

УДК 621.391

<https://doi.org/10.31854/2307-1303-2024-12-3-68-83>

EDN: NTQFAN

## Анализ протоколов IP для сетевых вселенных

Ким З. В., Чуева А. А., Назаров Д. В., Горбачева Л. С. 

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация

**Постановка проблемы.** Интенсивное развитие сетевых вселенных и виртуальных миров сопровождается возникновением новых вызовов для сетевой инфраструктуры. IP-протоколы, будучи основой цифрового взаимодействия, сталкиваются с рядом ограничений, включая высокие задержки, недостаточную масштабируемость, уязвимости безопасности и сложность управления разнообразным трафиком. Целью данной работы является комплексный анализ IP-протоколов (IPv4/IPv6, UDP/TCP/QUIC) и современных технологий (периферийные вычисления, блокчейн) в контексте их применимости к цифровым экосистемам. **Методы исследования** включают мониторинг сетевого трафика, моделирование нагрузок и сравнительный анализ характеристик протоколов в условиях виртуальных сред. **Научная новизна** заключается в интеграции междисциплинарного подхода к оценке сетевых протоколов в условиях многопользовательских цифровых миров. **Результаты исследования** заключаются в выявлении критических ограничений существующих решений и формулировании рекомендаций по их преодолению – таких, как переход на протокол IPv6, внедрение протокола QUIC, использование периферийных вычислений и технологии блокчейна. **Практическая значимость** исследования выражается в возможности применения полученных рекомендаций для проектирования устойчивых, масштабируемых и безопасных инфраструктур сетевых вселенных.

**Ключевые слова:** сетевые вселенные, метавселенные, IP-протоколы, протокол IPv6, протокол QUIC, периферийные вычисления, масштабируемость, задержка передачи данных, совместимость, мультивселенная

### Введение

Метавселенная представляет собой глобальную интероперабельную сеть виртуальных пространств, объединяющую физический и цифровой миры в единую экосистему (под интероперабельностью понимается способность различных платформ и систем взаимодействовать друг с другом через стандарты и протоколы). Это не просто набор изолированных сред, а сложная персистентная структура, где пользователи взаимодействуют через аватары – цифровые представления самих себя. В метавселенной участники осуществляют экономические отношения, создают контент и пользуются услугами в режиме реального времени.

---

#### Библиографическая ссылка на статью:

Ким З. В., Чуева А. А., Назаров Д. В., Горбачева Л. С. Анализ протоколов IP для сетевых вселенных // Информационные технологии и телекоммуникации. 2024. Т. 12. № 3. С. 68–83. DOI: 10.31854/2307-1303-2024-12-3-68-83. EDN: NTQFAN

#### Reference for citation:

Kim Z., Chueva A., Nazarov D., Gorbacheva L. Analyzing IP Protocols for Network Universes. *Telecom IT*. 2024. Vol. 12. Iss. 3. PP. 68–83 (in Russian). DOI: 10.31854/2307-1303-2024-12-3-68-83. EDN: NTQFAN

Ключевая особенность метавселенной – непрерывность ее существования: виртуальные миры функционируют независимо от присутствия отдельных участников, поддерживая свои процессы постоянно.

Технологическую основу метавселенной составляют виртуальная (VR, *аббр. от англ. Virtual Reality*) и дополненная реальности (AR, *аббр. от англ. Augmented Reality*), которые обеспечивают погружение пользователей в цифровые пространства. Технология блокчейн используется для управления цифровой собственностью, создания смарт-контрактов и обеспечения прозрачности транзакций. Искусственный интеллект применяется для персонализации контента и автоматизации процессов, а облачные вычисления обеспечивают обработку больших данных и масштабируемость сервисов.

В метавселенной предоставляются услуги, трансформирующие традиционные аспекты жизни. Например, социальные взаимодействия включают виртуальные конференции, концерты и совместную работу в цифровых офисах. Экономическая активность охватывает торговлю виртуальными товарами и NFT-недвижимостью (NFT, *аббр. от англ. Non-Fungible Token*), интеграцию криптовалют и децентрализованных финансовых систем (DeFi). Образование представлено иммерсивными курсами и медицинскими симуляторами, а развлечения включают игры, кинотеатры и арт-галереи. Управление цифровой идентичностью осуществляется через аватары, системы репутации и блокчейн-паспорта, гарантирующие безопасность и уникальность каждого пользователя [1].

