

# МНОГОАДРЕСНАЯ РАССЫЛКА МУЛЬТИМЕДИЙНОГО КОНТЕНТА И АДРЕСНАЯ ДОСТАВКА В МОБИЛЬНЫХ СЕТЯХ 4G/5G: МЕТОДЫ ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЧАСТОТНОГО СПЕКТРА И РАСЧЕТ ЗОНЫ ПОКРЫТИЯ

**Мелихов Егор Олегович,**  
Московский технический университет связи  
и информатики, Москва, Россия,  
[e.o.melikhov@edu.mtuci.ru](mailto:e.o.melikhov@edu.mtuci.ru)

**Строганова Елена Петровна,**  
Московский технический университет связи  
и информатики, Москва, Россия,  
[es@radiotest-mtuci.ru](mailto:es@radiotest-mtuci.ru)

DOI: 10.36724/2072-8735-2025-19-11-41-50

**Manuscript received** 26 July 2025;  
**Accepted** 14 October 2025

**Ключевые слова:** мультимедийный трафик,  
топология сети, одноадресная сеть,  
широковещательная технология, 4G, 5G

В статье рассматривается задача передачи данных в условиях мультизонального покрытия сетей 4G и 5G, что весьма актуально при растущем спросе абонентов на разнообразные категории поставляемого контента. Особое внимание уделяется интеграции многоадресной и адресной доставки информации, что напрямую влияет на эффективность использования сетевых ресурсов и качество обслуживания пользователей. Современные системы мобильной связи сталкиваются с растущим потреблением мультимедийного контента и необходимостью управления ограниченными ресурсами мобильного оператора в условиях высокой загрузки сети. Целью исследования является оценка комбинированного подхода, включающего широковещательную передачу мультимедийного контента и адресную доставку данных. Предложена новая концепция доставки мультимедийных данных для многоадресного сегмента включая топологию, перенос рабочих частот в менее загруженные диапазоны, а также технологию доставки данных. Концепция включает топологию сети, перенос рабочих частот в менее загруженные радиочастотные диапазоны и оптимизацию технологии передачи данных в сетях 4G и 5G. Проведенные расчеты для мультизональной системы показали увеличение площади зоны покрытия и повышение эффективности использования частотного ресурса. Основные результаты подтверждают повышение эффективности использования сетевых ресурсов, расчет оптимальных параметров зоны покрытия и снижение вероятности отказа за счет адаптивного распределения нагрузки. Выявлены новые возможности для развития гибридных сетевых архитектур, которые сочетают широковещательные и персонализированные сервисы. Полученные результаты подтверждают, что интеграция многоадресных и одноадресных технологий доставки контента является перспективным направлением для развития мобильной связи. Результаты исследования могут быть внедрены операторами мобильной связи для повышения качества обслуживания абонентов и надежности мобильной связи.

#### Информация об авторах:

**Мелихов Егор Олегович,** Московский Технический Университет Связи и Информатики, аспирант, Москва, Россия  
**Строганова Елена Петровна,** Московский Технический Университет Связи и Информатики, д.т.н., профессор, Москва, Россия

#### Для цитирования:

Мелихов Е.О., Строганова Е.П. Многоадресная рассылка мультимедийного контента и адресная доставка в мобильных сетях 4G/5G: методы эффективного использования частотного спектра и расчет зоны покрытия // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2025. Том 19. №11. С. 41-50.

#### For citation:

E.O. Melikhov, E.P. Stroganova, "Multicast of multimedia content and targeted distribution in 4G / 5G mobile networks: frequency spectrum optimizing methods and coverage area calculating," *T-Comm*, 2025, vol. 19, no.11, pp. 41-50. (in Russian)

## 1 Введение

С развитием мобильных технологий и появлением всё более совершенных абонентских устройств была разработана транспортная система, соответствующая концепции сетей нового поколения, и предназначенная для передачи мультимедийного трафика. Однако по мере роста нагрузки на сеть, которая будет только увеличиваться, возникают определённые сложности. Поскольку все сервисы работают на одной и той же инфраструктуре, между ними возникает конкуренция за ограниченные ресурсы сети. Кроме того, каждый сервис выдвигает свои технологические требования к ресурсам, что дополнительно усложняет ситуацию.

В условиях современного мира качество предоставляемых услуг (Quality of Service, QoS) и пользовательский опыт (Quality of Experience, QoE) становятся ключевыми факторами. Ресурсно-сервисная модель предполагает, что услуги должны быть на высочайшем уровне, а пользователи должны получать только положительные эмоции от взаимодействия с ними. Растущий спрос на разнообразные категории поставляемого контента заставляет мобильных операторов искать новые технические решения, которые позволят улучшить качество доставки и снизить нагрузку на сеть [1-7].

Традиционные подходы к управлению сетевыми ресурсами, основанные на жестком разделении услуг, становятся неэффективными в условиях растущего объёма мультимедийного трафика. Данный факт особенно заметен в мультимедийных сетях, где комбинированное покрытие (макро-, микросоты, indoor-решения) требует динамической адаптации к изменяющимся условиям. При таких сценариях ключевую роль играют гибридные сети, которые позволяют объединить широкоэмитательные и персонализированные сети доставки данных.

Данная статья сосредоточена на рассмотрении реализации мультимедийной сети распространения контента через совместное использование широкоэмитательного и одноадресного сегмента в рамках единой сети оператора мобильной связи с использованием алгоритма распределения контента по сегментам сети. Изучение современных публикаций показывает, что существующие решения фокусируются либо на оптимизации одноадресного трафика, либо на широкоэмитательной рассылке, игнорируя их синергетический потенциал [8-13]. В отличие от них, данная работа, как и статьи [14-18], предлагает комплексный подход, при котором рассматривается применение агрегации слотов (Slot Aggregation) и кодирования (Channel Coding) для расширения возможностей широкоэмитательного подхода распространения контента. Агрегация слотов повышает эффективность использования частотного спектра за счет объединения временных интервалов для передачи данных. Кодирование каналов минимизирует потери информации в условиях помех и многолучевого распространения сигнала.

## 2 Современные форматы многоадресного вещания в сетях мобильной связи

Рассмотрим существующие технологии доставки мультимедийного контента. В рамках стандарта 4G многоадресное вещание предусмотрено при использовании LTE-

eMBMS (evolved Multimedia Broadcast Multicast Service), которое в свою очередь работает в качестве одночастотной сети (SFN, Single-frequency network), реализованной в одном диапазоне, используя определенные частоты, выделенные из ограниченного диапазона частот LTE-сети мобильного оператора. Предоставленные мобильным оператором частоты предназначены для передачи большого объёма данных в определённых зонах покрытия, где все базовые станции (БС) работают в составе SFN, как показано на рисунке 1.

Все БС передают одни и те же данные в единые временные интервалы, то есть этот фрагмент сети функционирует как одна большая БС. Такая сеть позволяет реализовать потенциал широкой вариативности конфигураций как в виде небольшой зоны вещания, состоящей из одной или нескольких БС, покрывающих квартал города, или же охватывать большую территорию – город, область, федеральный округ или даже страну. В одной сети могут сосуществовать как широкоэмитательные, так и обычные каналы, при этом ограниченные радиочастотные ресурсы могут динамически перераспределяться между каналами распространения контента в зависимости от возможностей мобильного оператора [19].

