основы.

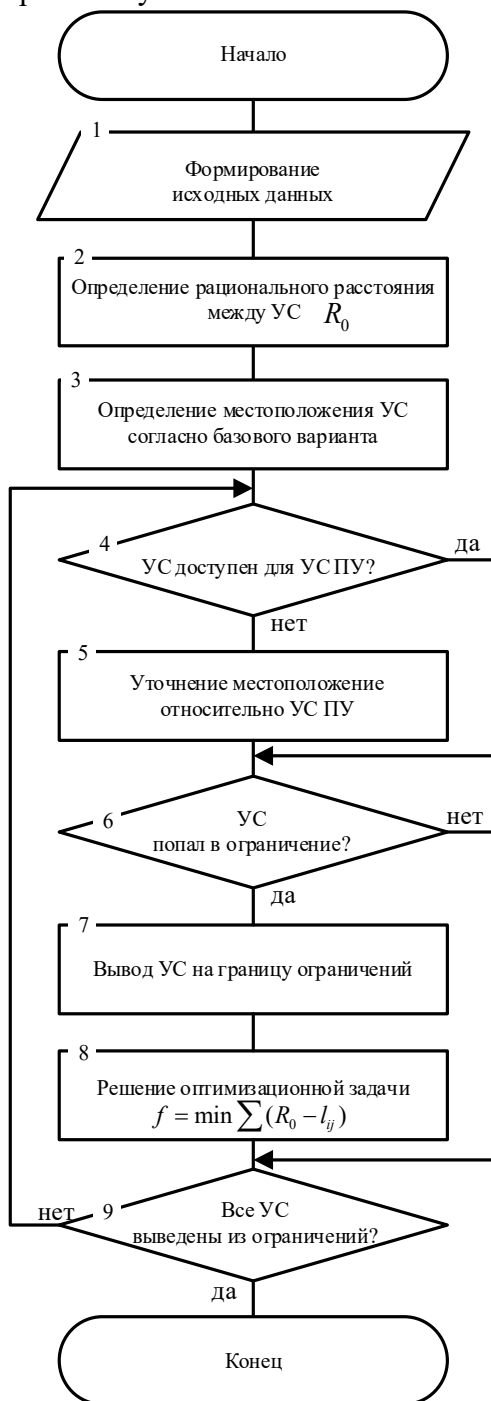


Рисунок 6

Данный алгоритм описан в два этапа. На первом этапе формируется базовое решение (2 и 3 блок алгоритма), решение основано на использовании методов геометрической оптимизации и состоит из покрытия оперативного района кругами радиусом  $R_0/2$ , где  $R_0$  – рациональное расстояние между УС.

Далее производится оценка варианта по доступности УС пункта управления



(ПУ) к УС и ограничениям на введения УС, т.е. выполнение условия – если протяженность линий привязки УС ПУ не позволяет привязаться к УС, то уточняется местоположение. При попадании УС при базовом варианте необходимо найти оптимальное местоположение относительно ограничений. Определение местоположения УС относительно других УС и УС ПУ осуществляется при помощи модифицированного алгоритма Розена (блок 7, 8 алгоритма).

### **Заключение**

Для построения сети связи как программно-конфигурируемой сети, необходимо решение ряда задач, одной из которых является нахождение месторасположения контроллера на сети. В статье рассмотрена методика нахождения оптимального месторасположения контроллера на программно-конфигурируемой сети и алгоритм формирования узловой основы.

### **Литература**

1. Майника Э. Алгоритмы оптимизации на сетях и графах: Пер. с англ. – М.: Изд-во Мир, 1981. – 323 с.
2. Чунаев П.В., Боченина К.О. Анализ и разработка алгоритмов: учебно-методическое пособие. – СПб.: Изд-во Университет ИТМО, 2020. – 33 с.
3. Попков Г.В., Попков В.К., Величко В.В. Математические основы моделирования сетей связи. Учебное пособие для вузов. – М.: Изд-во Горячая линия. Телеком, 2014. – 183 с.
4. Татт У. Теория графов: Пер. с англ. – М.: Изд-во Мир, 1988. – 424 с.
5. Берж К. Теория графов и ее применения. Пер. с фр. / Под ред. Вайнштейна И.А. – М.: Изд-во ИЛ, 1962. – 319 с.
6. Ерусалимский Я.М. Дискретная математика. Теория и практикум: учебник для вузов. – СПб.: Изд-во Лань, 2023. – 476 с.
7. Рыбин С.В. Дискретная математика и информатика: учебник для вузов. – СПб.: Изд-во Лань, 2022. – 748 с.
8. Микони С.В. Дискретная математика для бакалавра: множества, отношения, функции, графы: учебное пособие. – СПб.: Изд-во Лань, 2022. – 192 с.
9. Горбач А.Н., Муравцов А.А. Совершенствование алгоритма построения узловой основы аналогово-цифровой первичной сети связи объединения // Материалы XXXI военно-научной конференции. – Тверь.: Изд-во ВУПВО, 2002. – С. 56-58.
10. Ясинский С.А. Унифицированные математические модели для анализа и синтеза элементов телекоммуникационных сетей. – СПб.: Изд-во ВАС, 2003. – 183 с.
11. Саати Т. Целочисленные методы оптимизации и связанные с ними экстремальные проблемы. – М.: Изд-во Мир, 1973. – 304 с.
12. Базара М., Шетти К. Нелинейное программирование. Теория и алгоритмы. – М.: Изд-во Мир, 1982. – 583 с.
13. Яковлев С.В. Теория систем и системный анализ. Учебное пособие для вузов. – М.: Изд-во Горячая линия. Телеком, 2015. – 320 с.
14. Соловьев Н.А., Чернопрудова Е.Н., Тишина Н.А., Валеев А.Ф. Исследование операций в задачах программной инженерии. Учебное пособие. – СПб.: Изд-во Лань, 2022. – 164 с.
15. Богданова Е.Л., Соловейчик К.А., Аркина К.Г. Оптимизация в проектном менеджменте: линейное программирование. Учебное пособие. – СПб.: Изд-во Университет ИТМО, 2017. – 165 с.

## ИЗУЧЕНИЕ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ С ПОМОЩЬЮ СЕТЕВЫХ СИМУЛЯТОРОВ

*Е.В. Кокорева, к.т.н., доцент, Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, elen.vik@gmail.com.*

**УДК 004.94**

**Аннотация.** В статье рассматриваются способы применения систем имитационного моделирования в цифровой образовательной среде высшего учебного заведения с целью получения практических навыков профессиональной деятельности. Дана характеристика программным пакетам *NS-2*, *NS-3*, *Cisco Packet Tracer*, *OMNeT++* и *AnyLogic*, рассматриваемым и рекомендуемым в качестве основы для разработки лабораторных и практических занятий, посвященных изучению сетевых технологий.

**Ключевые слова:** *Cisco Packet Tracer*; *NS-2*; *NS-3*; *AnyLogic*; моделирование; симуляция; образовательная среда.

## THE STUDY OF TELECOMMUNICATION TECHNOLOGY USING NETWORK SIMULATORS

*Elena Kokoreva, Ph.D., Associate Professor, Siberian State University of Telecommunications and Information Science.*

**Annotation.** The article discusses ways of using simulation systems in the digital educational environment of a higher educational institution in order to obtain practical skills in professional activities. Network simulators serve as a good tool for studying various types of telecommunication technologies in the absence of real, expensive network equipment.

**Keywords:** *Cisco Packet Tracer*; *NS-2*; *NS-3*; *AnyLogic*; modeling; simulation; educational environment.

### Введение

Процесс цифровой трансформации затронул все сферы человеческой деятельности. В отрасли образования этот процесс происходит в рамках федерального проекта «Цифровая образовательная среда», являющегося составной частью национального проекта «ОБРАЗОВАНИЕ» [1]. Преобразование образовательной системы требует от преподавателей высшей школы перехода на новые методы реализации образовательных программ, предлагая, в том числе работу со специализированными электронными образовательными ресурсами.