Для реализации этих возможностей критически важно соблюдение ряда технических требований к сети: задержка при передаче данных – не более 50 мс (для обеспечения работы в реальном времени), пропускная способность сети – не менее 1 Гбит/с (для поддержки передачи 3D-графики и видео в формате 8K). Масштабируемость систем должна позволять обслуживать миллионы пользователей одновременно, а безопасность – включать защиту от DDoS-атак (*аббр. от англ. Distributed Denial of Service* – распределенный отказ в обслуживании) и утечек данных. Интероперабельность обеспечивается через такие стандарты, как универсальный интерфейс для VR / AR OpenXR (*аббр. от англ. Open Extended Reality* – открытая расширенная реальность) и формат передачи 3D-моделей glTF (*аббр. от англ. GL Transmission Format*).

Центральную роль в функционировании метавселенной играют IP-протоколы, обеспечивающие адресацию устройств, маршрутизацию данных и синхронизацию действий пользователей. Однако используемые в настоящее время протоколы, несмотря на их широкое распространение, сталкиваются с рядом ограничений, включая дефицит ресурсов и недостаточную гибкость механизмов защиты. Дополнительные сложности возникают в контексте периферийных вычислений (*англ. Edge Computing*) – подхода, предполагающего размещение вычислительных ресурсов ближе к пользователям для снижения задержек, что требует пересмотра традиционных подходов к сетевой архитектуре.

Платформы метавселенных и VR / AR-платформы демонстрируют растущий спрос на интеграцию физического и цифрового миров. Однако их развитие сдерживается текущими ограничениями сетевых технологий, что делает исследования в области IP-протоколов, периферийных вычислений и

кибербезопасности ключевыми направлениями для построения устойчивых виртуальных экосистем будущего.

## Технологические основы сетевых вселенных: инфраструктура, протоколы и периферийные вычисления

Сетевые вселенные, такие как метавселенные и виртуальные миры, стали объектом активных исследований в последние годы. Эти среды представляют собой сложные системы, в которых большое количество пользователей взаимодействует в реальном времени, что предъявляет высокие требования к надежности и масштабируемости сетевой инфраструктуры. Современные исследования в этой области сосредоточены на нескольких ключевых аспектах: архитектура виртуальных миров, передача данных в реальном времени, масштабируемость и кибербезопасность.

В литературе детально рассматриваются преимущества и ограничения IP-протоколов, в частности IPv4 и IPv6 [2]. Протокол IPv4, несмотря на свою повсеместную распространность, сталкивается с проблемой ограниченного количества доступных IP-адресов, что становится критическим фактором в условиях роста числа подключенных устройств. В свою очередь, протокол IPv6 предлагает практически неограниченное адресное пространство, однако его внедрение сдерживается техническими и экономическими трудностями [3].

На рисунке 1 показан процесс туннелирования IPv6-пакетов через существующую IPv4-инфраструктуру. Этот метод позволяет организациям использовать IPv6-серверы и сетевые узлы даже в тех случаях, когда основная часть сети поддерживает только IPv4, обеспечивая постепенную миграцию на новый протокол без необходимости полной замены оборудования. В таблице 1 представлена сравнительная характеристика протоколов для сетевых вселенных.

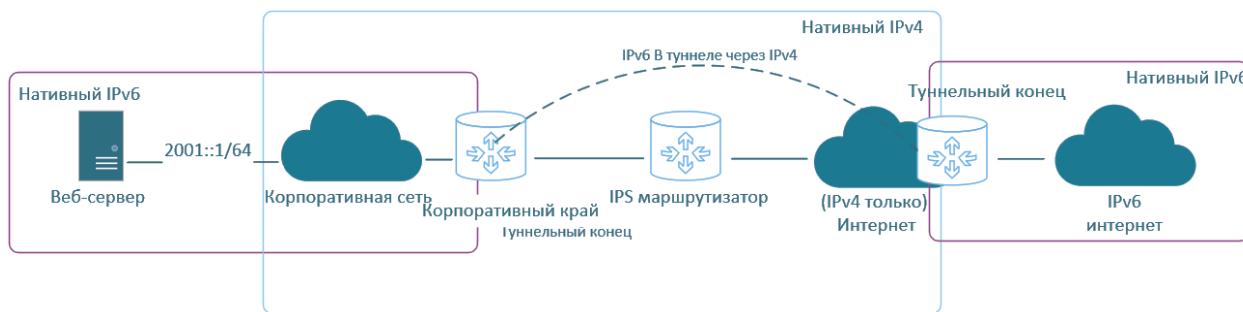


Рис. 1. Туннелирование IPv6 через IPv4

Таблица 1 – Сравнительная характеристика протоколов IPv4 и IPv6 для сетевых вселенных