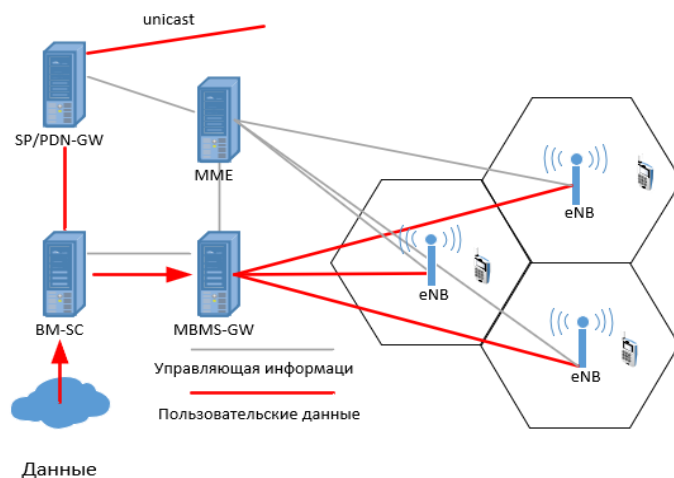


Рис. 1. Архитектура вещания LTE-Broadcast

Развитие беспроводных сетей поколения 5G направлено на предоставление широкого спектра услуг при обеспечении высокой скорости передачи данных. Постоянный и непрерывный рост мобильных устройств и приложений, сопровождаемый увеличением требований к пропускной способности, вынуждает технологии 5G поддерживать значительные объёмы передачи данных. Ключевым аспектом для архитектуры физического уровня таких систем является определение физических характеристик радиоинтерфейса.

Для сети 5G физические характеристики отличаются следующими показателями: спектральная эффективность в нисходящей линии 30 бит/с/Гц, пиковые скорости передачи данных 20 Гбит/с для нисходящей линии связи, задержка в 1 мс при поддержке мобильности в 500 км/ч и поддержка полосы пропускания до 1 ГГц при пропускной способности около 10 Мбит/с/м<sup>2</sup>. Показатели для восходящей линии не указаны, поскольку технологии 4G/LTE-A/eMBMS не предусматривает дуплексную работу. Для передачи применяется технология временного распределения OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access).

В сетях 4G для передачи данных применяется метод модуляции, основанный на мультиплексировании с ортогональным частотным разделением каналов (OFDM, Orthogonal Frequency Division Multiple). Однако у этого широко распространённого метода есть недостатки, такие как снижение спектральной эффективности из-за высоких боковых лепестков и строгие требования к синхронизации. В сетях 5G разрабатываются новые методы модуляции, направленные на улучшение качества связи.

Далее рассмотрим технические решения, направленные на оптимизацию многоадресной доставки контента абонентам в рамках концепции технологии 4G/LTE-A/eMBMS:

#### А) Агрегация слотов

В сетях 4G каждый временной интервал передачи (TTI, Time To Interactive) строится на двух основных компонентах: физическом канале управления нисходящей передачей (PDCCH, Packet Data Control Channel) и физическом канале для нисходящей передачи данных (PDSCH, Physical Downlink Shared Channel). PDCCH служит для передачи управляющей информации, включая планирование и управление доступом, занимая до 20% символов в подкадре (3 из 14), в то время как PDSCH используется для передачи пользовательских данных. Мобильные устройства (UE) считывают PDCCH, чтобы определить расположение своих данных в PDSCH. Однако постоянное присутствие PDCCH в каждом подкадре создаёт накладные расходы, снижая эффективность использования спектра, особенно в ширококвещательных сценариях, где требуется одновременная доставка контента множеству пользователей в разных зонах покрытия.

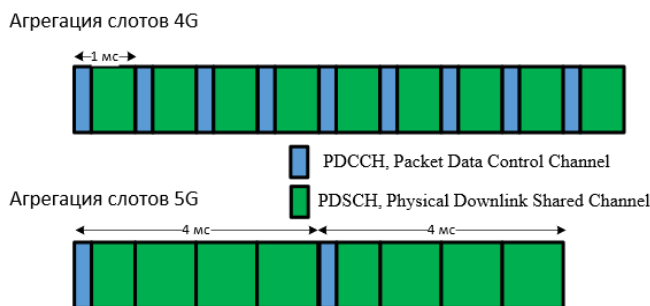


Рис. 2. Отличия в агрегации слотов между 4G и 5G

В сетях 5G для решения этой проблемы внедрена агрегация временных интервалов, которая оптимизирует ресурсы за счёт динамического регулирования управляющими сигналами. Базовые станции 5G (gNB) сохраняют данные нисходящего канала в буфере, анализируя объём трафика для каждого UE. Если устройству требуется передать большой объём данных (например, видео), gNB назначает PDCCH только в первом временном интервале, выделяя несколько слотов для передачи. Начиная со второго интервала, PDCCH отключается, и все 14 символов подкадра используются исключительно для передачи данных через PDSCH, что устраняет служебные расходы на управляющие сигналы, повышая пропускную способность и спектральную эффективность [20].

Такой подход особенно актуален для мультизональных сетей, где комбинируются макросоты и микросоты для плотной городской застройки. Агрегация слотов позволяет адаптировать ширококвещательный трафик под разные зоны:

использовать низкие частоты для удалённых регионов и миллиметровые волны для высокоскоростных сценариев. Это не только снижает задержки и улучшает качество обслуживания, но и освобождает ресурсы для фоновых задач, обеспечивая баланс между эффективностью и надёжностью в условиях растущего спроса на мультимедийный контент.

#### Б) Оптимизация ширококвещательного сегмента в мультизональных сетях через LDPC и полярные коды

В сетях 5G ключевым элементом улучшения ширококвещательного сегмента стало внедрение кодов проверки чётности низкой плотности (LDPC, Low-density parity-check code) и полярных кодов, которые превосходят традиционные турбокоды по эффективности. LDPC-коды демонстрируют повышенную устойчивость к ошибкам при передаче крупных транспортных блоков данных, что делает их оптимальными для ширококвещательных сервисов в мультизональных сетях, где требуется одновременная рассылка контента (например, стриминг или обновление программного обеспечения) на большие расстояния. Однако для контрольного трафика, не использующего крупные блоки, LDPC менее эффективен, поэтому в 5G применяются полярные коды. Эти коды, основанные на списочном декодировании (SC-List), способны приближаться к пределу Шеннона, обеспечивая выигрыш в 0,5 дБ по сравнению с турбокодами, что критично для управления трафиком в условиях высокой интерференции и динамической нагрузки [20].

В мультизональных сетях, сочетающих макро- и микросоты, такое разделение кодов позволяет гибко адаптироваться к требованиям разных зон: LDPC используется для высокоскоростной передачи в плотно населённых районах, а полярные коды для надёжного управления соединениями в удалённых или интерференционно-нагруженных регионах. Данное решение не только повышает спектральную эффективность и снижает задержки, но и оптимизирует использование ресурсов, освобождая каналы от избыточной служебной информации.