Сетевые симуляторы представляют собой программное средство, наилучшим образом подходящее для изучения в вузах дисциплин, связанных с телекоммуникационными процессами. Различные сетевые технологии: проводные и беспроводные; низкоскоростные и высокоскоростные; централизованные и распределенные могут быть представлены в виде программных моделей при выполнении лабораторных, практических и курсовых работ [2].

На рынке программного обеспечения сегодня существует множество продуктов, содержащих в своем составе специализированные модули для моделирования коммуникационных устройств и систем. Среди них можно найти полностью бесплатные симуляторы (*NS-2*, *NS-3*, *OMNeT++* и т.п.), которые подходят для вузов в условиях ограниченного финансового обеспечения или

коммерческие программы, бесплатный доступ к которым предоставляется для образовательных целей, такие, например, как *Riverbed Modeler Academic Edition* [3]. Рассмотрим некоторые из программных продуктов более подробно.

### Симуляторы NS-2 и NS-3

NS-2 (англ. *Network Simulator version 2*) представляет собой симулятор, реализующий дискретно-событийный подход к моделированию, распространяемый бесплатно на условиях лицензии *GPL* (англ. *GNU Public License*). Основу моделей симулятора составляют два языка программирования: C++, на котором реализовано ядро программы, и *oTcl* – объектно-ориентированный язык для построения (скрипта) модели из имеющихся в NS-2 готовых модулей, описывающих сетевые объекты и протоколы: узлы, звенья, очереди, генераторы трафика, протоколы передачи данных или маршрутизации и т.д. [4].

Изменения состояний модели связано с событиями, происходящими с пакетами данных (англ. *Packet Data Unit*), например, выход из узла; постановка в очередь; блокировка; выход из очереди и пр. Происходящие события фиксируются в файлах трассировки, которые затем подвергаются статистической обработке для получения вероятностно-временных характеристик исследуемой системы.

В составе NS-2 имеются объекты и методы для имитационного моделирования как проводных, так и беспроводных систем связи, например, *TCP/IP*, *Wi-Fi*, *ZigBee*, а также спутниковых и сотовых сетей. Для визуального отображения результатов симуляции пакет NS-2 содержит следующие компоненты:

- аниматор *NAM* (англ. *Network Animator*) – средство для трассировки пакетов в сети в виде анимации (рис. 1);
- графический пакет *Xgraph* – средство для наглядной иллюстрации собранной в процессе симуляции статистики задержек, потерь и пропускной способности в виде зависимостей измеренных показателей от времени (рис. 2).

В настоящее время разработчики отказались от поддержки сетевого симулятора NS-2 в связи с переходом к новой версии. Следующая версия симулятора NS-3 также обладает открытым исходным кодом с лицензией *GNU GPLv2*, но не является обратно совместимой с NS-2. В отличие от предыдущей версии NS-3 реализован на языке C++ с возможностью разработки сценариев на языке *Python*. Данный симулятор имеет в своем составе классы и методы для исследования современных инфокоммуникационных систем, таких как *LTE*, *WiMAX* или сети *5G* [5].

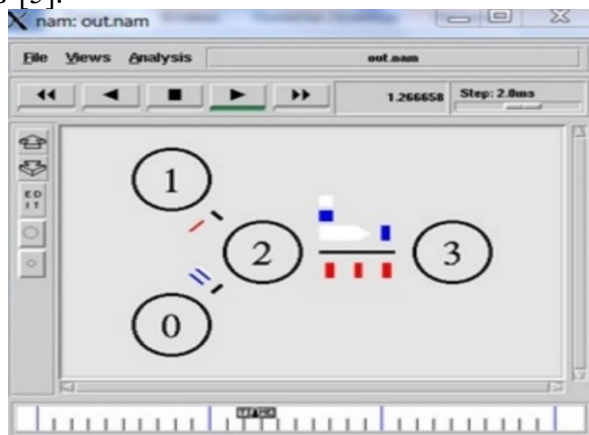


Рисунок 1

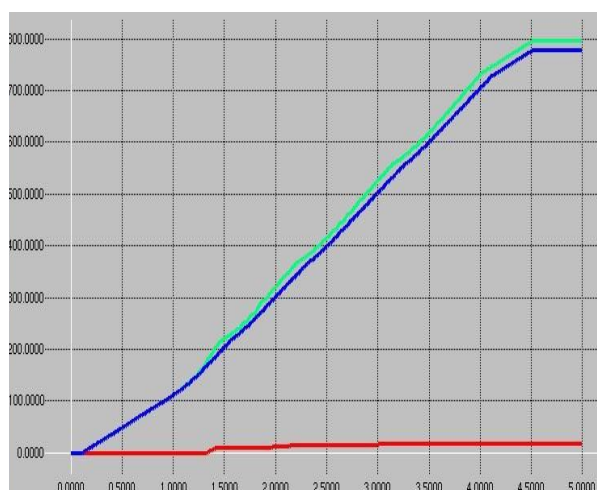


Рисунок 2

### *Cisco Packet Tracer*

Для студентов, изучающих инфокоммуникационные технологии, представляет особый интерес симулятор сетей передачи данных *Cisco Packet Tracer Student version*. Данная версия программного продукта выбрана из-за того, что она не требует регистрации в сетевой академии *Cisco*, недоступной сегодня для российских пользователей. Несмотря на то, что симулятор в первую очередь предназначен для ознакомления с работой коммуникационных устройств компании *Cisco*, его функционал позволяет изучать передачу данных в телекоммуникационной сети на разных уровнях эталонной модели взаимодействия открытых систем *OSI* [6].

*Packet Tracer* имеет простой интуитивно понятный визуальный интерфейс с возможностью построения проводных и беспроводных сетей различного уровня сложности и масштаба. Рис. 3 отображает пример *IP*-сети с простой конфигурацией.

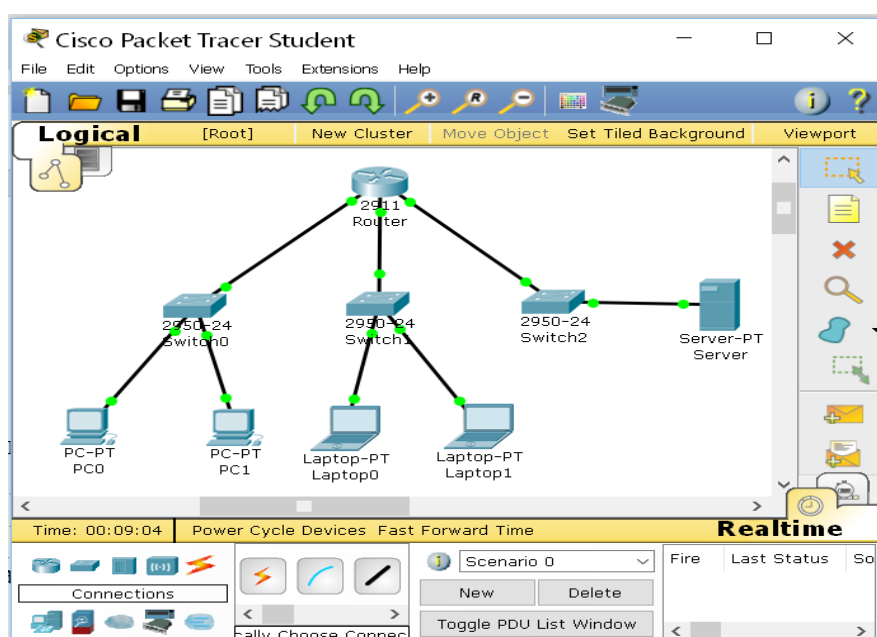


Рисунок 3

Имеется два режима работы в симуляторе: *Realtime* и *Simulation*, в первом случае передача пакетов происходит в реальном времени, во втором – можно проследить передачу избранного пакета по шагам, а также просмотреть место пакета в эталонной модели *OSI* определенного сетевого устройства (рис. 4а) и структуру пакетов на разных уровнях модели (рис. 4б). На рис. 4. показана передача пакета: а – информация о пакете в определенном интерфейсе; б – форматы пакетов на разных уровнях модели *OSI*.