Характеристика	IPv4	IPv6	Влияние на сетевые вселенные
Количество адресов	~4,3 млрд (ограничено)	~ $3,4 \times 10^{38}$ (практически не ограничено)	Масштабируемость для миллионов пользователей

Характеристика	IPv4	IPv6	Влияние на сетевые вселенные
Безопасность	Требует дополнительных решений (VPN*, IPSec**)	Встроенный IPSec	Защита от DDoS-, MITM-атак***
Маршрутизация	Менее эффективная	Улучшенная, меньшие таблицы маршрутизации	Снижение задержки в распределенных мирах
Совместимость	Широкая, но устаревающая	Требует обновления инфраструктуры	Замедляет внедрение в legacy-системах****

\*VPN (аббр. от англ. Virtual Private Network – виртуальная частная сеть);

\*\*IPSec (аббр. от англ. Internet Protocol Security – протокол обеспечения безопасности на уровне интернет-протокола);

\*\*\*MITM-атака (аббр. от англ. Man-in-the-Middle – атака типа «посредник»);

\*\*\*\*Legacy-системы – устаревшие программные или аппаратные системы, сохраняющиеся в использовании из-за их критической важности для бизнес-процессов, несмотря на трудности интеграции с современными технологиями.

На рисунке 2 показана архитектура сети и взаимодействие устройств, поддерживающих протоколы IPv6 и IPv4: устройства, работающие только с IPv6, могут взаимодействовать с устройствами, работающими только с IPv4, через NAT64-маршрутизатор. DNS64-сервер обеспечивает преобразование адресов для совместимости между двумя версиями протоколов.

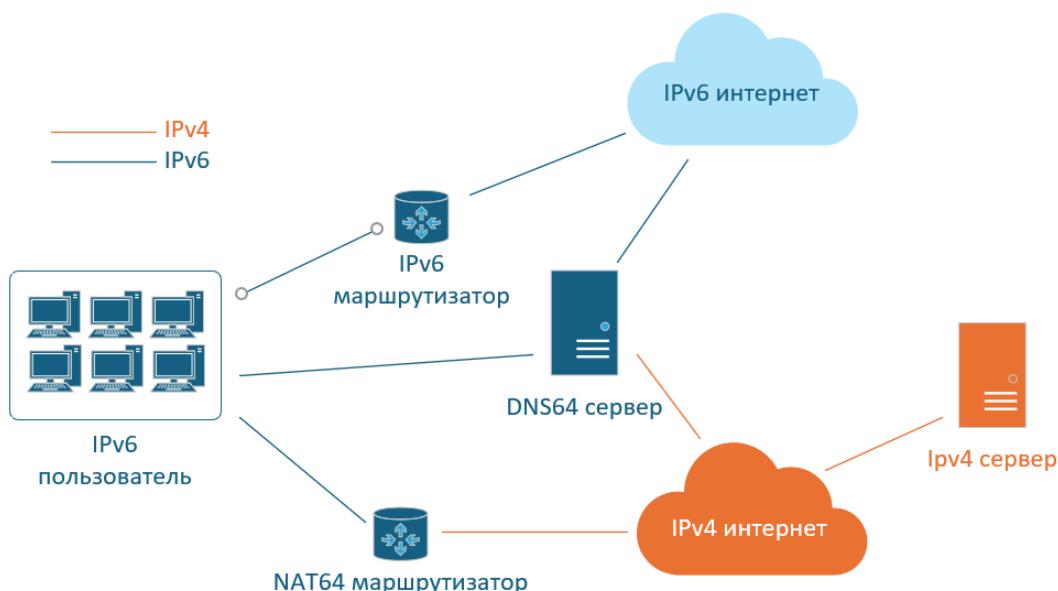


Рис. 2. Архитектура сети с использованием IPv6 и IPv4 для сетевых вселенных

Кроме того, важную роль в сетевых вселенных играют протоколы транспортного уровня, такие как UDP, TCP и QUIC.

На рисунке 3 представлено сравнение структуры заголовков IPv4 и IPv6 и продемонстрированы ключевые различия между двумя версиями протоколов, которые влияют на их масштабируемость и безопасность.