В результате, комбинация LDPC и полярных кодов становится ключевым инструментом для масштабируемых ширококвещательных рассылок, обеспечивая баланс между скоростью, надёжностью и адаптивностью в условиях растущего спроса на мультимедийный контент.

Современным развитием технологии MBMS является FeMBMS (Further evolved Multimedia Broadcast Multicast Service) [19]. Технология FeMBMS стала логическим развитием предыдущей технологии eMBMS и была разработана для удовлетворения новых требований к многоадресной передаче данных в сетях LTE и 5G. Основной целью разработки FeMBMS было преодоление ограничений eMBMS и адаптация технологии к новым сценариям использования, таким как трансляция видео высокой четкости (HDTV, 4K) и массовые рассылки данных в условиях высокой плотности абонентов.

Технология FeMBMS обеспечивает:

- поддержку большего расстояния между станциями благодаря использованию циклического префикса 200 мкс;
- мешанную MBMS/одноадресную передачу;
- специализированную передачу MBMS;
- новый тип подкадров;
- режим только приема и возможность бесплатной передачи.

Последним представленным этапом развития для технологии 5G является разработанная технология 5MBS (5G Multicast/Broadcast Services) [21], которая представляет собой дальнейшее развитие FeMBMS. Технология 5MBS решает ключевые задачи современных сетей связи, такие как массовая доставка контента высокого качества (например, видео 4K/8K), трансляция спортивных событий, обновления программного обеспечения для устройств IoT и другие сценарии, где требуется одновременная передача одного потока данных множеству пользователей.

Основные отличия между FeMBMS и 5MBS в подходе физической реализации передачи контента заключаются в:

1) структуре кадра: FeMBMS использует фиксированные MBSFN подкадры, тогда как 5MBS предлагает гибкую структуру с динамическим распределением ресурсов;

2) использовании радиочастотных ресурсов: FeMBMS менее эффективна в использовании спектра, тогда как 5MBS поддерживает динамическое распределение ресурсов;

3) методах модуляции: 5MBS поддерживает более современные методы модуляции, что обеспечивает более высокую пропускную способность;

4) зоне покрытия: 5MBS использует SFN в сочетании с beamforming, что увеличивает зону покрытия и улучшает качество приема.

Таким образом, 5MBS представляет собой значительное улучшение по сравнению с FeMBMS, адаптированное для удовлетворения потребностей сетей 5G. Между 5MBS и FeMBMS существуют значительные отличия в подходе к физической реализации передачи контента, особенно в контексте структуры кадра и способов использования радиочастотных ресурсов. Эти различия обусловлены тем, что технология FeMBMS разработана для сетей LTE, а 5MBS — для сетей 5G. Соответственно, наибольший интерес для реализации широкоэмитерного сегмента доставки контента в сети мобильного оператора для данного исследования представляет технология FeMBMS.

Одним из ключевых преимуществ использования FeMBMS является возможность применения большого количества OFDM-поднесущих. В частности, разнос поднесущих может быть уменьшен до 1,25 кГц, а защитный интервал увеличен до 200 мкс, что открывает перспективы для увеличения расстояния между вышками SFN-сети до 60 км, хотя на практике такой защитный интервал применяется не для увеличения расстояния, а для компенсации сильной многолучевости, но свой вклад в увеличение зоны обслуживания данное решение вносит. Кроме того, были разработаны специальные режимы передачи данных, предназначенные для вещания без конкуренции за радиочастотный спектр с использованием unicast-услуг (рис. 4).

В целях оптимизации процесса передачи данных в сетях LTE был разработан новый режим Transport-only. Он позволяет беспрепятственно передавать информацию в любом формате, в том числе данные, не соответствующие стандартам 3GPP. Для этого данные преобразуются в IP-пакеты, что позволяет различным провайдерам использовать одну и ту же сеть для предоставления разнообразных услуг.

Для того чтобы сделать технологию FeMBMS более привлекательной для пользователей и обеспечить её конкурентоспособность по сравнению с существующими вещательными сетями, предлагается вариант передачи данных только

в одном направлении, без обратной связи, позволяя использовать сервисы FeMBMS без использования SIM-карты.

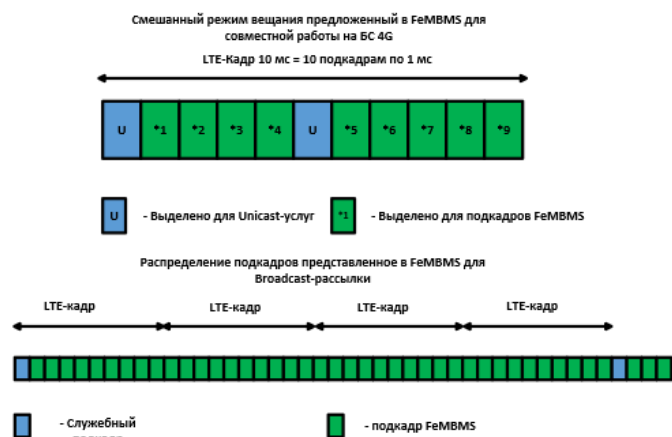


Рис. 4. Режим вещания в технологии FeMBMS

Однако внедрение FeMBMS сталкивается с определёнными сложностями. Так, для синхронизации сот необходимо использовать общие подкадры для всех каналов LTE. Кроме того, циклический префикс в подкадрах LTE составляет в максимальном варианте всего 16,6 мкс, в то время как для FeMBMS он должен быть не менее 200 мкс.

### 3 Использование топологии TowerOverlay для вещания мультимедийного трафика

Основная цель применения топологии TowerOverlay (TooL+) направлена на создание сети с возможностью совмещения функций сотовой и вещательной системы распространения с реализацией статического или динамического разделения спектра в рамках концепции High Tower High Power (НТНР, Высокая Башня Высокая Мощность) [22]. Топология TowerOverlay представляет собой сетевое решение для передачи многоадресных данных совместно с эффективной передачей вещательных сигналов. Такое решение направлено на снятие ограничения классической сотовой сети в необходимости задействования множества площадок для размещения оборудования.

В отличие от LTLР-сети (Low Tower Low Power, Низкая Башня Низкая Мощность), где для обеспечения покрытия требуется большое количество БС с ограниченной мощностью, расположенных на небольшой высоте, технология «TooL+» позволяет оптимизировать затраты на обслуживание сети как с точки зрения энергопотребления, так и с точки зрения оборудования. Кроме того, существующая инфраструктура НТНР может быть повторно использована для передачи данных LTE-A+ благодаря использованию кадров DVB-T2 (Digital Video Broadcasting Terrestrial 2, Цифровое наземное видеовещание телевидение второго поколения), зарезервированных для будущего использования (FEFs, Future Extension Frames) (рис. 5). Хотя стандарт DVB-T2 предполагает возможность приёма на мобильные устройства, в настоящее время ещё не произошло массового внедрения встроенных радиоприёмных модулей DVB-T2 в смартфоны и планшеты [26, 27]. Однако благодаря стандарту LTE-Advanced, есть возможность минимизировать изме-

нения в конструкции существующих чипсетов LTE, избегая необходимости установки дополнительных тюнеров радиоприёмных модулей DVB-T2.