*Cisco Packet Tracer* позволяет оценить работоспособность проектируемой системы связи, а также доступность всех входящих в сеть коммуникационных устройств с помощью управляющих сообщений протокола *ICMP* (англ. *Internet Control Message Protocol*). Возможны как физическая настройка устройства, так и логическое конфигурирование его интерфейсов.

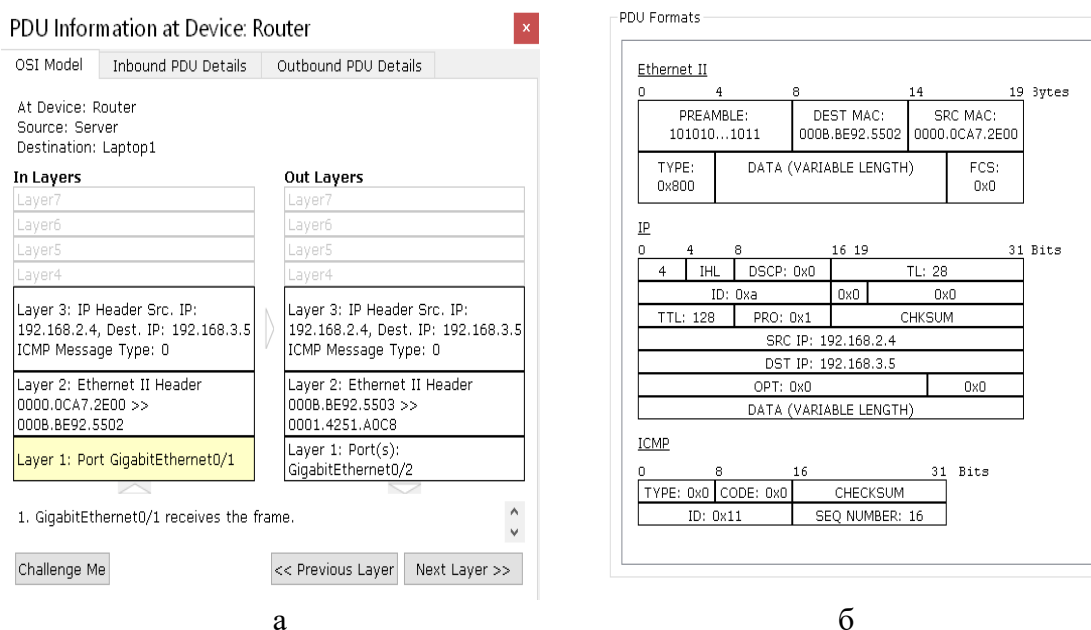


Рисунок 4

### OMNeT++

Важное место в процессе практического обучения студентов занимает система дискретно-событийного имитационного моделирования *OMNeT++*, которая помогает изучать работу таких систем как *Ethernet*, *TCP/IP*, *MPLS*, мобильных, спутниковых и сенсорных сетей и пр. На официальном сайте доступно множество фреймворков, содержащих демонстрационные модели различных инфокоммуникаций (*INET*, *SimLTE*, *Sim5G*) [7].

В отличие от ранее рассмотренных программных продуктов интегрированная среда разработки *IDE* (англ. *Integrated Development Environment*) *OMNeT++* основана на *Eclipse* и содержит средства для запуска симуляции, редактор топологий, библиотеки модулей, компоненты статистической обработки результатов симуляции, анимации событий, а также графические средства для вывода различного вида результатов – векторов, скаляров и гистограмм и другие расширения. Пример создания примитивной сетевой топологии в *IDE OMNeT++* представлен на рис. 5.

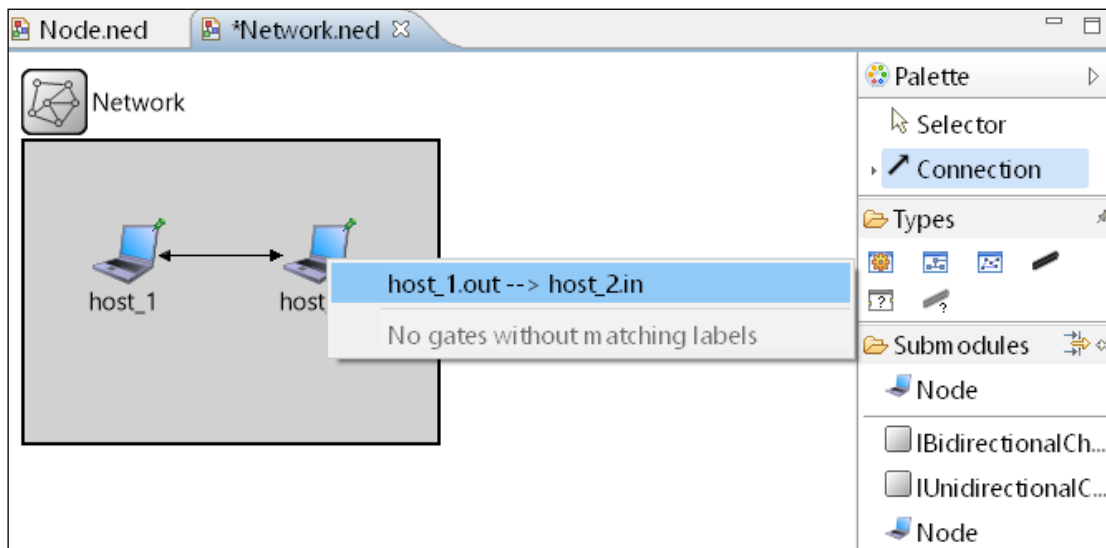


Рисунок 5

Для создания топологий в программном пакете имеется язык (редактор) *NED* (англ. *Network EDitor*), с помощью которого разрабатываются простые модули (англ. *Simple Module*) имитационной модели, из которых формируются более сложные составные модули (англ. *Compound Module*). Модель сети складывается из простых и составных модулей, и сама представляет собой составной модуль. Все модули общаются друг с другом посредством сообщений (англ. *messages*), передаваемых через соединения (англ. *connections*), примыкающие к портам (англ. *gates*), являющимися частью модулей. Разработка возможна в графическом (англ. *Design*) или текстовом (англ. *Source*) режиме. Рис. 6 содержит тот же пример сети, что и на рис. 5, представленный в виде кода *NED*.

На рис. 6 изображен пример сетевой топологии на языке *NED*.

```

network Network
{
  @display("bgb=249,181");
  submodules:
    host_1: Node {
      @display("p=61,68");
    }
    host_2: Node {
      @display("p=176,68");
    }
  connections:
    host_1.out --> host_2.in;
    host_2.out --> host_1.in;
}

```

Рисунок 6

Динамика моделируемой сети реализуется с помощью компонентов библиотеки *C++*. Для этой цели служат следующие методы:

- *initialize()* – инициализация – вызывается сразу при запуске симуляции;
- *finish()* – окончание – вызывается автоматически при успешном завершении

симуляции и может использовать для записи статистики;

- `handleMessage(cMessage *msg)` – обработка сообщения – вызывается с параметром `msg` всякий раз, когда происходит прием или передача сообщения.

Запись трассировки событий симуляции позволяет собрать статистику параметров сети и оценить показатели качества обслуживания. Интегрированная оболочка *OMNeT++* дает возможность просмотреть файлы трассировки как в текстовом, так и в графическом виде (рис. 7).

### *AnyLogic*

Совсем другой подход к симуляции предлагает система имитационного моделирования *AnyLogic* от изначально российского производителя *The AnyLogic Company*, ставшего в настоящее время многонациональной командой разработчиков из России, Европы и США [8]. В отличие от большинства современных сетевых симуляторов, реализующих дискретно-событийный подход к моделированию, *AnyLogic* позиционируется как продукт, объединяющий три известных подхода: системная динамика; дискретно-событийное и агентное моделирование.