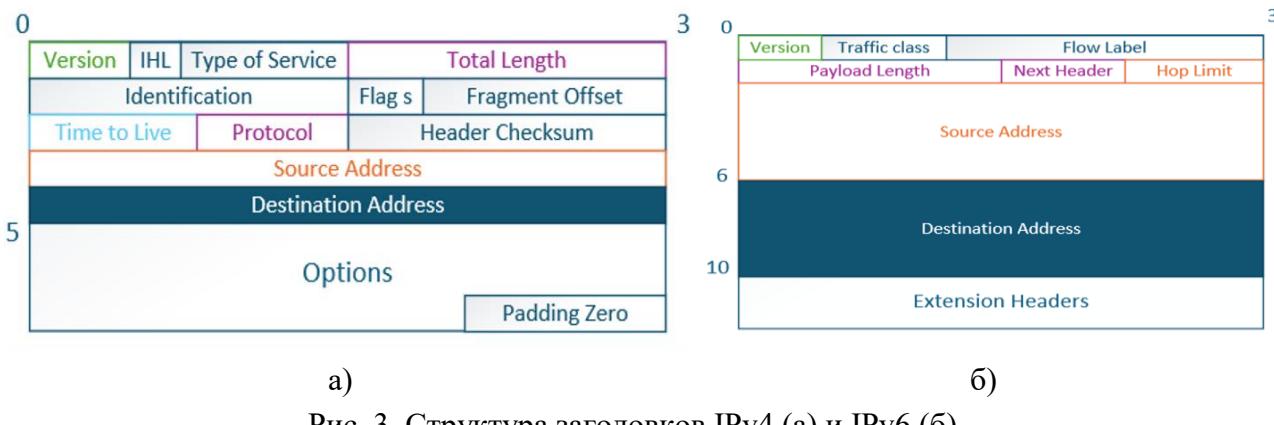


Рис. 3. Структура заголовков IPv4 (а) и IPv6 (б)

UDP (*аббр. от англ. User Datagram Protocol* – протокол пользовательских датаграмм) часто используется для передачи данных в реальном времени благодаря низкой задержке, хотя он не гарантирует надежность доставки пакетов. TCP (*аббр. от англ. Transmission Control Protocol* – протокол управления передачей), напротив, обеспечивает надежную доставку, но за счет более высокой задержки, что может быть неприемлемо для интерактивных сред. QUIC (*аббр. от англ. Quick UDP Internet Connections* – быстрые UDP-соединения в интернете) представляет собой современный протокол, разработанный Google, который сочетает преимущества UDP и TCP, обеспечивая высокую скорость и надежность.

На рисунке 4 представлена модель стека протоколов IPv4 и IPv6, которая демонстрирует их взаимодействие с транспортными протоколами TCP и UDP.

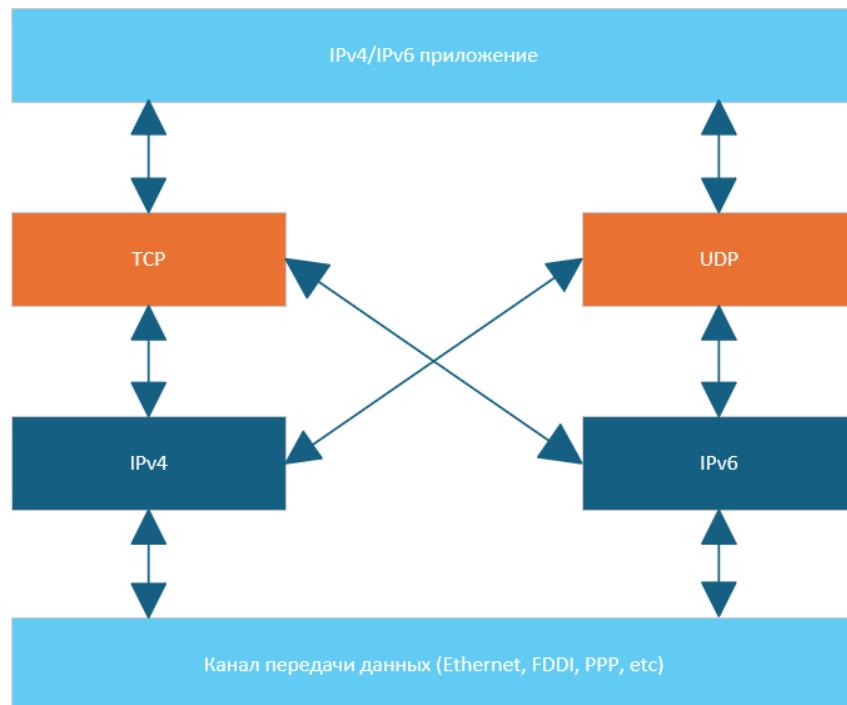


Рис. 4. Структура стека протоколов IPv4 и IPv6

В литературе отмечается, что QUIC может стать ключевым решением для сетевых вселенных, особенно в условиях высокой нагрузки и необходимости минимизировать задержки. В таблице 2 представлены результаты сравнения протоколов для сетевых вселенных [4].