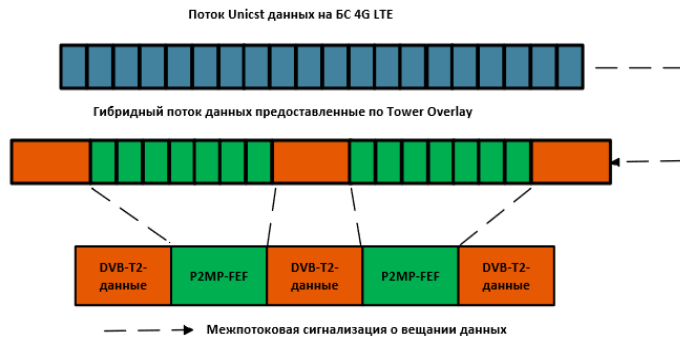


Рис. 5. Схема частотно-временного распределения DVB-T2/P2MP

Одним из ключевых нововведений является использование более длинного циклического префикса (CP), который оптимизирован для работы в условиях высокой плотности передачи данных. Это позволяет обеспечить более эффективное использование спектра и улучшить качество передачи данных.

Для минимизации дополнительных затрат, связанных с увеличением CP, также происходит увеличение длины OFDM символа за счёт уменьшения расстояния между поднесущими, что позволяет сохранить структуру формирования кадра LTE. Однако уменьшение интервала поднесущей ограничено целым делителем, что обеспечивает целостность и надёжность системы.

В контексте расширения временного интервала, каждый подкадр LTE, составляющий 1 мс, будет включать в себя всего два OFDM-символа вместо прежних двенадцати. Технология «Tower Overlay» использует опорные сигналы MBSFN (Multicast Broadcast Single Frequency Network, одночастотная сеть многоадресной и широковещательной передачи) для каждого OFDM-символа. Расстояние между двумя опорными несущими в частотной области было определено равным шести поднесущим, при этом смещение в три поднесущих происходило в каждом втором символе [23, 24].

С внедрением технологии FeMBMS различие между сигналами мобильной связи и цифрового телевидения по стандарту DVB-T2 стало практически несущественным. Это создаёт предпосылки для интеграции указанных технологий в единую архитектуру вещания. Представляется перспективным сочетание подходов, реализованных в системах TowerOverlay и FeMBMS, что открывает возможности для формирования новой концепции доставки мультимедийного контента.

Основой данной концепции выступает использование топологии TowerOverlay, ориентированной на перераспределение нагрузки за счёт перевода вещательного трафика в менее загруженные частотные поддиапазоны. Также в её рамках применяется разработанный в рамках стандарта FeMBMS режим передачи, основанный на принципах НТНР, позволяющий повысить устойчивость приёма и охват территории при снижении интерференционной нагрузки в сетях мобильной связи.

Анализ показал, что реализация данного подхода в мультизональных сетях мобильных операторов обеспечивает значительный рост эффективности использования доступных ресурсов, включая радиочастотный спектр и инфраструктурные мощности. При этом возрастает необходимость в повышении производительности вычислительных компонентов ядра сети, обусловленная усложнением алгоритмов распределения и управления потоками данных.

Особое внимание уделено роли многоадресных технологий, которые, выступая в качестве дополнения к одноадресной передаче, позволяют существенно снизить нагрузку на соответствующий сегмент сети. Преимущество такого подхода особенно заметно в условиях неоднородного покрытия, характерного для современных мультизональных сетей, где требуется гибкая балансировка ресурсов между зонами с различной плотностью абонентского оборудования.

На рисунке 6 представлена схема частотно-временного распределения, которая легла в основу разработанной концепции. Важным элементом является также интеграция механизма обратной связи с пользовательским оборудованием через сети 4G, обеспечивающая возможность динамической корректировки параметров вещания.

Данное решение направлено на оптимизацию использования радиочастотного ресурса в реальном времени в сетях пятого поколения и повышать качество предоставляемых услуг.

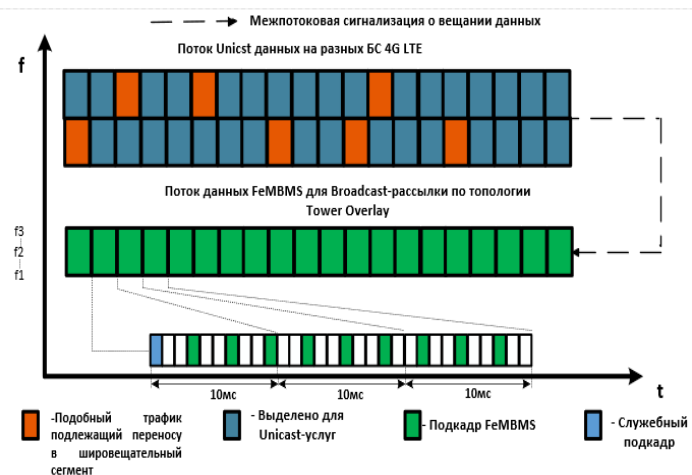


Рис.6. Схема частотно-временного распределения мультизонального вещания при совместном использовании технологии FeMBMS и Tower Overlay

В результате у мобильного оператора образуется потенциал взаимодействия топологии с использованием оборудования LTE-Advanced и 5G совместно с представленной концепцией реализации широковещательного сегмента [25]. Это позволяет в сети мобильной связи реализовать мультизональное покрытие, подразделенное на широковещательный и одноадресный сегмент, в которых применяются средства доставки 4G и 5G (рис. 7).

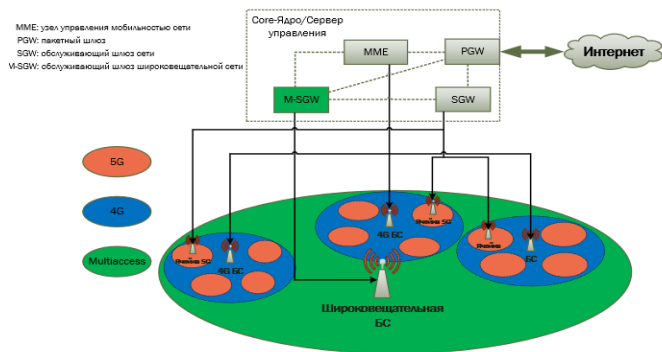


Рис. 7. Мультизоновое распределение покрытия в сети мобильного оператора

#### 4 Расчет зоны покрытия широковещательного сегмента мультизоновой сети

Для демонстрации потенциала предложенного подхода был проведен расчет зоны покрытия широковещательного сегмента мультизоновой системы мобильной связи, предназначенной для предоставления контента абонентам. В методике расчета применяются следующие положения:

1) На территории Российской Федерации для мобильной связи 4G используются частотные диапазоны, представленные в таблице 1. Операторами мобильной связи наиболее активно используются для предоставления одноадресных услуг диапазоны Band 1, Band 3, Band 7. Соответственно использование данных диапазонов для широковещательной доставки контента не является целесообразным ввиду чрезмерной загруженности, и, следовательно, наиболее перспективно использовать диапазоны Band 20 и Band 31.

