



**Харисов В.И.**  
**Kharisov V.I.**

кандидат экономических наук, доцент  
кафедры «Проектный менеджмент и экономика предпринимательства»,  
ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»,  
г. Уфа,  
Российская Федерация



**Мавлиханов Р.А.**  
**Mavlikhanov R.A.**

студент кафедры  
«Проектный менеджмент и экономика предпринимательства»,  
ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»,  
г. Уфа,  
Российская Федерация



**Ваганова А.И.**  
**Vagarova A.I.**

студент кафедры  
«Проектный менеджмент и экономика предпринимательства»,  
ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»,  
г. Уфа,  
Российская Федерация

УДК 004.77:334

DOI: 10.17122/2541-8904-2025-2-52-94-106

## РАЗРАБОТКА СЕРВИСА МОБИЛЬНОЙ АГРЕГАЦИИ ТРАФИКА НА ОСНОВЕ ОТКРЫТЫХ РЕШЕНИЙ

**Аннотация.** В условиях цифровизации экономики стабильный доступ к высокоскоростному Интернету становится критическим фактором для развития малого и среднего предпринимательства (МСП). В работе рассмотрена проблема недостаточного качества подключения к глобальной сети в удалённых и загородных районах России, препятствующего эффективной интеграции цифровых технологий в бизнес-процессы. Проанализированы существующие технологии повышения качества интернет-соединения – агрегация, бриджинг, балансировка. Особое внимание уделено агрегации трафика как наиболее перспективному решению для обеспечения отказоустойчивого и быстрого Интернета. Также представлена практическая реализация решения на основе открытых технологий, позволяющая объединять несколько мобильных соединений в единый высокоскоростной канал. Сделан вывод о необходимости развития сервисов по профессиональной настройке и поддержке агрегированных каналов для успешной цифровой трансформации МСП.

**Ключевые слова:** цифровизации экономики, субъекты малого и среднего бизнеса, мобильная агрегация трафика, бриджинг, бондинг.

## DEVELOPMENT OF A MOBILE TRAFFIC AGGREGATION SERVICE BASED ON OPEN-SOURCE SOLUTIONS

**Abstract.** In the context of the digitalization of the economy, stable access to high-speed Internet is becoming a critical factor for the development of small enterprises. The paper considers the problem of insufficient connection quality in remote and rural areas of Russia, which prevents the effective integration of digital technologies into business processes. The existing technologies for improving the quality of Internet connection – aggregation, bridging, balancing – are analyzed. A practical implementation of an open-technology solution is also presented, allowing multiple mobile connections to be combined into a single high-speed channel. It is concluded that it is necessary to

develop services for professional configuration and support of aggregated channels for successful digital transformation of enterprises.

**Key words:** digitalization of the economy, small businesses, mobile traffic aggregation, bridging, bonding.

**Основные положения.** Результаты научного исследования показывают, что малые и средние предприятия (МСП) особенно уязвимы к проблемам с интернет-соединением, поскольку их конкурентоспособность и эффективность всё в большей степени зависят от онлайн-торговли, дистанционного взаимодействия с клиентами, работы с облачными сервисами и цифровыми инструментами аналитики.

Однако в условиях российских реалий – обширной территории и значительных инфраструктурных разрывов между городами и сельскими районами – стабильный Интернет остаётся недоступным для значительной части предпринимателей, особенно в загородной и удалённой местности. Высокая стоимость спутникового Интернета, ограничение мобильного Интернета по скорости и объёму трафика создают серьёзные барьеры для цифрового развития бизнеса.

По мнению авторов статьи, сервис мобильной агрегации трафика может послужить основой для решения данных технологических проблем, с которыми сталкиваются субъекты малого и среднего бизнеса в ряде регионов России. Анализируются технологии повышения качества интернет-соединения, их преимущества и ограничения. Обосновывается, почему агрегация каналов является важным инструментом для поддержания стабильности бизнес-процессов МСП в условиях структурных ограничений развития данной инфраструктуры.

### Введение

В современном бизнесе, где значительная часть процессов переходит в онлайн-формат, стабильный доступ к Интернету становится неотъемлемой частью успешной коммерческой деятельности.

Малые и средние предприятия в таких отраслях, как торговля, услуги, гостиничный и ресторанный бизнес, а также в сфере образования и здравоохранения, особенно остро

нуждаются в качественном интернет-соединении. Субъекты МСП используют глобальную сеть для выполнения ключевых задач, таких как электронная коммерция, взаимодействие с клиентами, управление запасами, а также для обеспечения внутренней связи и обмена данными.

Наличие высокоскоростного Интернета позволяет МСП оптимизировать свои операции, улучшить коммуникацию с клиентами и партнёрами, а также внедрять современные технологии, такие как облачные сервисы и аналитические инструменты. Повышение конкурентоспособности предприятий, их более эффективная адаптация к изменениям на рынке и оперативное реагирование на потребности клиентов напрямую зависят от качества интернет-соединения.

Таким образом, услуги интернет-провайдеров не только способствуют развитию инфраструктуры, но и являются основой для цифровой трансформации малых предприятий, что в итоге влияет на их устойчивость и успешность в условиях быстро меняющейся экономической среды.

ИП и самозанятые представляют собой важный сегмент экономики, способствующий созданию рабочих мест и увеличению налоговых поступлений. Однако, несмотря на их значимость, многие из этих субъектов сталкиваются с ограниченными финансовыми ресурсами, что существенно сужает их возможности для развития и внедрения современных технологий.

Когда многие бизнес-процессы переходят в онлайн, недостаток финансовых средств может стать серьёзным препятствием для предпринимателей в обеспечении стабильного и высокоскоростного Интернета, а также в доступе к другим необходимым ресурсам и инструментам. Высокие затраты на подключение к качественным интернет-услугам и техническую инфраструктуру могут привести к тому, что эти субъекты не

смогут полностью реализовать свой потенциал и эффективно конкурировать на рынке.