Таблица 2 – Сравнительная характеристика протоколов TCP, UDP, QUIC

Протокол	Задержка	Надежность	Использование в метавселенных
UDP	Низкая	Низкая	Видео-стримы, позиции игроков
TCP	Высокая	Высокая	Транзакции, загрузка миров
QUIC	Средняя	Высокая	Голосовой чат, интерактивные события

На рисунке 5 показаны основные различия между протоколами UDP и TCP. UDP предоставляет низкую задержку, но не гарантирует доставку пакетов, в то время как TCP обеспечивает надежность за счет механизма подтверждения (ACK, *аббр. от англ. Acknowledge – подтверждение*).

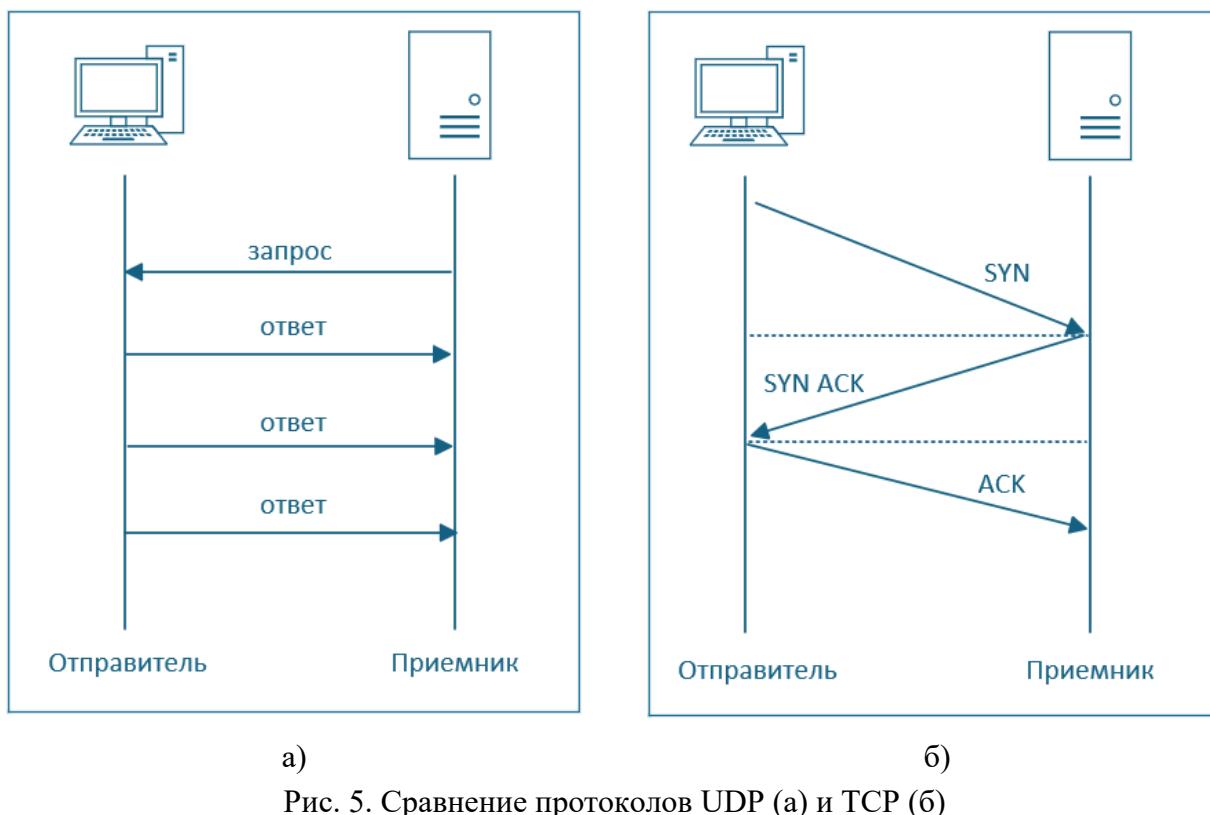


Рис. 5. Сравнение протоколов UDP (а) и TCP (б)

### Методология и результаты исследования IP-протоколов для сетевых вселенных

Анализ IP-протоколов в контексте сетевых вселенных проводился в рамках методологии, основанной на четкой последовательности этапов, охватывающих несколько ключевых направлений. На первом этапе исследования сфокусировались на выявлении ключевых методов анализа, которые включали мониторинг

сетевого трафика и моделирование сетевых нагрузок. Для мониторинга использовались такие инструменты, как Wireshark и tcpdump, которые позволяют захватывать пакеты данных в реальном времени и анализировать их содержимое. Благодаря этому была получена детальная информация о структуре пакетов, задержках при передаче, потерях данных и маршрутизации. Такие данные критически важны для понимания работы IP-протоколов в условиях высоких нагрузок, характерных для многопользовательских сетевых вселенных.