2) Мощность передатчика для технологии LTE-Advanced для применения в широковещательном сегменте согласно Решению ГКРЧ № 17-44-06 составляет не более 43 дБм (20 Вт) при коэффициенте усиления антенны 19 дБ. Согласно ГОСТ Р 55696-2013 и решению ГКРЧ № 15-35-04 для цифрового наземного телевизионного вещания DVB-T/T2 мощность передатчика может быть увеличена до 10 кВт.

Таблица 1

Частотные диапазоны, используемые операторами мобильной связи в Российской Федерации

Номер диапазона	Диапазон, МГц	Режим дуплекса	Особенности использования
<b>Band 1</b>	2100 UL: 1920-1980 DL: 2110-2170	FDD	Использовался ранее в сетях UMTS, в настоящее время в сетях LTE
<b>Band 3</b>	1800 UL: 1710-1785 DL: 1805-1880	FDD	Широко используется в сетях LTE, особенно в регионах
<b>Band 7</b>	2600 UL: 2500-2570 DL: 2620-2690	FDD	Используется для высокоскоростного интернета в городах
<b>Band 20</b>	800 UL: 832-862 DL: 791-821	FDD	Используется в удаленных и сельских районах
<b>Band 31</b>	450 UL: 452,5-457,5 DL: 462,5-467,5	FDD	Очень хорошее покрытие
<b>Band 38</b>	2600 UL/DL: 2570-2620	TDD	Используется в основном в крупных городах (Москва, СПб)

#### Методика расчета

При расчете используется подход НТНР, предусматривающий вариативность высоты подвеса антенны БС в центре зоны обслуживания.

Расчет радиуса зоны обслуживания основан на принципе минимальной приемлемой напряженности поля для мощности передатчика 20/40/100/120/200 Вт. При этом учтены все необходимые потери и поправочные коэффициенты, включая затухание сигнала, влияние частоты и параметры антенны. Используется формула расчета потерь для свободного пространства (FPLS, Free Space Path Loss), дополнительно в методике расчета учтен фактор высоты подвеса антенны:

$$L_p = 32,44 + 20 \lg(R) + 20 \lg(f_0) + 20 \lg\left(\frac{1000}{h_t}\right) \quad (1)$$

где  $L_p$  - основные потери на трассе (дБ),  $R$  - расстояние между передающей и принимающей антенной (км),  $f_0$  - рабочая частота системы (МГц),  $h_t$  - высота подвеса передающей антенны над уровнем земли (м).

Расчет радиуса зоны покрытия по формуле (1) приводит к чрезмерно высоким значениям. Для определения радиуса зоны покрытия применяется Рекомендация МСЭ-R P.1546-6 [32], расчет проводится по формулам (2) - (6).

Эффективная изотропно излучаемая мощность EIRP (EIRP, Effective Isotropic Radiated Power):

$$EIRP = P_{\text{Пд}} + G_t - \eta_f \quad (2)$$

где  $P_{\text{Пд}}$  - мощность передаваемого сигнала от БС (в дБВт),  $G_t$  - усиление антенны передатчика (в дБ),  $\eta_f$  - потери на кабельном фидере между передатчиком и антенной (в дБ).

Для расчета влияния дополнительных потерь применяется отношение, которое включает следующие формулы:

$$E_p = EIRP - E_{\text{min}} + C_L \quad (3)$$

где  $E_p$  - максимальное значение напряженности поля, которое может быть достигнуто на заданном расстоянии с учётом поправок,  $C_L$  - поправочный коэффициент на местоположение.

Медианное значение напряженности поля для 50% времени и 50% пространства  $E(50,50)$  определяется выражением:

$$E(50,50) = E(50,1) + \Delta E(t) \quad (4)$$

где  $E(50,1)$  - медианное значение напряженности поля для 50% времени и 1 % пространства,  $\Delta E(t) = (15...18)$  дБ в зависимости от климата и типа местности (для умеренного климата и городской среды  $\Delta E(t) = 15$  дБ).

Напряженность поля помехи от мешающего передатчика:

$$E_{\text{помехи}} = EIRP_{\text{меш}} - L_p(R) \quad (5)$$

где  $EIRP_{\text{меш}}$  - эффективная изотропная излучаемая мощность сторонней передающей станции,  $L_p(R)$  - потери на трассе между передатчиком и приёмником, зависящие от расстояния  $R$ . Все эти переменные необходимы для проверки условия защиты от помех:

$$E_p - E_{\text{помехи}} \geq A_{\text{RCH}} + \Delta A \quad (6)$$

где  $A_{RCH}$  – минимально допустимое отношение сигнал/помеха,  $\Delta A$  – поправка на дополнительную защиту системы от помех.

*Результаты расчетов*

Расчеты радиуса зоны покрытия выполнены на частоте 800 МГц с учетом параметров антенны, мощности передатчика и требований к качеству сигнала, с использованием кривых напряженности поля в зависимости от высоты передающей антенны (для 1% времени), представленных в Рекомендации МСЭ-R P.1546-4. Исходные данные для расчета представлены в таблице 2.

Таблица 2

Исходные данные для расчета

Рабочая частота	$f = 800$ МГц
Коэффициент усиления передающей антенны:	$G_t = 11.7$ дБ
Мощность передатчика	$P_{Пд} = 20/40/100/120/200$ Вт
Высота базовой станции	$h_t = 30/50/100/200/400/500$ м
Высота приемной антенны	$h_r = 1,5$ м
Потери фидера снижения передающей антенны	$\eta_f = 2$ дБ
Минимальное значение напряженности поля	$E_{min} = 60$ дБ(мкВ/м)
Минимально допустимое отношение сигнал/помеха	$A_{RCH} = 22$ дБ
Поправка к защитному отношению	$\Delta A = 1$ дБ
Мощность передатчика мешающей станции	$P_{меш} = 25$ дБВт
Поправочный коэффициент на местоположение	$C_L = 9$ дБ
Напряженность поля для 50% мест и 1% времени	$E(50,1) = 27$ дБ(мкВ/м)

Полученные в результате расчета по формулам (1)-(6) для определения радиуса зоны покрытия согласно Рекомендации МСЭ-R P.1546-6 для свободного пространства данные (табл. 3) показывают, что технология НТНР имеет потенциал для использования благодаря большой зоне покрытия.

Таблица 3

Радиус зоны покрытия в зависимости от высоты подвеса передающей антенны для  $P_{Пд}=40$  Вт

Высота подвеса антенны, м	Радиус зоны покрытия, км
50	6,5
100	9,3
200	10,9
300	15,6
450	21,4
500	23,2

Однако приведенная выше методика расчета не обладает высокой точностью в условиях городской застройки или местности с переменным рельефом. Более высокая точность достигается при применении модели Окамура-Хатта с учётом Рекомендации ITU-R P.1546 для городской среды:

$$L_p = 69,55 + 26,16 \lg(f) - 13,82 \lg(h_t) - a(h_r) + (44,9 - 6,55 \lg(h_t)) \times \lg(R) \quad (7)$$

где  $h_t$  – высота передающей антенны (в метрах),  $h_r=1,5$  м – высота приёмной антенны (для мобильного устройства),  $a(h_r)$  – поправочный коэффициент, учитывающий влияние высоты приёмной антенны над уровнем земли  $h_r$ :

$$a(h_r) = (1,1 * \lg(f) - 0,7) * h_r - (1,56 * \lg(f) - 0,8) \quad (8)$$

Результаты расчета радиуса зоны покрытия согласно указанной модели представлены в таблице 4.