**Методы.** В статье применялись методы сравнительного анализа и статистических наблюдений, контент-анализ научной литературы на основе репрезентативных данных, представленных в открытых источниках информации. Авторы статьи отмечают, что ключевыми аспектами цифровизации являются автоматизация процессов, использование облачных технологий, внедрение искусственного интеллекта и аналитики больших данных. Эти элементы требуют надежного и высокоскоростного Интернета, так как эффективность их применения во многом зависит от качества и стабильности соединения. Следовательно, проблематика статьи направлена не только на текущий анализ процессов развития субъектов малого и среднего бизнеса в контексте цифровизации, но и интересна с точки зрения исследования возможностей альтернативных технологических решений, обеспечивающих повышение качества интернет-соединения для бизнеса. При анализе перспектив развития Рунета использованы аналитические отчеты и статистические данные таких организаций, как: координационный центр национального домена сети Интернет, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» (аналитический доклад «Тенденции развития интернета в России и зарубежных странах»), Росстат (статистические данные по регионам РФ), а также массивы данных и информации Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций РФ (Интернет в России, 2023).

**Результаты.** Российский рынок провайдеров Интернета представляет собой динамично развивающийся сегмент, ориентированный на потребности пользователей в стабильном и высокоскоростном подключении. В условиях увеличивающегося спроса на интернет-услуги, особенно в контексте удаленной работы и онлайн-образования, возрастает значение предложений от интернет-провайдеров – телекоммуникационных компаний, предоставляющих услуги доступа к сети Интернет и сопутствующие сервисы.

К основным услугам российских интернет-провайдеров относятся:

- широкополосный доступ в Интернет — обеспечивает пользователей высокоскоростным подключением для работы и развлечений;

- коммутируемый доступ в Интернет – позволяет подключаться к сети через телефонные линии, хотя данный вид доступа постепенно теряет популярность;

- беспроводной доступ в Интернет – предоставляет возможность подключения без проводов, что особенно удобно для мобильных пользователей;

- выделение дискового пространства для хранения и обеспечения работы сайтов (хостинг) – позволяет компаниям и индивидуальным пользователям размещать свои веб-ресурсы;

- поддержка электронных почтовых ящиков или виртуального почтового сервера – предоставляет услуги для обработки и хранения электронной почты;

- размещение оборудования клиента на площадке провайдера (колокация) – позволяет компаниям хранить свои серверы в защищенном и надежном центре обработки данных;

- аренда выделенных и виртуальных серверов (VPS, VDS) – предоставляет пользователям гибкие решения для управления своими ресурсами.

Разнообразие услуг и высокий уровень конкуренции на российском рынке интернет-провайдеров способствуют улучшению качества связи и расширению доступных опций для конечного пользователя.

Глобальная сеть является неотъемлемой частью современной трансформации всех сфер жизни и бизнеса – цифровизации, которая включает в себя внедрение информационных и коммуникационных технологий в бизнес-процессы, а также интеграцию цифровых решений в повседневную деятельность. Для современного бизнеса без доступа к Интернету становится невозможным реализовать современные решения, такие как электронная коммерция, виртуальное сотрудничество и онлайн-обслуживание клиентов.

Е-commerce в структуре российского предпринимательства охватывает всё большую долю рынка. Так, число индивидуальных предпринимателей, зарегистрированных в сфере цифровой торговли, выросло в 6,6 раз за последние три года, а юридических лиц – в 3 раза [5]. Виртуальное сотрудничество – модель партнёрства между компаниями, организациями или отдельными специалистами, основанная на цифровых технологиях и удалённом взаимодействии, что помогает снизить издержки, повысить гибкость и мобильность и повысить эффективность [8].

Онлайн-обслуживание в России активно развивается, занимая всё более значимое

место в экономике. В то же время граждане всё чаще отказываются от оффлайн-посещения. Например, в банковском секторе 2/3 клиентов отказались от классического обслуживания в пользу дистанционного формата [9].

Также заметна структура изменения сектора субъектов малых и средних предприятий, которые активно используют цифровые технологии для расширения своих возможностей и повышения конкурентоспособности. Для анализа рынка рассмотрим динамику развития субъектов МСП в России на основе данных Росстата, которые отражены на рисунке 1 [14].

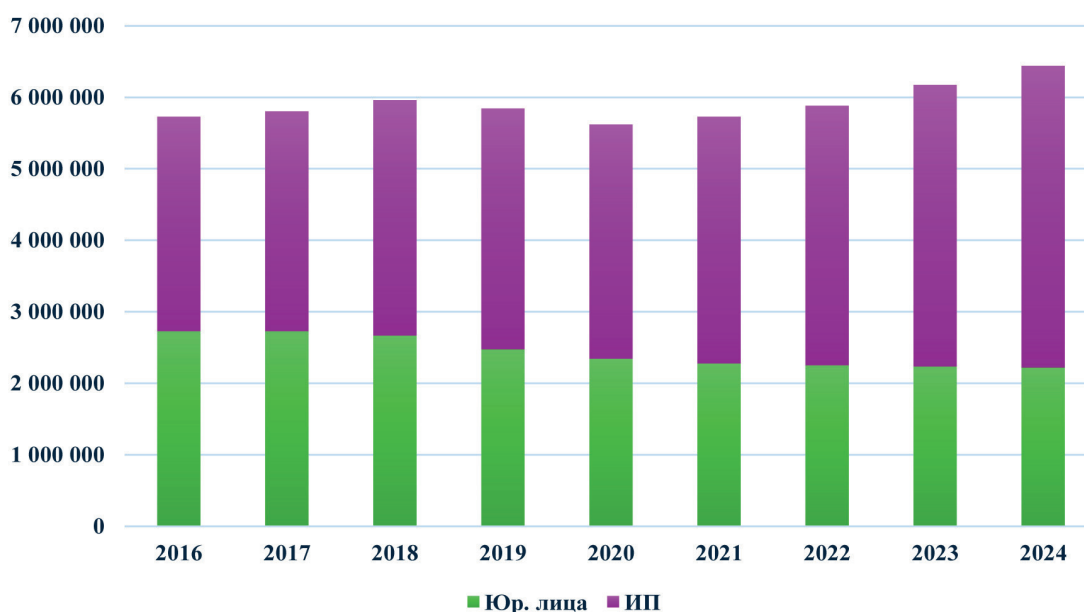


Рисунок 1. Динамика структуры МСП РФ с 2016 по 2024 гг.