Моделирование сетевых нагрузок выполнялось с использованием специализированного программного обеспечения NS-3 и OMNeT++, что позволило создавать виртуальные сети, имитирующие реальные условия работы сетевых вселенных. Производительность этих сетей тестировалась при увеличении числа пользователей, что особенно важно для оценки масштабируемости и устойчивости сетевых инфраструктур. Такой подход помог выявить узкие места в существующих протоколах и предложить пути их оптимизации.

Одной из ключевых проблем в сетевых вселенных является синхронизация состояния в распределенных системах. Для корректной работы виртуальных миров необходимо, чтобы все пользователи видели согласованное состояние среды, что требует разработки сложных алгоритмов синхронизации, которые минимизируют издержки и обеспечивают точную передачу изменений между участниками. Применение распределенных архитектур, таких как периферийные вычисления, позволяет обрабатывать данные ближе к конечным пользователям, что снижает задержку и повышает общую производительность системы.

Блокчейн-технологии также предлагают новые возможности для решения проблем безопасности и прозрачности в сетевых вселенных. Например, они могут быть использованы для защиты транзакций, управления цифровыми активами и предотвращения мошенничества. Благодаря своей децентрализованной структуре блокчейн обеспечивает высокий уровень доверия между участниками, что особенно важно в многопользовательских средах.

Современные исследования в этой области сосредоточены на оптимизации существующих IP-протоколов, улучшении масштабируемости сетей и повышении их безопасности. Особое внимание уделяется интеграции новых технологий, таких как QUICK, 5G / 6G и блокчейн. Однако остаются нерешенные вопросы, к числу которых относятся управление задержками в условиях высокой нагрузки, совершенствование алгоритмов синхронизации состояния и обеспечение надежной защиты данных. Эти проблемы открывают широкие перспективы для научных исследований и разработки инновационных решений.

На втором этапе исследования были определены ключевые критерии оценки работы IP-протоколов в сетевых вселенных: задержка (Latency), потеря пакетов (Packet Loss), масштабируемость и безопасность. Задержка является одним из наиболее важных параметров, поскольку она напрямую влияет на качество взаимодействия пользователей в виртуальной среде. Даже незначительные задержки могут привести к разрыву между действиями пользователя и их отображением в виртуальном мире, что снижает уровень погружения. Потеря пакетов также представляет серьезную проблему, так как вызывает десинхронизацию состояния виртуального мира. Например, если данные о перемещении объекта или

действиях пользователя не доходят до сервера или других участников, это приводит к несогласованности в восприятии мира разными пользователями, что значительно ухудшает пользовательский опыт.

Масштабируемость оценивалась с точки зрения способности сети поддерживать растущее число участников без снижения производительности. Это особенно важно для многопользовательских платформ, где количество активных участников может достигать миллионов. Безопасность анализировалась на предмет уязвимостей, таких как DDoS-атаки (которые могут парализовать работу сети за счет перегрузки трафиком), а также утечки данных, способных поставить под угрозу конфиденциальность пользователей и целостность виртуальной среды. Третий этап включал сбор и анализ данных, необходимых для оценки работы IP-протоколов. Особое внимание уделялось передаче данных в реальном времени, которая является основой функционирования сетевых вселенных. В частности, анализировались потоки данных о позициях объектов, действиях пользователей и аудио- и видеотрансляциях. Эти данные позволяют отслеживать состояние виртуального мира и синхронизировать его между всеми участниками. Исследования показали, что при высокой нагрузке IP-протоколы сталкиваются с рядом проблем, таких как увеличение задержек, потеря пакетов и снижение общей производительности. Это позволило выявить узкие места в работе протоколов, которые требуют оптимизации для обеспечения стабильного функционирования виртуальных сред.

На четвертом этапе был проведен анализ соответствия современных IP-протоколов требованиям, предъявляемым к сетевым вселенным. Результаты показали, что текущие протоколы частично удовлетворяют потребности виртуальных сред, но не полностью соответствуют им. Например, традиционные протоколы, такие как TCP и UDP, имеют ограничения в плане масштабируемости и надежности передачи данных. Кроме того, они не всегда обеспечивают достаточную защиту от современных угроз, таких как DDoS-атаки и мошенничество. Это указывает на необходимость доработки существующих протоколов или внедрения новых решений, которые могли бы лучше соответствовать требованиям сетевых вселенных.