Таблица 4

Результат расчета радиуса зоны покрытия согласно модели Окамура-Хатта

$h_t$ , м	Радиус зоны покрытия, км для мощности передатчика $P_{Пд}$				
	20 Вт	40 Вт	100 Вт	120 Вт	200 Вт
30	1,6	1,9	2,5	2,7	3,1
50	1,9	2,2	2,8	3,0	3,4
100	2,5	2,9	3,7	3,9	4,5
200	3,5	4,1	5,2	5,5	6,3
400	5,3	6,2	7,9	8,4	9,6
500	5,6	6,6	8,4	8,9	10,1

Для наиболее точных расчетов зоны покрытия БС в городской среде применяется модель Уолфиша-Икегами в соответствии с соотношением:

$$L_p = L_{св.прост.} + L_{rt} + L_{sd} \quad (9)$$

где

$$L_{св.прост.} = 32,4 + 20 \lg(f) + 20 \lg(R)$$

$$L_{rt} = 53,7 + 17,3 h_r - 10,3 \lg(w) + 0,36 f - 0,7 h_t$$

$$L_{sd} = 18,7 \lg(b) + 1,9(\lg(b))^2 - 10,7 + 0,3 h_r$$

где  $w$  – ширина улицы,  $b$  – среднее расстояние между зданиями (плотность застройки).

Результаты расчета радиуса зоны покрытия согласно модели Уолфиша-Икегами представлены в таблице 5. Условие защиты от помех для расчета также выполняется, так как уровень помех  $E_{пом} = 52$  дБ(мкВ/м) менее 53 дБ(мкВ/м).

Таблица 5

Результат расчета радиуса зоны покрытия согласно модели Уолфиша-Икегами

$h_t$ , м	Радиус зоны покрытия, км для мощности передатчика $P_{Пд}$				
	20 Вт	40 Вт	100 Вт	120 Вт	200 Вт
30	1,0	1,2	1,6	1,7	2,0
50	1,3	1,5	1,9	2,1	2,4
100	1,7	2,0	2,6	2,8	3,3
200	2,4	2,9	3,7	4,0	4,6
400	3,2	3,8	4,9	5,3	6,1
500	3,6	4,2	5,5	5,9	6,8

*Анализ результатов*

В представленном исследовании проведен расчет радиуса зоны покрытия широкополосного сегмента по технологии LTE-eMBMs при максимально разрешенной мощности БС 20 Вт и типовой высоты подвеса антенны 30 м, который составил 1 км. Для предложенной в настоящей

работе улучшенной технологии Tower Overlay с зоной обслуживания мультисегментной системы мобильной связи с широкополосным сегментом при увеличении мощности передатчика и высоте подвеса антенны радиус зоны покрытия существенно возрастает (табл. 5). Расчет выполнен для цифровой модуляции 64-QAM на частоте 800 МГц с учетом параметров антенны, мощности передатчика и требований к качеству сигнала.

Таким образом, результат расчета показал преимущество подхода НТНР над существующим подходом с выигрышем по радиусу зоны покрытия от 1,2 до 6,8 раз в зависимости от характеристик применяемого оборудования.

Сравнительный анализ полученных результатов показал значительное преимущество мультисегментной системы с одноадресным и широкополосным сегментами по площади покрытия.

## 5 Заключение

В настоящей работе представлено исследование, посвященное интеграции многоадресной рассылки мультимедийного контента и адресной доставки данных в современных мобильных сетях. На основе проведенного анализа существующих технологий широкополосной передачи данных предложена новая концепция доставки мультимедийных данных, заключающаяся в использовании топологии Tower Overlay с переносом вещания в менее загруженный частотный поддиапазон и подхода НТНР с использованием технологии FeMBMs.

Предложенная концепция позволяет достичь в рамках мультисегментной сети мобильного оператора значительного прироста эффективности использования ресурсов оператора, включая частотный спектр и сетевую инфраструктуру. Отметим, что предложенная концепция одновременно предполагает повышение требований к вычислительной мощности ядра сети. Ключевым результатом работы является то, что многоадресные технологии как дополнение точечной адресации, обеспечивают уменьшение нагрузки на одноадресный сегмент сети мобильного оператора, что особенно критично для мультисегментной сети с неоднородным покрытием.

По результатам расчета зоны покрытия широкополосного сегмента мультисегментной сети проведенное сравнение показало преимущество предложенного в концепции подхода по величине радиуса зоны покрытия в 1,2...6,8 раз (при увеличении мощности передатчика и высоте подвеса антенны) по сравнению с типовым решением широкополосной доставки в сетях 4G (технология LTE-eMBMs). Местом установки передатчика в Москве может быть Останкинская телебашня.

Полученные результаты подтверждают, что интеграция многоадресных и одноадресных технологий доставки контента является перспективным направлением для развития мобильной связи. Результаты исследования могут быть внедрены операторами мобильной связи для оптимизации топологии сетей путем снижения капитальных и эксплуатационных затрат за счет рационального использования частотного спектра.

В дальнейшем исследовании целесообразно направить на тестирование метода в условиях высокой динамики нагруз-

ки, а также на адаптацию метода под специфические требования сетей 6G.