В период с 2016 по 2024 годы наблюдается выраженная тенденция роста числа индивидуальных предпринимателей (ИП) и сокращение числа юридических лиц среди МСП. С 2016 по 2024 годы количество ИП увеличилось с 2 999 411 до 4 218 021, что составляет рост на 40,7 %. Это особенно заметно с 2021 года, когда начался устойчивый подъем в секторе индивидуального предпринимательства, что связано с активной цифровизацией и упрощением ведения бизнеса.

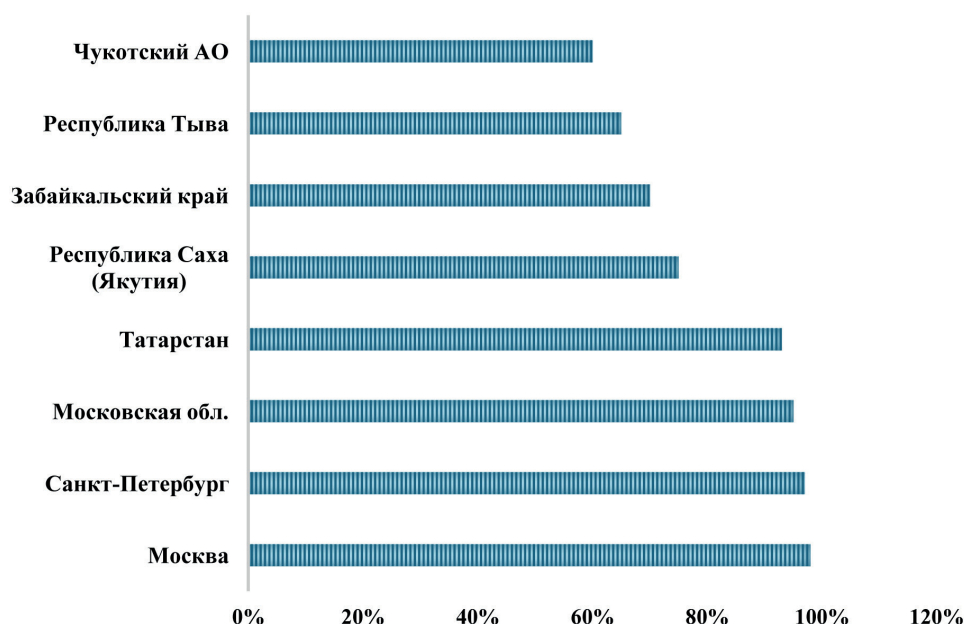
Одновременно с этим число юридических лиц среди МСП показало спад, сократившись

с 2 727 504 в 2016 году до 2 219 400 в 2024 году, что составляет снижение на 18,6 %. Это снижение может быть обусловлено более жесткими регуляторными требованиями для юридических лиц, а также тем, что многие предприниматели предпочли формат ИП благодаря его более простым условиям для ведения бизнеса. Таким образом, общая картина демонстрирует значительный рост числа субъектов МСП за счет увеличения доли ИП, что указывает на необходимость использования цифровых решений для поддержания стабильной работы этих предприятий.



Рассматривая статистику охвата организаций малого и среднего бизнеса широкополосным доступом к Интернету, нельзя не отметить, что ситуация в этой сфере во многом определяется географией расположения бизнеса. К примеру, в крупных городах РФ

порядка 90 % МСП имеют доступ к широкополосному Интернету. При этом в ряде субъектов РФ охват может быть значительно скромнее, достигая 60-65 % по состоянию на 2024 год (рис. 2).



**Рисунок 2.** Статистика охвата организаций малого и среднего бизнеса широкополосным доступом к Интернету в ряде регионов РФ

Решение проблемы ликвидации цифрового неравенства в субъектах РФ является важнейшим императивом государственной политики. В соответствии с проектом Стратегии развития отрасли связи, к 2030 году должна быть полностью завершена разработка современного оборудования отечественного производства стандартов 5G и 6G-Ready [2]. Как отмечают специалисты Координационного центра национального домена сети Интернет, дальнейшее развитие технологий фиксированного и мобильного доступа к глобальной сети связано с конвергенцией технологических решений для формирования новых платформ по предоставлению цифровых сервисов бизнесу [1].

Рост числа малых и средних предприятий оказывает прямое влияние на развитие рынка интернет-провайдеров, особенно в коммерческом секторе. МСП всё активнее используют цифровые технологии для расширения биз-

неса и повышения своей конкурентоспособности. В условиях растущей цифровизации и удаленной работы потребность в стабильном, быстром и надежном интернет-соединении становится критически важной для ведения бизнеса. Увеличение числа субъектов МСП усиливает спрос на качественные интернет-решения, способные поддерживать бесперебойную работу онлайн-сервисов, обработку больших объемов данных и стабильное подключение к удаленным сервисам.