На рис. 7 показаны зависимости количества переданных и принятых сообщений от времени.

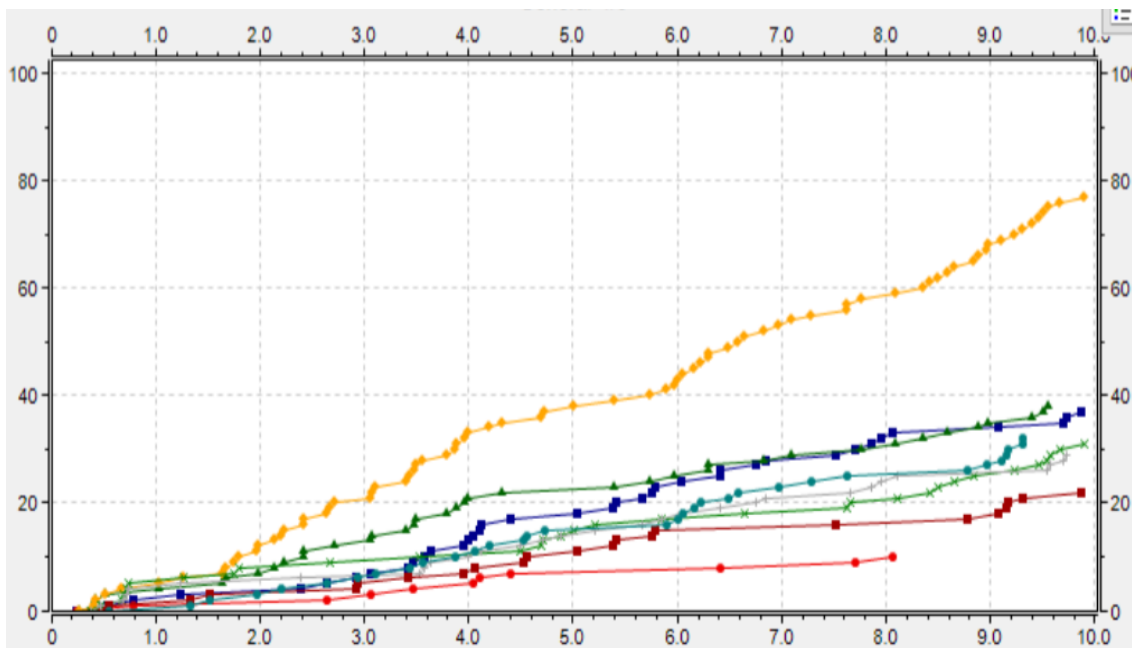


Рисунок 7

Программное обеспечение является проприетарным, но разработчики предоставляют полнофункциональный продукт студентам и преподавателям вузов для применения в учебном процессе или самообразования. *AnyLogic* имеет полноценный графический интерфейс, множество палитр инструментов для построения моделей различного назначения (бизнес-процессы, логистика, горнодобывающая промышленность, производственные процессы, телекоммуникации и др.), а также обладает возможностью разработки дополнительных функций на языке *Java*.

Графический интерфейс пользователя *GUI AnyLogic* представлен на рис. 8.

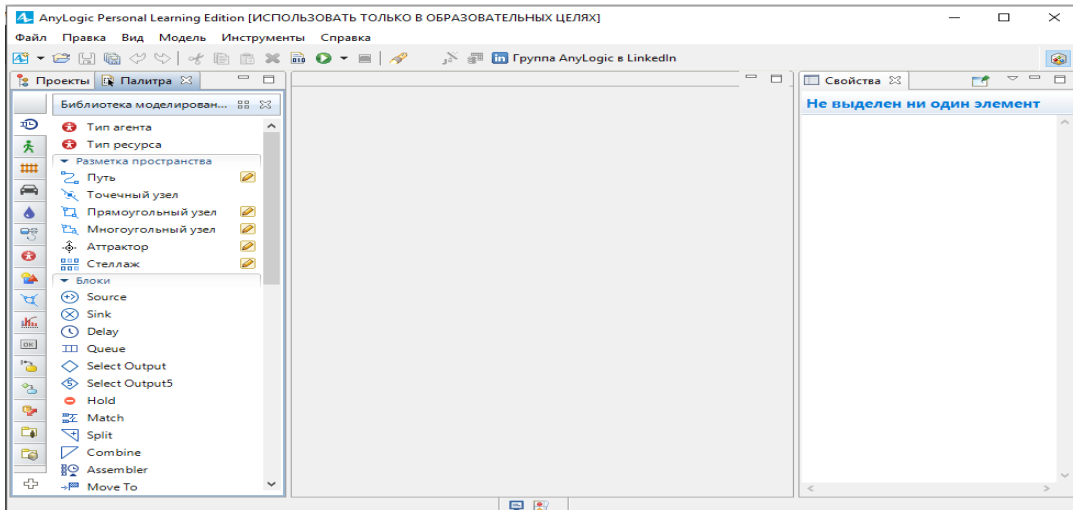


Рисунок 8

В рабочей области *AnyLogic* производится создание и редактирование модели в визуальном режиме. На рис. 9 показана модель СМО в рабочей области симулятора *AnyLogic*.

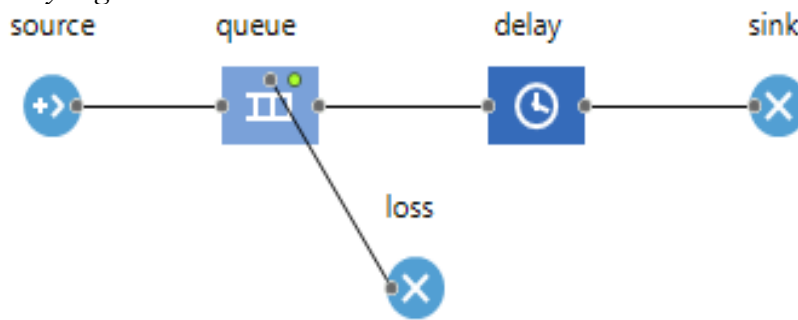


Рисунок 9

Программа позволяет просматривать процесс симуляции в виде 2D или 3D анимации, а характеристики модели могут быть вычислены динамически (в процессе симуляции) и отображены наглядно в виде графиков, диаграмм и таблиц в рабочей области модели). Рис. 10 показывает, каким образом можно получить характеристики СМО в виде простых гистограмм.

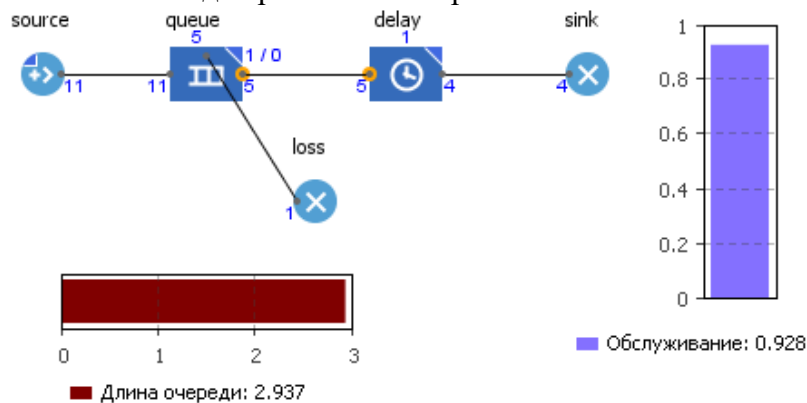


Рисунок 10



На официальном сайте системы имитационного моделирования имеется множество демонстрационных примеров из разных отраслей деятельности: бизнес-процессы, логистика, нефтегазовая промышленность, производство и пр. Пример применения *AnyLogic* для изучения процессов «выбора лидера» в ненадежной компьютерной сети приведен на рис. 11.



Рисунок 11

## Заключение

Системы имитационного моделирования представляют собой не только адекватную замену техническим средствам, необходимым для реализации образовательных программ, но и являются на сегодняшний день неотъемлемой частью цифровой образовательной среды вуза. Рассмотренные выше программные пакеты *NS-2*, *NS-3*, *Cisco Packet Tracer*, *OMNeT++* и *AnyLogic* продемонстрировали свою состоятельность в качестве основы для разработки лабораторных и практических занятий, посвященных изучению сетевых технологий.