На заключительном этапе исследования были предложены методы оптимизации IP-протоколов для повышения их эффективности в условиях сетевых вселенных. Для повышения масштабируемости рекомендован переход на IPv6, который предоставляет большее адресное пространство и более эффективные механизмы маршрутизации, что особенно важно для поддержки растущего числа устройств и пользователей. Для снижения задержки и повышения надежности предложено внедрение протокола QUIC, который сочетает в себе преимущества TCP и UDP, обеспечивая быстрое установление соединений и устойчивость к потерям пакетов. Распределенные архитектуры, такие как периферийные вычисления, помогут улучшить производительность за счет обработки данных ближе к конечным пользователям, что снижает задержки и разгружает центральные серверы. Для повышения безопасности предложено использовать блокчейн-технологии, которые могут обеспечить прозрачность и защиту транзакций, а также предотвратить мошенничество за счет децентрализованного управления данными. Эти меры направлены на создание

более устойчивых, масштабируемых и безопасных сетевых инфраструктур, способных поддерживать сложные виртуальные миры.

### Анализ ключевых проблем IP-протоколов в сетевых вселенных и пути их решения

Задержка является одной из наиболее критичных характеристик для сетевых вселенных, где взаимодействие пользователей в реальном времени напрямую влияет на качество работы системы. Такая десинхронизация особенно заметна в динамических средах, где точное отображение событий критически важно для корректного функционирования системы.

Для снижения задержки часто используется протокол UDP, который обеспечивает более быструю передачу данных за счет отказа от гарантий доставки пакетов. Этот подход позволяет минимизировать время передачи данных, что особенно важно для интерактивных сред. Однако он имеет свои недостатки: риск потери данных может привести к искажению состояния виртуального мира. Например, пользователи могут наблюдать некорректное положение объектов или пропустить важные события, что снижает уровень погружения и ухудшает общий пользовательский опыт.

Протокол QUIC сочетает преимущества UDP (низкая задержка) и TCP (надежность), что делает его идеальным решением для интерактивных сред, таких как многопользовательские игры, виртуальные конференции или совместные рабочие пространства [5].

На рисунке 6 схематично показана работа HTTP/2 и QUIC. В отличие от HTTP/2, который использует TCP и требует установления соединения, QUIC работает поверх UDP и обеспечивает более быстрое установление соединений и управление потоками.