Схожая динамика актуальна и для потребительского сектора. Согласно данным, в 2022 году в России насчитывалось 129,8 млн интернет-пользователей, что на 4,7 % больше, чем годом ранее [6]. Причём основная их часть – жители городов. Жители загородных домов также требуют надежного подключения для работы, учебы и досуга, что делает Интернет неотъемлемой частью их повседневной жизни. Однако доступ к высокоско-

ростному Интернету в удаленных районах остается проблемой. В сельских населённых пунктах России около 43,5 % населения не имеют доступа к Интернету, а в сёлах с населением до 1000 жителей данный показатель может достигать 50 % [10].

Тенденция к переезду за город, активно набирающая обороты в последние годы, оказывает значительное влияние на рынок интернет-услуг. По данным исследований, 82 % россиян стремятся к владению загородной недвижимостью, предпочитая тишину и более размеренный темп жизни по сравнению с городом. Тренд выбора загородного образа жизни особенно актуален для молодежи в возрасте от 31 до 35 лет, которая все чаще рассматривает загородные дома как пространство для постоянного проживания. Переезд за город также способствует снижению затрат на жилье и проживание, поскольку стоимость загородной недвижимости оказывается более доступной по сравнению с городской [12].

Оба потребительских сегмента, B2B и жители загородных домов, вынуждены столкнуться с высокой стоимостью интернет-подключения. Для коммерческого Интернета ценник может быть в 10 раз выше, чем у пользователей домашнего Интернета [7].

Спутниковый Интернет предоставляет покрытие практически в любом удаленном месте, что является его основным преимуществом, особенно в районах, где нет наземной инфраструктуры. Данный тип подключения обеспечивает независимость от мобильных сетей и может быть единственным вариантом для труднодоступных территорий. Однако спутниковый Интернет обходится в несколько десятков раз дороже по сравнению с традиционным домашним Интернетом из-за высокой стоимости спутникового оборудования и сложности передачи сигнала. Также его ско-

рость может варьироваться в зависимости от погодных условий и загруженности сети, а высокая латентность делает его менее удобным для задач, требующих быстрого отклика, таких как видеоконференции и онлайн-игры.

Мобильный Интернет на базе 3G и 4G представляет собой более доступное решение, но его качество и скорость в загородных районах значительно уступают городскому проводному Интернету. В России мобильные операторы не предлагают безлимитных тарифов на Интернет, что означает ограниченный объем трафика для пользователей. Данное ограничение, наряду с более низкой скоростью по сравнению с проводным Интернетом и нестабильным сигналом даже в городах, создает дополнительные трудности для пользователей в загородной местности. В условиях загородного проживания могут потребоваться усилители сигнала и антенны, чтобы обеспечить хотя бы базовую стабильность подключения.

Таким образом, оба существующих метода подключения к Интернету для загородных жителей имеют свои ограничения и недостатки. Спутниковый Интернет остается дорогим вариантом с ограниченной скоростью и высокой задержкой, что делает его малоприменимым для задач, требующих устойчивого и быстрого соединения. Мобильный Интернет, хоть и более доступен по стоимости, также ограничен по объему трафика из-за отсутствия безлимитных тарифов и зачастую уступает по стабильности и скорости традиционному домашнему Интернету, особенно в загородной местности.

В связи с этим появляется необходимость в развитии технологий для повышения качества интернет-соединения. В таблице 1 рассмотрены основные технологии данного направления [4, 9, 13].

**Таблица 1.** Технологии повышения качества интернет-соединения

Наименование технологии	Описание	Преимущества	Недостатки
Агрегация, бондинг (Channel Bonding)	Метод объединения нескольких интернет-каналов в один виртуальный канал, при котором трафик одного соединения	Увеличение скорости, отказоустойчивость, подходит для видеоконференций и онлайн-	Требуется серверная поддержка и специализированное программное обеспечение

	распределяется между всеми каналами для увеличения пропускной способности и повышения надежности соединения	трансляций	
Бриджинг (Bridging)	Процесс объединения нескольких сетей на канальном уровне для создания единого логического сегмента с общим адресным пространством и беспроводной передачей данных между устройствами	Обеспечение бесшовного соединения, минимизация задержек	Не увеличивает пропускную способность сети
Балансировка (Load Balancing)	Метод равномерного распределения сетевого трафика между несколькими каналами для оптимизации загрузки каналов, повышения стабильности и производительности сети	Улучшает производительность сети, снижает задержки, стабильная работа под нагрузкой	Не увеличивает скорость для одного соединения

Технологии бондинга, бриджинга и балансировки имеют свои уникальные особенности, которые позволяют решать различные задачи в сфере улучшения интернет-соединений. Бондинг обеспечивает максимальное увеличение скорости и отказоустойчивость, но требует поддержки со стороны серверов, что ограничивает его применимость. Бриджинг полезен для создания единого сетевого пространства и уменьшения задержек, но не увеличивает пропускную способность. Балансировка эффективно распределяет трафик между каналами и поддерживает стабильность при высоких нагрузках, однако не дает прироста скорости для отдельных соединений. Таким образом, агрегация интернет-каналов представляет собой эффективное решение для обеспечения стабильного и быстрого доступа к Интернету как для МСП, так и для частных пользователей, поскольку именно она подразумевает повышение скорости. В отличие от Китая, где агрегация трафика интегрирована в урбанизационные стратегии [3], в России доминирует адресный подход, что ограничивает масштабируемость.

Немаловажно отметить, что применение технологий повышения пропускной способности требует наличия определенных технических навыков и знаний, что затрудняет ее реализацию для простого пользователя или владельца бизнеса. Данный процесс включает в себя работу с серверным оборудованием, например, с Debian-серверами, а также архитектурное проектирование сети, выбор и

покупку необходимого оборудования, его установку и настройку.

Каждый из этих этапов требует специальной квалификации и опыта. Например, проектирование сети требует понимания принципов работы различных технологий, оценки потребностей в пропускной способности и надежности соединения, а также навыков по интеграции различных типов интернет-соединений. Настройка серверного оборудования, включая его конфигурацию и оптимизацию, также требует глубоких технических знаний.