Таким образом, применение сетевых симуляторов в образовательном процессе высшего учебного заведения позволяет получить практические навыки настройки и конфигурирования сетевых устройств, а также исследования показателей качества обслуживания инфокоммуникационных систем без излишних финансовых, временных и материальных затрат.

*Работа выполнена в рамках Государственного задания 071-03-2023-001 от 19.01.2023.*

## Литература

1. Национальный проект образование. Официальный сайт Министерства просвещения Российской Федерации [Электронный ресурс]. URL: <https://edu.gov.ru/national-project/projects/cos/> (дата обращения: 05.07.2023).
2. Кокорева Е.В. Системы имитационного моделирования в цифровой образовательной среде вуза // Информатизация образования и методика

электронного обучения: цифровые технологии в образовании: материалы VII Междунар. науч. конф. / под общ. ред. М.В. Носкова. – Красноярск: Красноярский государственный педагогический университет им. В.П. Астафьева, 2023. – С. 355-360.

3. Riverbed Modeler Academic Edition. [Электронный ресурс]. URL: [https://cms-api.riverbed.com/portal/community\\_home](https://cms-api.riverbed.com/portal/community_home) (дата обращения: 23.09.2023).

4. The ns Manual [Электронный ресурс].

URL: [https://www.isi.edu/nsnam/ns/doc/ns\\_doc.pdf](https://www.isi.edu/nsnam/ns/doc/ns_doc.pdf) (дата обращения: 07.08.2023).

5. NS-3. Documentation [Электронный ресурс].

URL: <https://www.nsnam.org/documentation/> (дата обращения: 08.08.2023).

6. Cisco Packet Tracer Student Version [Электронный ресурс]

URL: <https://www.filehorse.com/download-cisco-packet-tracer-32/27899/download/> (дата обращения: 12.09.2023).

7. OMNeT++ Simulation Manual [Электронный ресурс].

URL: <https://doc.omnetpp.org/omnetpp/manual/> (дата обращения 05.07.2023).

8. AnyLogic – официальный сайт [Электронный ресурс]

URL: <https://www.anylogic.ru/> (дата обращения: 14.09.2023).

## АНАЛИЗ ПОТЕНЦИАЛА ИННОВАЦИЙ ОБЛАЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В АДДИТИВНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

*Е.В. Сяндюкова, Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, [sundukova234k@gmail.com](mailto:sundukova234k@gmail.com).*

**УДК 004.7:004.9:67**

---

**Аннотация.** В данной статье рассматриваются основные тенденции и преимущества, которые могут быть получены от использования облачных решений в отрасли аддитивного производства. Проводится анализ существующих инновационных технологий, основанных на облачных вычислениях, таких как облачное моделирование, хранение данных и совместная работа, а также анализируется их потенциал в контексте аддитивного производства. Особое внимание уделяется возможностям оптимизации процессов, улучшению качества и эффективности производства, а также снижению затрат.

**Ключевые слова:** интернет вещей; облачные технологии; облачное производство; аддитивное производство; интеллектуальное производство.

## ANALYSIS OF THE POTENTIAL OF INNOVATIONS OF CLOUD TECHNOLOGIES IN ADDITIVE MANUFACTURING

*E.V. Syundyukova, Nizhny Novgorod State University N.I. Lobachevsky.*

**Annotation.** This article considers the main trends and advantages that can be obtained from the use of cloud solutions in the additive manufacturing industry. The analysis of existing innovative technologies based on cloud computing, such as cloud modeling, data storage and collaboration, and also analyzes their potential in the context of additive manufacturing. Particular attention is paid to the possibilities of optimizing processes, improving the quality and efficiency of production, as well as reducing costs.

**Keywords:** Internet of things; cloud technologies; cloud production; additive manufacturing; intelligent manufacturing.

---

## **Введение**

Аддитивное производство создает ряд уникальных проблем и возможностей для внедрения облачных систем. С одной стороны, облачные системы по своей сути подходят для высоко интегрированных и автоматизированных процессов, таких как аддитивное производство. И наоборот, внедрение облачных сервисов остается прерогативой компании и зависит от конкретного процесса, что делает производственную сферу в целом уязвимой для взломов и кибератак. В свете этого в данной статье объясняются преимущества облачных технологий и уникальные проблемы, с которыми сталкиваются облачные системы, специфичные для процесса аддитивного производства.

## **Проблемы**

Облачное производство (*Cloud Manufacturing, CM*) в основном предоставляет сервисную поддержку для управления транзакциями и задачами на малых и средних предприятиях. Оно включает в себя виртуальную производственную систему с усовершенствованным механизмом интеллектуального подбора для обеспечения баланса между спросом и предложением. На следующем этапе *CM* управляет сервисными ресурсами, позволяя пользователям отправлять свои запросы на производственные услуги с помощью ряда сложных процессов, таких как согласование проектов и автоматическое управление транзакциями для достижения поставленных целей [1].

Технология *CM* создана на основе потребностей обрабатывающей промышленности для большей сплоченности и взаимосвязанности. В передовых концепциях *CM* есть некоторые предсказуемые проблемы, и будущее развитие ключевых технологий столкнется с этими проблемами. *CM* – это модель, которая сочетает в себе использование новейших компьютерных технологий с передовыми системами производства. Промышленные модели становятся все ближе к сетевым технологиям, которые часто сталкиваются с кибератаками и вытекающими из них требованиями к безопасности. Цифровой мир открывает двери для широких возможностей кибератак, охватывающих общественные, финансовые и промышленные сферы. Многие инженеры не осведомлены о текущих и будущих угрозах кибератак и впоследствии не в состоянии эффективно диагностировать причину, когда подвергаются атаке [2]. Понимание существующих слабых мест в производстве и их преодоление должно стать первым шагом на пути к предотвращению, обнаружению и смягчению последствий кибератак. В частности, большинство уязвимостей в производстве связаны с проектированием систем, контролем изготовления, качества и слабостью исследований в области кибербезопасности производства. Отсутствие таких знаний привело к серьезным проблемам с широким внедрением *CM*.

Производители должны конкурировать на мировом рынке, поэтому им необходимо проектировать, планировать и эксплуатировать свои предприятия в различных условиях. Сложность обслуживания их систем растет, в то время как для поддержания прибыли по-прежнему желательно производство с низкими затратами. Эти сложности и вызовы, такие как глобализация, все более непростые информационные технологии и энергопотребление, подтолкнули компании к переходу на приложения облачных сервисов [3].

## **Потенциалы**

Облачные технологии предполагают низкую стоимость, гибкую и многоуровневую архитектуру и высокую скорость отклика. Эти преимущества

повышают безопасность, интероперабельность и производительность крупномасштабных сетевых приложений, таких как аддитивное производство (*Additive manufacturing, AM*). Гибкие ресурсы и совместно используемые сервисы в сети, параллельная обработка и расширенный доступ являются желательными функциями облачных технологий в продвинутых приложениях *AM*. Одним из важнейших факторов для внедрения *CM* является то, как реализовать интеллектуальный подход к распределению производственных ресурсов [4].

Интернет вещей приносит пользу промышленным производственным системам, благодаря оптимизированным решениям, прогнозному анализу технического обслуживания и мониторингу качества. Интернет вещей предлагает пользователям и заказчикам более безопасное подключение и среду для управления промышленными данными и защищенными устройствами. На рис. 1 показана структура интернета вещей и промышленных услуг с их взаимосвязями.