## Литература

1. *Бабкин В.А., Строгонова Е.П.* Методы оценки качества передачи данных в пакетных сетях связи // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2019. №11. С. 25-31. DOI: 10.24411/2072-8735-2018-10322.
2. *Malkovich O.B., Grychkin S.E., Stroganova E.P.* Investigation of Portable Communication Devices with Electrochemical Power Sources Application Features // Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on-Board Communications. 2022. pp. 1-5. DOI: 10.1109/IEEECONF53456.2022.9744368.
3. *Grychkin, S.E. Bushuev E.Y., Bolotov D.V., Kazantsev S.Y., Stroganova E.P.* Fiber-Optic Communication System Operation Under Electromagnetic Fields Influence // 2025 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF). 2025, pp. 1-5. DOI: 10.1109/WECONF65186.2025.11017169.
4. *Bushuev E.Y., Kazantsev S.Y., Stroganova E.P., Grychkin S.E., Kuznetsov S.N.* External factors influence on quantum cryptographic communication system with atmospheric line // 2025 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF). 2025. pp. 1-5. DOI: 10.1109/WECONF65186.2025.11017112.
5. *Babkin V., Stroganova E., Shagrov N.* Multiservice Networks Performance Monitoring Using the Threshold Model // 2025 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO). 2025. Pp. 1-5. DOI: 10.1109/SYNCHROINFO65403.2025.11079382.
6. *Babkin V. Stroganova E.* Monitoring of Packet Telecommunication Networks // 2025 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on-Board Communications. 2025. pp. 1-5. DOI: 10.1109/IEEECONF64229.2025.10948087.
7. *Babkin V.A. Stroganova E.P.* Integral Quality Indicators of Modern Communication Network Functioning // 2020 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO). 2020. pp. 1-5. DOI: 10.1109/SYNCHROINFO49631.2020.9166051
8. *Montalban J. et al.,* Broadcast Core-Network: Converging Broadcasting with the Connected World // IEEE Transactions on Broadcasting. 2021. V. 67. N 3. pp. 558-569. DOI: 10.1109/TBC.2021.3105026.
9. *Du J., Song J., Ren Y., Wang J.* Convergence of broadband and broadcast/multicast in maritime information networks // Tsinghua Science and Technology. 2021. Vol. 26, No. 5. Pp. 592-607. DOI: 10.26599/TST.2021.9010002.
10. *Lehr W., Queder F., Haucap J.* 5G: A new future for Mobile Network Operators, or not? // Telecommunications Policy. 2021. V. 45, N 3. 102086.
11. *Saily M., Estevan C., Gimenez J., Tesema F., Guo W., Gomez-Barquero D., Mi De.* 5G Radio Access Network Architecture for Terrestrial Broadcast Services // IEEE Transactions on Broadcasting. 2020. Vol. 66. No. 2, pp. 404-415. DOI: 10.1109/TBC.2020.2985906.
12. *Ahn S., Park S. -I., Lee, J. -Y. Hur and N. Kang J.* Cooperation Between LDM-Based Terrestrial Broadcast and Broadband Unicast: On Scalable Video Streaming Applications// IEEE Transactions on Broadcasting. 2021. V. 67, N. 1. pp. 2-22. DOI: 10.1109/TBC.2020.3028331.
13. *Gabilondo A., Morgade J., Viola R., Angueira P., Montalbán J.* Realising a vRAN based FeMBMS Management and Orchestration Framework // 2020 IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB). 2020, pp. 1-7. DOI: 10.1109/BMSB49480.2020.9379891.
14. *Мелихов Е.О., Строгонова Е.П.* Топология и функционирование сети мобильного оператора при комбинировании одноадресного и широкополосного сегментов. // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2024. Т. 18. № 5. С. 29-35. doi.org/10.36724/2072-8735-2024-18-5-29-35.

15. Melikhov E.O., Stroganova E.P. Intelligent Management of Combined Traffic in Promising Mobile Communication Networks. // 2024 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on-Board Communications. 2024, pp. 1-5. DOI: 10.1109/SYNCHROINFO61835.2024.10617611
16. Stroganova E.P., Melikhov E.O. Provision of Broadcast Multimedia Content in 5G Mobile Systems Using Satellite Broadcasting // 2024 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on-Board Communications. 2024. Т. 7. № 1. pp. 452-456. DOI: 10.1109/IEEECONF60226.2024.10496729.
17. Melikhov E.O., Stroganova E.P. Broadcast Content Distribution in 5G Mobile Networks Integrated with Satellites // 2025 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on-Board Communications. 2025, pp. 1-5. DOI: 10.1109/IEEECONF64229.2025.10948038.
18. Мелихов Е.О., Строгонова Е.П. Возможности широковещательного распространения медиаконтента в системах мобильной связи 5G // В сборнике: Технологии информационного общества. Сборник трудов XVIII Международной отраслевой научно-технической конференции. Москва, 2024. С. 37-38.
19. 3rd Generation Partnership Project (3GPP) Service Requirements for the 5G System; Stage 1 (Release 16), Tech. Rep. TS 22.261 V16.14.0, 2021.
20. 3rd Generation Partnership Project (3GPP) Multimedia Broadcast/Multicast Service (MBMS); Stage 1" Tech. Rep. TS22.146 V18.0.1, March. 2024.
21. 3rd Generation Partnership Project (3GPP). Architectural enhancements for 5G multicast-broadcast services. Tech. Rep TS 23.247, Jan. 2021.
22. Slimani, M., Reimers, U., Robert, J., Schlegel, P. et al. Results of the DVB-T2 Field Trial in Germany. IEEE Transactions on Broadcasting. 2015. Vol. 61, No. 2, pp. 177-194.
23. ITU-R BT.1877-3 (12/2020) Методы коррекции ошибок, формирования кадров, модуляции и излучения для систем цифрового наземного телевизионного вещания второго поколения и руководство по выбору этих систем.
24. Докучаев В.А., Маклачкова В.В., Статьев В.Ю. Классификация угроз безопасности персональных данных в информационных системах // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2020. Т. 14. № 1. С. 56-60.
25. Богачков И.В. Обнаружение натяжённых участков в оптических волокнах на основе метода бриллюэновской рефлектометрии // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2016. Т. 10. № 12. С. 85-91.
26. Варламов О.В. Организация одночастотных сетей цифрового радиовещания стандарта DRM. Особенности и результаты практических испытаний // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2018. Т. 12. № 11. С. 4-20.
27. Варламов О.В., Варламов В.О., Долгопятова А.В. Международная сеть DRM вещания для создания информационного поля в Арктике // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2019. Т. 13. № 9. С. 9-16.

## MULTICAST OF MULTIMEDIA CONTENT AND TARGETED DISTRIBUTION IN 4G / 5G MOBILE NETWORKS: FREQUENCY SPECTRUM OPTIMIZING METHODS AND COVERAGE AREA CALCULATING

Egor O. Melikhov, Moscow Technical University of Communications and Informatics, Moscow, Russia, [e.o.melikhov@edu.mtuci.ru](mailto:e.o.melikhov@edu.mtuci.ru)  
 Elena P. Stroganova, Moscow Technical University of Communications and Informatics, Moscow, Russia, [es@radiotest-mtuci.ru](mailto:es@radiotest-mtuci.ru)

### Abstract

The article considers the problem of data transmission in conditions of multi-zone coverage of 4G and 5G networks, which is very important given the growing demand of subscribers for various categories of delivered content. Particular attention is paid to the integration of multicast and addressed information delivery, which directly affects the efficiency of network resources and the quality of user service. Modern mobile communication systems are faced with growing consumption of multimedia content and the need to manage the limited resources of a mobile operator under high network load. The objective of the study is to evaluate a combined approach that includes broadcast transmission of multimedia content and addressed data delivery. A new concept of multimedia data delivery for the multicast segment is proposed, including topology, transfer of operating frequencies to less loaded ranges, and data delivery technology. The concept includes network topology, transfer of operating frequencies to less loaded radio frequency ranges and optimization of data transmission technology in 4G and 5G networks. The calculations performed for a multi-zone system showed an increase in the coverage area and an increase in the efficiency of using the frequency resource. The main results confirm the increase in the efficiency of network resource use, calculation of optimal coverage area parameters and reduction of the probability of failure due to adaptive load distribution. New opportunities for the development of hybrid network architectures that combine broadcast and personalized services are identified. The obtained results confirm that the integration of multicast and unicast content delivery technologies is a promising direction for the development of mobile communications. The results of the study can be implemented by mobile operators to improve the quality of subscriber service and the reliability of mobile communications.