Таким образом, для обеспечения эффективной агрегации интернет-каналов необходимо привлечение специалистов, обладающих соответствующими компетенциями. Значимость разработки и предоставления услуг профессиональными провайдерами, способными предложить комплексные решения по агрегации интернет-каналов для конечных пользователей и бизнесов, существенно возрастает, поскольку такие решения позволяют сосредоточиться на основной деятельности без необходимости вникать в сложные технические аспекты.

Кроме того, для пользователей, будь то частные лица или владельцы бизнеса, критически важна возможность без проблем пользоваться качественными интернет-услугами. В условиях быстроменяющегося мира и увеличивающейся нагрузки на интернет-соединение у них зачастую нет времени и ресурсов для наладки оборудования и решения техни-

ческих вопросов, связанных с агрегацией каналов.

Пользователи ожидают, что Интернет будет работать надежно и стабильно без необходимости в постоянном вмешательстве с их стороны, что создает дополнительный запрос на услуги, предоставляемые профессиональными провайдерами, которые способны не только обеспечить качественное соединение, но и взять на себя все аспекты настройки и обслуживания оборудования.

В результате пользователи в лице физических и юридических лиц могут сосредоточиться на своих основных задачах и получать от Интернета те преимущества, которые он предлагает, без необходимости тратить время на технические детали. Таким образом, подчеркивается важность доступных и высококачественных услуг интернет-провайдеров в условиях, когда стабильный доступ к сети становится основой для успешного ведения бизнеса.

**Особенности реализации сервиса агрегации трафика на основе открытых технологий.** Анализ существующих решений показывает, что современные технологии агрегации интернет-трафика можно условно разделить на две основные категории: открытые (основанные на использовании свободно распространяемого программного обеспечения с открытым исходным кодом) и закрытые (коммерческие, проприетарные) системы. Среди открытых решений наибольшее распространение получили:

1) OpenMPTCProuter – специализированная программная платформа, реализующая протокол Multipath TCP (MPTCP) для объединения нескольких каналов связи, оптимизи-

рованная для работы как с мобильными, так и со стационарными сетями;

2) MPTCP в ядре Linux – низкоуровневая реализация протокола, предоставляющая пользователю полный контроль над процессами агрегации, однако требующая значительных усилий по настройке;

3) ZeroTier в сочетании с MPTCP – комбинированный подход, предусматривающий использование виртуальных сетей ZeroTier для организации маршрутизации трафика и обеспечения дополнительной гибкости.

К числу закрытых решений относятся коммерческие продукты, такие как Speedify (запрещён в России, потому что предоставляет доступ к запрещённым ресурсам), ориентированный на пользователей, нуждающихся в интуитивно понятной настройке через VPN; аппаратно-программные комплексы Viprinet и Peplink SpeedFusion, предназначенные для промышленного использования; а также лицензируемое программное обеспечение Bondix S.A.NE, обеспечивающее мультилинковое соединение.

На фоне множества альтернатив именно OpenMPTCProuter представляется наиболее оптимальным выбором для МСП благодаря ряду ключевых преимуществ. К их числу относятся поддержка протокола MPTCP, обеспечивающего не только суммирование пропускной способности, но и высокую отказоустойчивость соединений, возможность работы с широким спектром мобильных устройств, гибкость настройки в зависимости от специфики задач предприятия, а также наличие открытого исходного кода, существенно снижающего затраты на внедрение и позволяющего адаптировать решение под индивидуальные запросы бизнеса (табл. 2).

**Таблица 2.** Особенности технологии мобильной агрегации трафика

Параметр	Технологические особенности и аппаратные решения
Максимальная отказоустойчивость	- LTE-модемы с резервным DSL/оптоволоком - Интеллектуальная балансировка нагрузки между операторами
Прирост скорости	- Прирост скорости - Оптимизация затрат - Масштабируемость - Безопасность - Поддержка новых протоколов и стандартов цифровизации



Оптимизация затрат	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Возможность выбора наиболее оптимальных тарифов от провайдеров</li> <li>- Возможности гибкого подключения беспроводного интернета в удаленных местах</li> </ul>
Масштабируемость	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Компактные аппаратные решения (Cradlepoint, raspberry)</li> <li>- Промышленные решения для harsh-среды</li> </ul>
Безопасность	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Виртуальная частная сеть поверх агрегированного канала</li> <li>- Разделение трафика</li> <li>- Защита от DDoS-атак</li> </ul>
Поддержка новых протоколов и стандартов цифровизации	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Подключение IoT-устройств</li> <li>- Интеграция с облачными продуктами для бизнеса (ERP и CRM)</li> <li>- Поддержка интеллектуальных систем умного офиса</li> </ul>