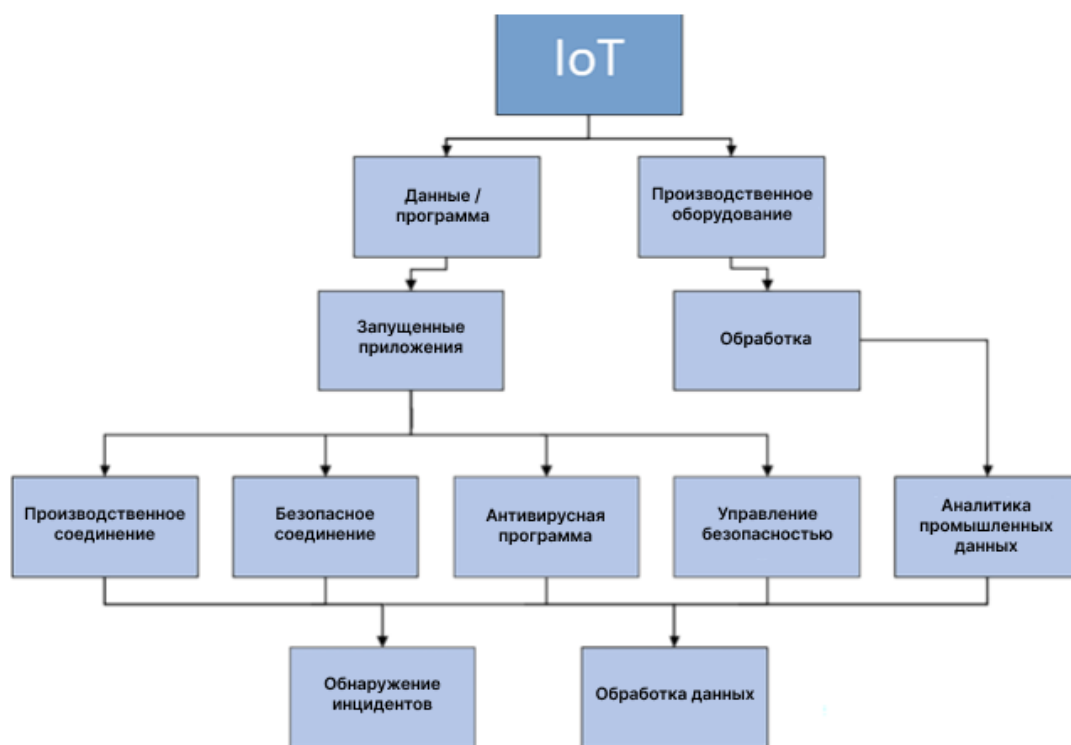


Рисунок 1

#### *Облачные инновации в аддитивном производстве*

Производители ищут более гибкую методологию системных инноваций для поддержки процессов через облако. Облачные технологии с адаптируемыми решениями сочетаются с большинством преимуществ цифрового производства для удовлетворения потребительского спроса. Рассматривая новые и существующие решения, производителям необходимо сосредоточиться на оптимизации ресурсов и внедрении облачных возможностей.

Облако позволяет производственным функциям унифицировано использовать интеллектуальные технологии, такие как:

- Интернет вещей.
- Блокчейн.
- Цифровые двойники.

- Смешанная реальность.
- Машинное обучение.
- Корпоративное планирование ресурсов нового поколения.

AM отличается короткими сроками выполнения заказов, и, благодаря этому, AM обладает большой степенью гибкости. AM предлагает множество преимуществ, таких как объединение нескольких деталей за счет гибкости конструкции, внедрение элементов дизайна, таких как решетчатые строения, для снижения веса и повышения функциональности, что невозможно при применении традиционных методов; использование деталей с различными компонентами, конструктивными и функциональными характеристиками; и производство на месте или на удаленных объектах, что сводит к минимуму цепочку поставок и расходы, связанные с транспортировкой. Более того, аддитивное производство привнесло принципиально новый подход, когда вместо продажи деталей предоставляются файлы печати деталей, и клиент может распечатать эти файлы на данном аддитивном оборудовании. AM с его преимуществами идентифицируется как идеальная технология для интеграции с CM. AM/3D-печать с CM позволяет сделать производственный процесс более гибким и экологичным.

На рис. 2 показана архитектура CM. Киберфизическая категория включает в себя безопасность и гибридное производство. Подразделение информационных технологий охватывает IoT и облачные вычисления (Cloud computing, CC). AM/3D-печать связана со сложностью проектирования компонентов, точностью и надежностью. Деятельность, ориентированная на предоставление производственных услуг, связана с проектированием, тестированием и изготовлением. Службы совместного использования ресурсов включают планирование и проектирование. Моделирование включает в себя имитацию и оптимизацию. Категория гибкого производства включает в себя требования заказчика, быстрые и гибкие операции.



Рисунок 2

Облачное производство в сочетании с другими передовыми технологиями, такими как беспроводное оборудование нового поколения, усовершенствованные датчики, системы автоматизированного проектирования и производственное программное обеспечение представляют собой революцию в интеллектуальном

производстве [5-7]. *СМ* оказывает огромное влияние на современное производство, благодаря упрощенной интеграции обширных цепочек поставок или оптимизации данных с производственного оборудования на базе интернета вещей. Облачные системы *АМ* могут подстраиваться под ситуацию, чтобы управлять постоянно меняющимися рабочими нагрузками проекта и предлагать новые решения для удовлетворения производственных требований.

#### *Автоматизация с поддержкой облачных вычислений*

Одной из основных задач интегрированного *СМ* является автоматизация процессов. Производственная деятельность станет еще более автоматизированной, благодаря передовым датчикам, которые позволят *СМ* разрабатывать интеллектуальные модели производства и проектирования в промышленности. *СМ* может проводить анализ производства в режиме реального времени и получать рыночные данные для разумного проектирования и оптимизации производственного процесса. Это приводит к снижению затрат и минимизации энергопотребления; более того, это приводит к сокращению отходов материалов и простоев. Производственные роботы с ограниченными ресурсами могут выполнять значительную часть вычислений в облаке для повышения эффективности расчетов [8]. С помощью облака производство может управлять гибкими и адаптируемыми сигналами спроса в рамках глобальной облачной инфраструктуры [9].

*СМ* – это полномасштабная модель совместного производства, которая представляет собой компьютеризированную версию существующей передовой производственной модели. Она помогает облегчить обмен данными между различными производственными действиями, такими как проектирование продукта и планирование технологического процесса. Полное совместное использование, передача данных, эффективная эксплуатация операций, своевременная поддержка точных инженерных решений и использование многочисленных производственных ресурсов рассматриваются в качестве основных целей *СМ* [10].

#### *Расширенное интеграционное приложение для повышения устойчивости производственного процесса*

Системы производственного процесса уязвимы к возникновению неисправностей из-за различий в составе технологического процесса и производственных условиях. *СМ*, использующее передовые методы анализа данных в режиме реального времени, дает комплексное понимание производственного процесса производителям и предоставляет технологии для распределенных пользователей [11]. Усовершенствованные датчики *ИоТ* помогают *СМ* предоставлять большой объем и детализацию данных. *СМ* может работать на облачной платформе с несколькими арендаторами, которая в качестве центра ресурсов знаний может использовать возможности краудсорсинга, пропускную способность, квалификацию и информацию для повышения качества системы и поддержки инновационного устойчивого производства [12-14]. Архитектура облачной операционной платформы *АМ* с тремя производственными уровнями показана на рис. 3. Уровень обслуживания начинает надежно извлекать такую информацию, как эксплуатационные характеристики и параметры станка, диспетчерское управление и сбор данных (*Supervisory Control And Data Acquisition, SCADA*) и датчиков. Эти данные могут быть переданы через облако для обработки в *СМ*. Затем агрегированные данные могут быть переданы на уровень производственного контроля для использования оборудования, мониторинга,

составления расписания, корректировки времени, работы на холостом ходу и реагирования на потенциальный сбой. Наконец, проанализированные данные после обработки будут переданы пользователю и лицу, запрашивающему услугу.