**Keywords:** multimedia traffic, network topology, unicast network, broadcast technology, 4G, 5G

## References

- [1] V.A. Babkin, E.P. Stroganova, "Methods for assessing the quality of data transmission in packet communication networks," *T-Comm*. 2019. No. 11. pp. 25-31. DOI: 10.24411/2072-8735-2018-10322.
- [2] O.B. Malkovich, S.E. Grychkin, E.P. Stroganova, "Investigation of Portable Communication Devices with Electrochemical Power Sources Application Features," *Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on-Board Communications*. 2022. pp. 1-5. DOI: 10.1109/IEEECONF53456.2022.9744368.
- [3] S.E. Grychkin, E.Y. Bushuev, D.V. Bolotov, S.Y. Kazantsev, E.P. Stroganova, "Fiber-Optic Communication System Operation Under Electromagnetic Fields Influence," *2025 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF)*. 2025, pp. 1-5. DOI: 10.1109/WECONF65186.2025.11017169.
- [4] E.Y. Bushuev, S.Y. Kazantsev, E.P. Stroganova, S.E. Grychkin, S. N. Kuznetsov, "External factors influence on quantum cryptographic communication system with atmospheric line," *2025 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF)*. 2025. pp. 1-5. DOI: 10.1109/WECONF65186.2025.11017112.
- [5] V. Babkin, E. Stroganova, N. Shagrov, "Multiservice Networks Performance Monitoring Using the Threshold Model," *2025 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO)*. 2025, pp. 1-5. doi: 10.1109/SYNCHROINFO65403.2025.11079382.
- [6] V. Babkin, E. Stroganova, "Monitoring of Packet Telecommunication Networks," *2025 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on-Board Communications*. 2025, pp. 1-5. DOI: 10.1109/IEEECONF64229.2025.10948087.
- [7] V.A. Babkin, E.P. Stroganova, "Integral Quality Indicators of Modern Communication Network Functioning," *2020 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO)*. 2020, pp. 1-5. DOI: 10.1109/SYNCHROINFO49631.2020.9166051
- [8] J. Montalban et al., "Broadcast Core-Network: Converging Broadcasting with the Connected World," *IEEE Transactions on Broadcasting*. 2021. Vol. 67. No. 3, pp. 558-569. DOI: 10.1109/TBC.2021.3105026.
- [9] J. Du, J. Song, Y. Ren, J. Wang, "Convergence of broadband and broadcast/multicast in maritime information networks," *Tsinghua Science and Technology*. 2021. Vol. 26, No. 5, pp. 592-607. DOI: 10.26599/TST.2021.9010002.
- [10] W. Lehr, F. Queder, J. Haucap J. 5G: A new future for Mobile Network Operators, or not? // *Telecommunications Policy*. 2021. V. 45, N 3. 102086.
- [11] Saily M., Estevan C., Gimenez, F. Tesema, W. Guo, D. Gomez-Barquero, Mi De, "5G Radio Access Network Architecture for Terrestrial Broadcast Services," *IEEE Transactions on Broadcasting*. 2020. Vol. 66. No. 2, pp. 404-415. DOI: 10.1109/TBC.2020.2985906.
- [12] S. Ahn, S. -I. Park, J. -Y. Lee, N. Hur and J. Kang, "Cooperation Between LDM-Based Terrestrial Broadcast and Broadband Unicast: On Scalable Video Streaming Applications," *IEEE Transactions on Broadcasting*. 2021. Vol. 67, No. 1, pp. 2-22. DOI: 10.1109/TBC.2020.3028331.
- [13] A. Gabilondo, J. Morgade, R. Viola, P. Angueira, J. Montalban, "Realising a vRAN based FeMBMS Management and Orchestration Framework," *2020 IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB)*. 2020, pp. 1-7. DOI: 10.1109/BMSB49480.2020.9379891.
- [14] E.O. Melikhov, E.P. Stroganova, "Topology and functioning of the mobile operator's network when combining unicast and broadcast segments," *T-Comm*. 2024. Vol. 18. No. 5, pp. 29-35. DOI: 10.36724/2072-8735-2024-18-5-29-35 .
- [15] E.O. Melikhov, E.P. Stroganova, "Intelligent Management of Combined Traffic in Promising Mobile Communication Networks," *2024 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on-Board Communications*. 2024, pp. 1-5. DOI: 10.1109/SYNCHROINFO61835.2024.10617611
- [16] E.P. Stroganova, E.O. Melikhov, "Provision of Broadcast Multimedia Content in 5G Mobile Systems Using Satellite Broadcasting," *2024 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications*. 2024. Vol. 7. No. 1, pp. 452-456. DOI: 10.1109/IEEECONF60226.2024.10496729.
- [17] E.O. Melikhov, E.P. Stroganova, "Broadcast Content Distribution in 5G Mobile Networks Integrated with Satellites," *2025 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on-Board Communications*. 2025, pp. 1-5. DOI: 10.1109/IEEECONF64229.2025.10948038.
- [18] E.O. Melikhov, E.P. Stroganova, "Possibilities of broadcast distribution of media content in 5G mobile communication systems," *In the collection: Information Society Technologies. Proceedings of the XVIII International Industrial Scientific and Technical Conference*. Moscow, 2024, pp. 37-38.
- [19] 3rd Generation Partnership Project (3GPP) Service Requirements for the 5G System; Stage 1 (Release 16), Tech. Rep. TS 22.261 V16.14.0, 2021.
- [20] 3rd Generation Partnership Project (3GPP) Multimedia Broadcast/Multicast Service (MBMS); Stage 1" Tech. Rep. TS22.146 V18.0.1, March. 2024.
- [21] 3rd Generation Partnership Project (3GPP). Architectural enhancements for 5G multicast-broadcast services.Tech. Rep TS 23.247, Jan. 2021.
- [22] M. Slimani, U.Reimers, J. Robert, P. Schlegel, et al., "Results of the DVB-T2 Field Trial in Germany" *IEEE Transactions on Broadcasting*, Vol. 61 (2015), No. 2, pp. 177-194
- [23] ITU-R BT.1877-3 (12/2020) Error correction, framing, modulation, and emission methods for second-generation digital terrestrial television broadcasting systems and guidelines for selecting these systems.em.
- [24] V.A. Dokuchaev, V.V. Maklachkova, V.Yu. Statev, "Classification of personal data security threats in information systems," *T-Comm*, 2020, vol. 14, no.1, pp. 56-60.
- [25] I.V. Bogachkov, "A detection of strained sections in optical fibers on basis of the brillouin relectometry method," *T-Comm*. 2016. Vol. 10. No.12, pp. 85-91.
- [26] O.V. Varlamov, "Organization of single frequency DRM digital radio broadcasting networks. Features and results of practical tests," *T-Comm*, 2018, vol. 12, no.11, pp. 4-20.
- [27] O.V. Varlamov, V.O. Varlamov, A.V. Dolgopyatova, "DRM broadcasting international network to create an information field in the Arctic region," *T-Comm*, 2019. vol. 13, no.9, pp. 9-16.

## Information about authors:

**Egor O. Melikhov**, Moscow Technical University of Communications and Informatics, Postgraduate student, Moscow, Russia

**Elena P. Stroganova**, Moscow Technical University of Communications and Informatics, Professor, Moscow, Russia