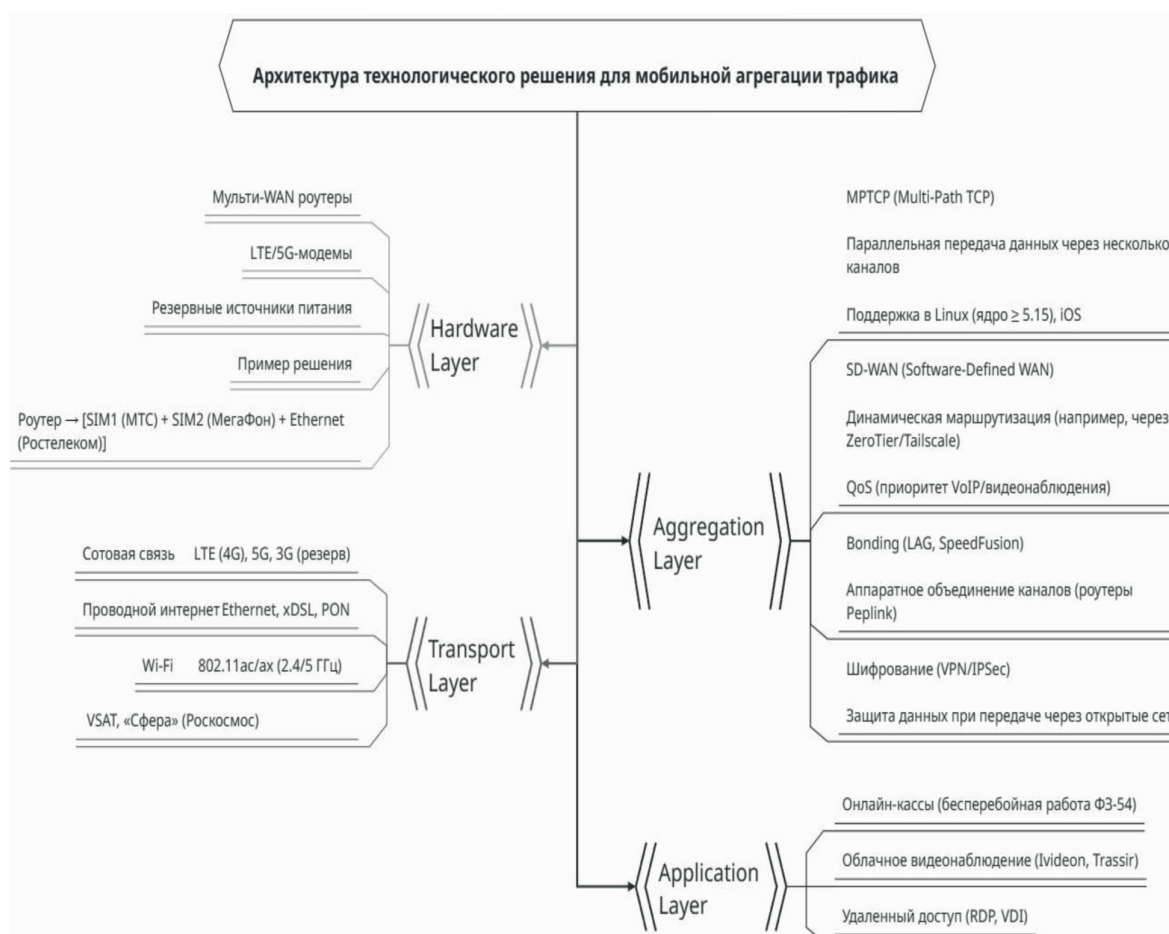
В связи с этим особую научную и практическую ценность представляет рассмотрение архитектуры и особенностей функционирования системы агрегации трафика, построенной на базе OpenMPTCProuter.

**Архитектура решения.** Проектируемое устройство для агрегации мобильных интернет-соединений представляет собой интеграцию нескольких ключевых компонентов,

каждый из которых выполняет строго определённые функции в общей системе:

1. Мини-компьютер (например, Raspberry Pi или его функциональные аналоги на базе Linux), выполняющий роль управляющего узла системы агрегации.

2. USB-модемы с установленными SIM-картами различных операторов мобильной связи, предназначенные для обеспечения



**Рисунок 3. 4** уровня архитектуры технологического решения для мобильной агрегации трафика

одновременного подключения к нескольким независимым сетям.

3. Сетевой интерфейс (Ethernet или Wi-Fi) для интеграции устройства в локальную вычислительную сеть предприятия.

4. Удалённый VPS-сервер, выполняющий функции суммирования трафика и предоставления доступа к ресурсам глобальной сети Интернет.

Программой основой предложенного решения служит OpenMPTCProuter, реализующий протокол Multipath TCP и обеспечивающий эффективное распределение и агрегацию данных между доступными каналами связи. В целом архитектура данного технологического решения охватывает 4 основных уровня (рис. 3).

**Принцип работы системы.** Процесс функционирования системы агрегации включает несколько последовательных этапов:

1. Инициализация соединений:

– на этапе начальной конфигурации все подключенные USB-модемы регистрируются в системе как независимые сетевые интерфейсы;

– с помощью OpenMPTCProuter иницируется установка защищённого туннеля с использованием протокола WireGuard до удалённого VPS-сервера.

2. Агрегация трафика:

– исходящий трафик разбивается на отдельные субпотoki, каждый из которых направляется через определённый мобильный канал связи;

– на стороне VPS-сервера осуществляется обратная агрегация субпотокoв в единый TCP-поток, что позволяет суммировать пропускную способность всех активных каналов.

3. Обратная передача данных:

– ответный трафик с интернет-ресурсов также распределяется по доступным каналам, что способствует снижению задержек и повышению общей стабильности соединения.

Последовательность взаимодействий между компонентами сервиса мобильной агрегации трафика представлена на рисунке 4.

Для обеспечения максимально эффективной работы агрегирующего устройства необходимо выполнение ряда мероприятий по оптимизации настроек, среди которых можно выделить:

1) оптимизация параметров MTU (Maximum Transmission Unit) с целью минимизации вероятности фрагментации пакетов и связанных с ней задержек передачи данных;

2) автоматическая реконфигурация соединений, предусматривающая автоматическое переключение на резервные каналы связи в случае обрыва одного из действующих каналов;

3) обеспечение безопасности передачи данных за счёт использования современных механизмов шифрования, таких как WireGuard, что критически важно для защиты коммерческой информации МСП.