Рисунок 3

AM привлекает многие отрасли промышленности, такие как аэрокосмическая, автомобильная, медицинская и энергетическая; из-за этого точность и скорость являются критически важными аспектами. Инновации, такие как ультрасовременная технология CM, обеспечивают прогресс и преимущества по сравнению с существующими производственными процессами, в частности с технологией AM. Эти достижения и преимущества могут помочь добиться максимальной экономии материалов, повышения скорости, точности и настройки изделия без необходимости использования станков для целей изготовления. Ключевые характеристики облака включают совместное использование сервисов, планирование ресурсов, облачную безопасность, высокую скорость и гибкость для обеспечения безопасности процессов AM и предотвращения сбоев.

Учитывая отсутствие комплексного решения, включающего обмен данными, безопасность, интеграцию технологий в AM, модель потока материалов и интеграцию существующих систем в систему CM, предлагается интеллектуальная облачная модель, управляемая данными и сетью. Предлагаемая модель может поддерживать сбор данных с датчиков, оптимизацию вычислений и связи, а также надежность производственной сети в AM для безопасной и эффективной обработки большого объема данных. Облачное решение для умного AM помогает оценить научные аспекты существующих методологий, которые считаются критически важными для расширенной интеграции производственного процесса и улучшения AM.

*Распределенное облачное производство на основе теории игр в аддитивном производстве*

Недавно применение теории игр в облачном производстве привлекло внимание многих исследователей к этой теме. Теория игр является эффективным

решением для устранения конфликтов и сложностей в реальных задачах, таких как управление расписанием в производственных системах [15]. Задачи *AM* имеют динамический характер, следовательно, они должны быть соответствующим образом согласованы с сервисами.

Ключевой вопрос, который решается, заключается в том, чтобы соответствующим образом сопоставить службу *AM/3D*-печати с файлом *3D*-модели [16] и предоставить услугу получателю. *3D*-сервисы могут быть подобраны с помощью игровой модели. Здесь основными аспектами являются настройка задач и услуги *3D*-печати. Основные *3D*-задачи включают размер модели, ее форму, точность изготовления, материалы, местоположение, время завершения и стоимость. *3D*-услуги включают в себя точность, скорость, возможность определения размеров, доступность материалов, время простоя и надежность.

Теория игр, используя динамическую игровую структуру, может обеспечить динамическое планирование задач в *AM*. Эта модель использует игровые стратегии для эффективного выбора задач и подбора услуг. Теория игр – это взаимодействие лиц, принимающих решения, в то время как системы управления предполагают разработку интеллектуальных инструментов принятия решений [17-18].

*AM* с его отличительными возможностями предоставляет новый уникальный способ ускорения продвижения продукта. Парадигма *CM*, управляемая данными, позволяет *AM* эффективно получать доступ к различным распределенным ресурсам *AM*. Интеграция интеллектуального облака с *AM* позволяет предлагать высококачественные решения для *3D*-печати в среде, в которой скорость вычислений значительно выше. Таким образом, *CM* могло бы в режиме реального времени отслеживать наборы данных, генерируемые на различных этапах процесса аддитивного производства. Начальный процесс, включающий в себя пилотные печатные сборки геометрических форм, будет включать в себя общие факторы с конечной частью, такие как та же архитектура печатного устройства, аналогичный материал, параметры процесса, включая энергозатраты, толщину слоя, характеристики исходного сырья, тип печати и условия обработки, тот же набор встроенных датчиков контроля во время изготовления, который собирал бы данные и передавал их в систему управления, и идентичные протоколы постпроизводства, включающие как неразрушающие, так и разрушающие методы. На рис. 4 описана промышленная обработка данных интернета вещей с помощью облачного датчика, поддерживающего управление на месте, в *AM*. Этот датчик учитывает динамическое сопоставление и управляемую данными связь в *AM*, основанную на игре. Такая теория – это подход к принятию решений, который использует одну сторону игры для изменения стратегии (машины для *3D*-печати) в соответствии с решением игрока. Основанный на играх метод может быть реализован в *CM* и поможет создать надежную, точную и экономичную по времени производственную систему.

Эффективность *CM* зависит от качества данных и изменений в игре (*3D*-печатная продукция), используемых для принятия решений. Основанная на облачной инфраструктуре и распределенной природе *AM*, динамичная игровая связь, управляемая данными, может поддерживать надежность обработки *AM*. Исходя из *3D*-спецификаций, подбор задач и услуг имеет решающее значение и включает в себя такие основные услуги, как размер, скорость перемещения сопла, точность обработки и материалы.



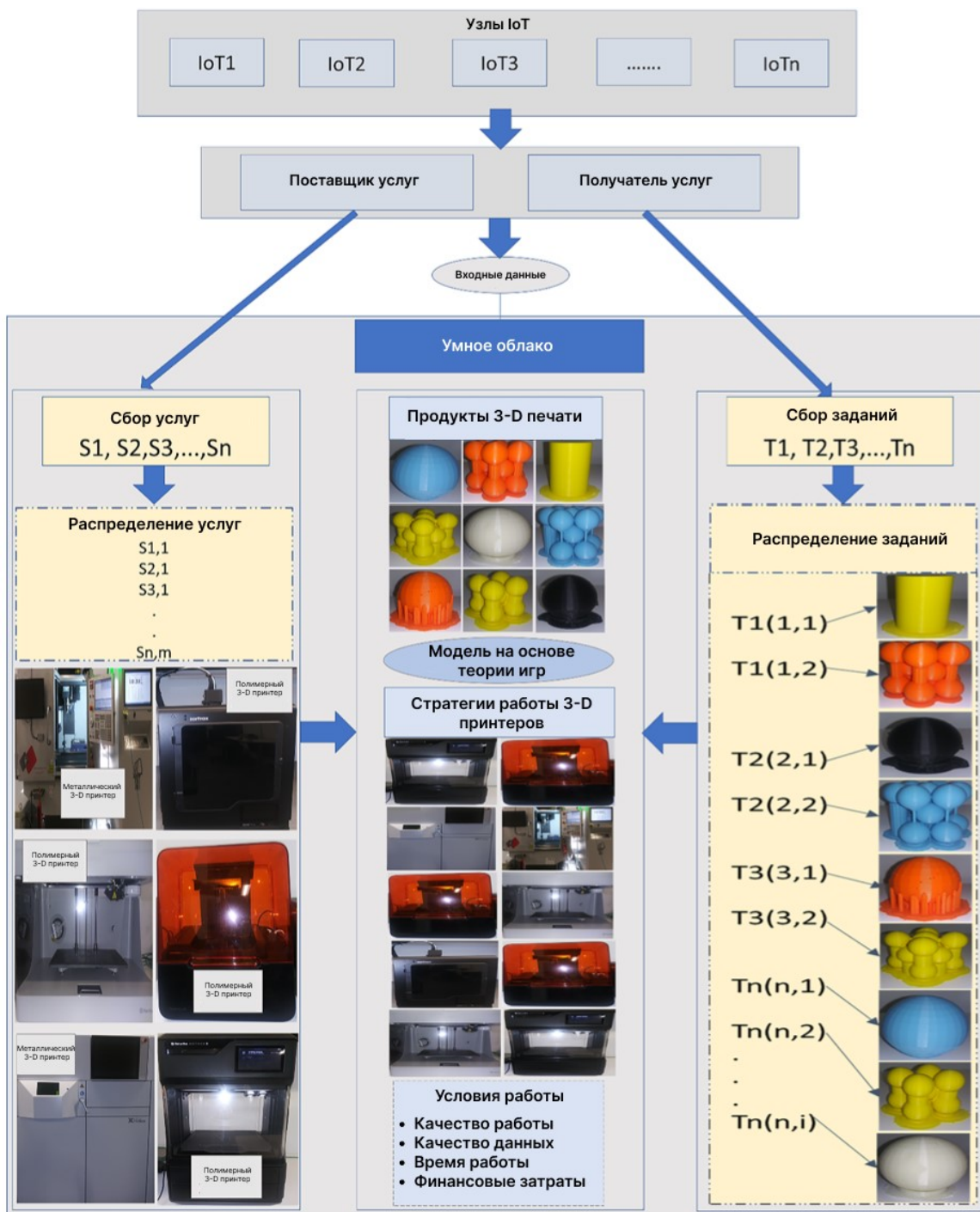


Рисунок 4

Собранные на месте данные датчиков передаются в облачный центр наблюдения и сбора, затем передаются для управления системой, и после этого перемещаются в интеллектуальное облако для мониторинга. Подход, основанный на данных теории игр, позволяет поддерживать коллективный контроль для улучшения качества данных в системах *AM*. Предлагаемое решение требуется для управления распределенными сенсорными сетями для решения проблемы качества данных *AM*, как показано на рис. 5.