Представленная система агрегации трафика обладает рядом существенных преимуществ, обеспечивающих её высокую привлекательность для предприятий малого и среднего бизнеса:

1. Повышение доступности интернет-сервисов: решение эффективно устраняет проблему цифрового неравенства, характерную для удалённых и сельских территорий;

2. Снижение эксплуатационных затрат: использование открытого программного обеспечения и недорогих USB-модемов позволяет минимизировать совокупную стоимость владения системой по сравнению с коммерческими аналогами;

3. Масштабируемость: архитектура системы предусматривает возможность простого добавления новых каналов без необходимости внесения значительных изменений в существующую инфраструктуру.

Анализ показал, что, несмотря на существующие технологические барьеры и необходимость профессиональной настройки оборудования, внедрение решений по агрегации трафика способно существенно повысить устойчивость, гибкость и конкурентоспособность бизнес-процессов в малых и средних компаниях.

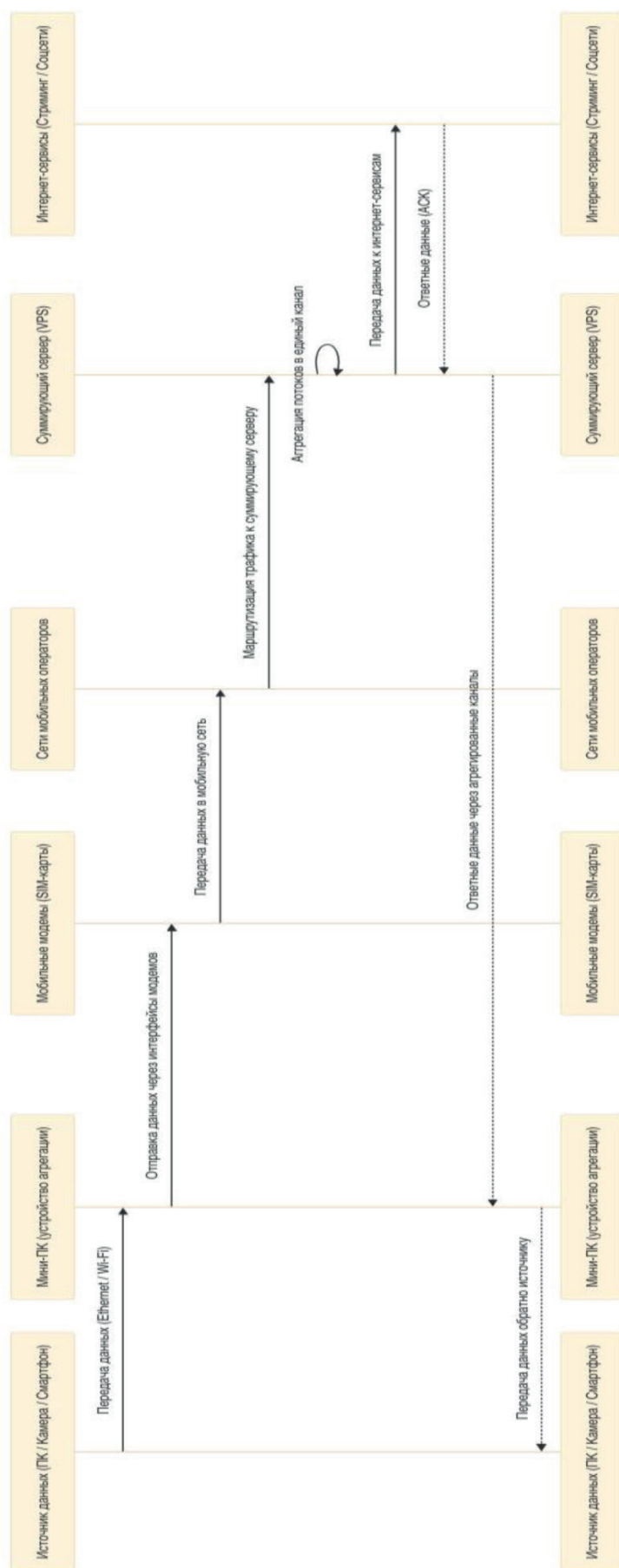


Рисунок 4. Алгоритм работы сервиса мобильной агрегации трафика

## Выводы

Технология мобильной агрегации трафика представляет собой эффективный инструмент, позволяющий объединить несколько нестабильных соединений в один высокоскоростной и отказоустойчивый канал связи. Это особенно важно для предпринимателей, для которых даже кратковременные перебои в доступе к сети могут обернуться потерями клиентов и снижением доходов.

В рамках проведённого исследования была рассмотрена не только теоретическая значимость технологий агрегации трафика для МСП, но и представлена практическая

реализация такого решения на основе открытых технологий, включая архитектуру системы и принципы её функционирования.

Таким образом, мобильная агрегация трафика становится не просто вспомогательной технологией, а стратегическим элементом цифровой трансформации МСП в России. Широкое распространение доступных и эффективных решений на базе открытых технологий может стать одним из ключевых драйверов роста региональной экономики, снижая цифровое неравенство и обеспечивая более равные условия для участия в цифровой экономике будущего.

## Список литературы

1. Абдрахманова Г.И. и др. Тенденции развития интернета в России и зарубежных странах: аналитический доклад. – М.: НИУ ВШЭ, 2020. – 144 с. – ISBN 978-5-906737-66-3.

2. Интернет в России. — М.: Дизайн-студия RE-FORM, 2023. – 207 с.

3. Zhao Y., Song Z., Chen J., Dai W. The mediating effect of urbanisation on digital technology policy and economic development: Evidence from China [Электронный ресурс] // Heliyon. – 2023. – Vol. 9, Issue 2. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2444569X23000148> (дата обращения: 21.01.2025).

4. Балансировка и резервирование интернета от 4-х операторов на Mikrotik [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.micro-drive.ru/stati/balansirovka-i-rezervirovanie-interneta-ot-4x-operatorov-na-mikrotik> (дата обращения: 21.01.2025).

5. В России за три года выросло число интернет-магазинов [Электронный ресурс]. – 2024. – URL: <https://ria.ru/20240829/magaziny-1969104430.html> (дата обращения: 21.01.2025).

6. Интернет в России: что говорит статистика? [Электронный ресурс]. – 2023. – URL: <https://rskrf.ru/tips/eksperty-obyasnyayut/internet-stats/> (дата обращения: 21.01.2025).

7. Почему Интернет для юридических лиц дороже, чем для физических

[Электронный ресурс]. – URL: <https://interactive-24.ru/posts/pochemu-internet-dlia-iuridicheskikh-lits-dorozhe-chem-dlia-fizi> (дата обращения: 21.01.2025).

8. Почему компания Big Data выбрала дистанционный формат партнерства [Электронный ресурс]. – 2024. – URL: <https://topfranchise.ru/stati/pochemu-kompaniya-big-data-vybrala-distantionnyy-format-partnerstva/> (дата обращения: 21.01.2025).

9. Ривз Д. Улучшите свою сеть с помощью коммутатора агрегации каналов: преимущества, конфигурация и лучшие практики [Электронный ресурс]. – 2024. – URL: <https://www.fibermall.com/ru/blog/link-aggregation-switch.htm> (дата обращения: 21.01.2025).

10. Росстат: почти треть домохозяйств не имеет доступа к Интернету [Электронный ресурс]. – 2021. – URL: <https://www.kommersant.ru/doc/4900915?ysclid=m3lff06re6486540260> (дата обращения: 21.01.2025).

11. Тренд на дистанционное взаимодействие [Электронный ресурс]. – 2021. – URL: <https://expertsouth.ru/articles/trend-na-distantionnoe-vzaimodeystvie/> (дата обращения: 21.01.2025).

12. Тренд на загородную жизнь: почему молодежь предпочитает покупку частных домов [Электронный ресурс]. – 2022. – URL: <https://finance.rambler.ru/realty/49301548-trend-na-zagorodnuyu-zhizn-pochemu-molodezh-predpochitaet-pokupku-chastnyh->



domov/?ysclid=m330blb63637226382 (дата обращения: 21.01.2025).

13. What Is The Difference Between Bridging & Bonding? [Электронный ресурс]. – URL: <https://support.connectify.me/article/128-what-is-the-difference-between-bridging-bonding> (дата обращения: 21.01.2025).

14. Единый реестр субъектов малого и среднего предпринимательства [Электронный ресурс] // Федеральная налоговая служба. — URL: <https://ofd.nalog.ru/statistics.html?level=2&fo&ssrf> (дата обращения: 27.04.2025).

### References

1. Abdrakhmanova G.I. O. et al. Trends in the development of the Internet in Russia and abroad: an analytical report. – Moscow: Higher School of Economics, 2020. – 144 p. – ISBN 978-5-906737-66-3.

2. The Internet in Russia. — Moscow: Design studio RE-FORM, 2023. – 207 с.

3. Zhao Y., Song Z., Chen J., Dai W. The mediating effect of urbanisation on digital technology policy and economic development: Evidence from China [Electronic resource] // Heliyon. – 2023. – Vol. 9. – Issue 2. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2444569X23000148> (date of access: 01/21/2025).

4. Balancing and reserving the Internet from 4 operators on Mikrotik [Electronic resource]. – URL: <https://www.micro-drive.ru/stati/balansirovka-i-rezervirovanie-interneta-ot-4x-operatorov-na-mikrotik> (date of request: 01/21/2025).

5. The number of online stores has grown in Russia in three years [Electronic resource]. - 2024. – URL: <https://ria.ru/20240829/magaziny-1969104430.html> (date of access: 01/21/2025).

6. Internet in Russia: What does the statistics say? [electronic resource]. – 2023. – URL: <https://rskrf.ru/tips/eksperty-obyasnyayut/internet-stats/> (date of access: 01/21/2025).

7. Why the Internet is more expensive for legal entities than for individuals [Electronic resource]. – URL: <https://interactive-24.ru/posts/pochemu-internet-dlia-iuridicheskikh-lits-dorozhe-chem-dlia-fizi> (date of request: 01/21/2025).

8. Why Big Data chose the remote partnership format [Electronic resource]. - 2024. – URL: <https://topfranchise.ru/stati/pochemu-kompaniya-big-data-vybrala-distantsionnyy-format-partnerstva/> (accessed: 01/21/2025).

9. Reeves D. Improve your network using a channel aggregation switch: advantages, configuration and best practices [Electronic resource]. – 2024. – URL: <https://www.fibermall.com/ru/blog/link-aggregation-switch.htm> (date of request: 01/21/2025).

10. Rosstat: almost a third of households do not have access to the Internet [Electronic resource]. – 2021. – URL: <https://www.kommersant.ru/doc/4900915?ysclid=m3lff06re6486540260> (accessed: 01/21/2025).

11. The trend towards remote interaction [Electronic resource]. – 2021. – URL: <https://expertsouth.ru/articles/trend-na-distantsionnoe-vzaimodeystvie/> (date of access: 01/21/2025).

12. The trend towards suburban life: why young people prefer buying private houses [Electronic resource]. – 2022. – URL: <https://finance.rambler.ru/realty/49301548-trend-na-zagorodnuyu-zhizn-pochemu-molodezh-predpochitaet-pokupku-chastnyh-domov/?ysclid=m330blb63637226382> (accessed: 01/21/2025).

13. What Is The Difference Between Bridging & Bonding? [electronic resource]. – URL: <https://support.connectify.me/article/128-what-is-the-difference-between-bridging-bonding> (date of request: 01/21/2025).

14. Unified Register of small and medium-sized businesses [Electronic resource] // Federal Tax Service. — URL: <https://ofd.nalog.ru/statistics.html?level=2&fo&ssrf> (date of request: 04/27/2025).