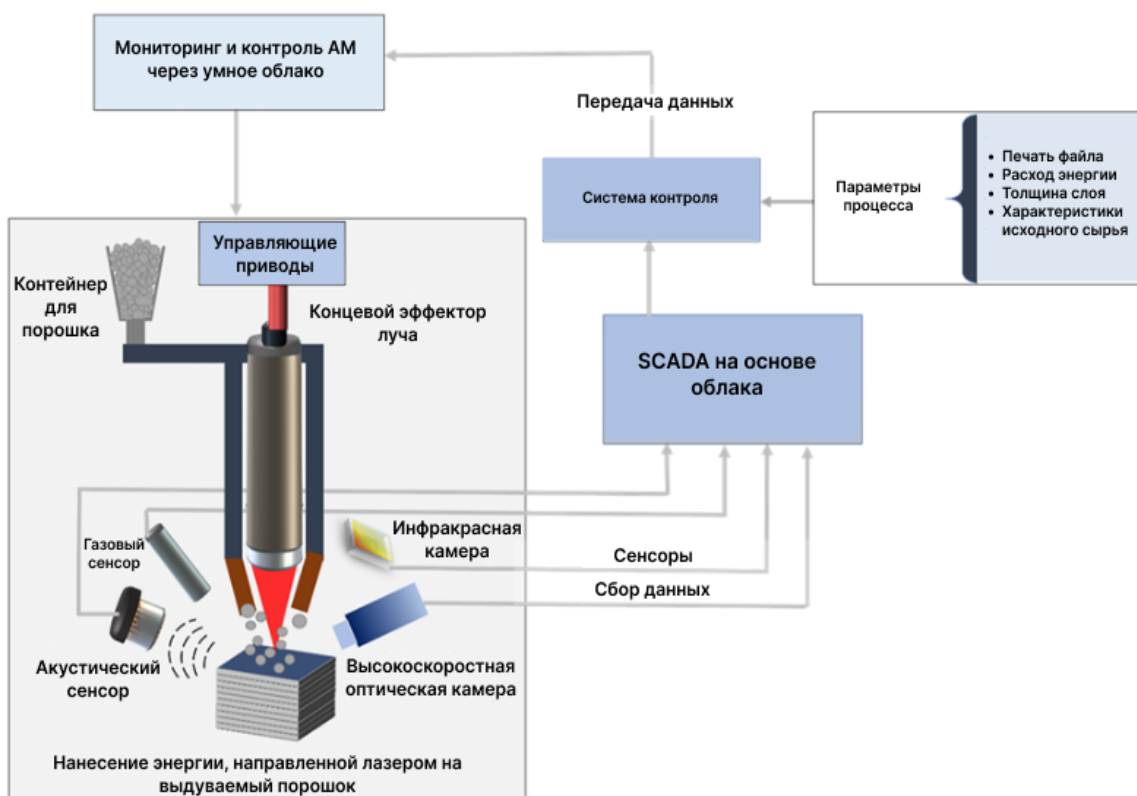


Рисунок 5

### Заключение

В заключение можно сказать, что доступность и возможность использования облачных технологий способствуют улучшению процессов и интеграции в производстве, предоставляет новые возможности для роста и инноваций в аддитивном производстве. В данной статье были рассмотрены основные преимущества использования *СМ* в *АМ*, а также тренды и перспективы развития этих технологий. Одним из основных преимуществ использования облачных технологий в аддитивном производстве является возможность совместной работы и обмена данными между различными участниками процесса, что способствует улучшению коммуникации и совместной разработке проектов. Кроме того, облачные решения позволяют более эффективно управлять данными и ресурсами, что приводит к снижению затрат и повышению производительности. Помимо этого, была описана модель облачного аддитивного производства на основе теории игр. В целом, результаты исследования подтверждают, что облачные технологии могут стать ключевым фактором в развитии аддитивного производства. Они способны улучшить эффективность, гибкость и конкурентоспособность предприятий в данной отрасли. Однако, для успешной реализации потенциала облачных технологий необходимо учитывать факторы безопасности данных, интеграции существующих систем и обучение персонала.

### Литература

1. Петров В.А. Программно-целевая организация производства и оперативного управления в условиях групповой технологии и гибких автоматизированных производств. – М.: Лениздат, 1984. – 176 с.

2. Sturm L.D., Williams C.B., Camelio J.A., White J., Parker R. Cyber-Physical vulnerabilities in additive manufacturing systems: A case study attack on the STL file with human subjects *J Manuf Syst*, 2014. – № 44. – P. 154-164.
3. Wells L.J., Camelio J.A., Williams C.B., White J. Cyber-physical security challenges in manufacturing systems *Manuf Lett*, 2014. – № 2 (2). – P. 74-77.
4. Ren L., Zhang L., Wang L., Tao F., Chai X. Cloud manufacturing: key characteristics and applications. *Int J Comput Integr Manuf*, 2017. – № 30 (6). – C. 501-515.
5. Tao F., Hu Y.F., Zhang L. Theory and practice: optimal resource service allocation in manufacturing grid. China Machine Press, Beijing, 2010.
6. Haghnegahdar L. Enabling smart grid with the decentralized power cloud in the software-defined network (SDN) environment. IIE Annual Conference. Proceedings, 192-197. *Int Ind Syst Eng (IISE)*, 2020.
7. Baumann F., Kopp O., Roller D. Abstract API for 3D printing hardware and software resources. *Int J Adv Manuf Tech* 92, 2017.
8. Markovic D.S., Zivkovic D., Branovic I., Popovic R., Cvetkovic D. Smart power grid and cloud computing. *Renew Sustain Energy Rev* 24, 2017. – P. 566-577.
9. Bera S., Misra S., Rodrigues J.J. Cloud computing applications for smart grid: a survey. *IEEE Trans Parallel Distrib Syst*? 2014. – № 26 (5). – P. 1477-1494.
10. Carlucci D., Renna P., Materi S., Schiuma G. Intelligent decision-making model based on minority game for resource allocation in cloud manufacturing. *Manag Decis*, 2020.
11. Bai T., Liu S., Zhang L. A manufacturing task scheduling method based on public goods game on cloud manufacturing model. In 2018 4th Int Conf Unv Vlg 23 (UV). – pp. 1-6.
12. Schmidt B., Wang L. Cloud-enhanced predictive maintenance. *Int J Adv Manuf Tech*, 2018. – № 99 (1). – P. 5-13.
13. Fisher O., Watson N., Porcu L, Bacon D., Rigley M., Gomes R.L. Cloud manufacturing as a sustainable process manufacturing route. *J Manuf Syst*, 2018. – № 47. – P. 53-68.
14. Battleson D.A., West B.C., Kim J., Ramesh B., Robinson P.S. Achieving dynamic capabilities with cloud computing: An empirical investigation. *Eur J Inf Syst*, 2018. – № 25 (3). – P. 209-230.
15. Trembley D.K., Haghnegahdar L., Wang Y. A survey of advanced manufacturing with legacy machinery: The Internet of Other Things. In Proceedings of the 2018 IISE Annual Conference 1-6.
16. Morelli D.A., de Arruda Ignacio PS. Assessment of research and case studies on Cloud Manufacturing: A bibliometric analysis.
17. Loeser F., Recker J., Brocke J.V., Molla A., Zarnekow R. How IT executives create organizational benefits by translating environmental strategies into Green IS initiatives. *Inf Syst J*, 2017. – № 27 (4). – P. 503-553.