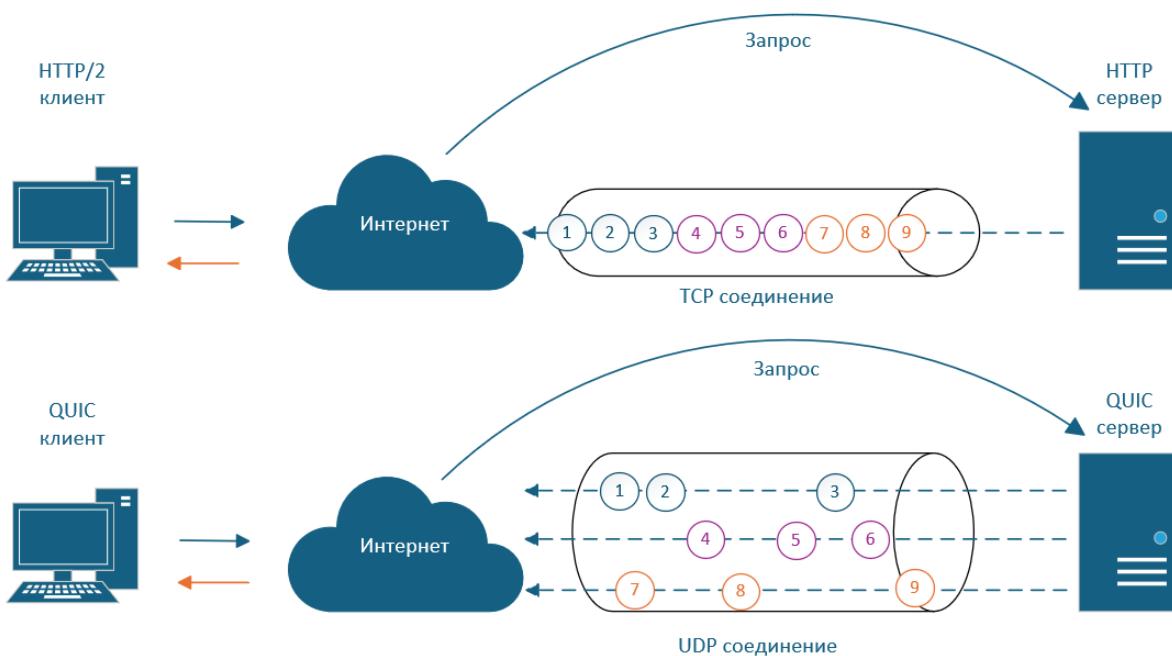


Рис. 6. Сравнение процессов передачи данных в HTTP/2 и QUIC

Периферийные вычисления помогают минимизировать задержки за счет обработки данных ближе к пользователям [6]. Это особенно важно для виртуальных миров с большим числом участников, где централизованная обработка данных может стать узким местом и привести к снижению производительности.

*Разнообразие типов трафика.* Сетевые вселенные характеризуются сложным и разнообразным трафиком, который включает позиции объектов, действия пользователей, а также аудио- и видеопотоки. Это разнообразие создает уникальные технические вызовы, так как каждый тип данных имеет свои требования к скорости передачи, пропускной способности и надежности доставки. Например, данные о позициях объектов и действиях пользователей требуют минимальной задержки для обеспечения синхронизации виртуального мира, тогда как аудио- и видеопотоки нуждаются в высокой пропускной способности и эффективном управлении трафиком для поддержания качества воспроизведения.

Передача мультимедиа в реальном времени является одной из наиболее сложных задач в сетевых вселенных. Современные протоколы, такие как WebRTC (*аббр. от англ. Web Real-Time Communication* – сетевые коммуникации в реальном времени), специально разработаны для оптимизации передачи мультимедийных данных [7]. WebRTC обеспечивает низкую задержку и высокое качество передачи аудио- и видеоматериалов, что делает его подходящим для интерактивных приложений, таких как видеоконференции или совместные рабочие пространства в виртуальных мирах. Однако обеспечение стабильности и минимизация потерь остаются сложными задачами, особенно при высоких нагрузках. Увеличение числа пользователей и объема передаваемых данных может перегружать сеть, вызывая задержки, потерю пакетов и снижение общего качества работы виртуальной среды.

Другим важным аспектом обеспечения эффективного сетевого взаимодействия в виртуальных мирах является необходимость управления разнообразным трафиком в условиях ограниченных сетевых ресурсов. Например, данные о перемещении объектов или выполнении действий пользователями часто имеют приоритет над мультимедийными потоками, так как они напрямую влияют на состояние виртуального мира. Однако определение приоритетов для разных типов трафика требует сложных алгоритмов управления, которые могут быть затратными с точки зрения вычислительных ресурсов. Кроме того, увеличение количества одновременных пользователей может привести к конфликтам при распределении ресурсов, что усугубляет проблему.

*Масштабируемость* является одной из ключевых проблем современных виртуальных миров, где платформы должны одновременно поддерживать тысячи или даже миллионы пользователей. Одной из наиболее заметных проблем является упомянутое ограниченное адресное пространство протокола IPv4. В сетевых вселенных, где каждое устройство пользователя должно иметь уникальный адрес для взаимодействия с другими участниками, это создает серьезные трудности. Например, в многопользовательских играх или метавселенных, где количество активных пользователей может достигать миллионов, дефицит адресов приводит к необходимости использования таких

механизмов, как NAT (аббр. от англ. Network Address Translation – преобразование сетевых адресов), что увеличивает сложность настройки сети и снижает производительность. IPv6 решает проблему ограниченного адресного пространства и обеспечивает улучшенную маршрутизацию. Однако переход на него сопряжен с техническими и экономическими трудностями, такими как необходимость модернизации инфраструктуры, программного обеспечения и оборудования. Это замедляет внедрение IPv6, несмотря на его явные преимущества для современных сетевых сред.

Безопасность является одним из ключевых аспектов функционирования сетевых вселенных. Это особенно актуально в условиях роста числа пользователей и увеличения объема передаваемых данных, что делает такие системы привлекательными для злоумышленников. Кибератаки, такие как DDoS, могут полностью нарушить работу системы или сделать ее недоступной для пользователей, что наносит значительный ущерб как с точки зрения технической стабильности, так и с точки зрения доверия пользователей.

Особую важность приобретает защита транзакций с виртуальными товарами, валютами и другими активами. В сетевых вселенных пользователи часто совершают покупки, обменивают цифровые активы или участвуют в экономических взаимодействиях, что привлекает мошенников. Недостаточная защита данных может привести к утечкам конфиденциальной информации, подделке транзакций или краже цифровых активов. Для решения этих задач современные IP-протоколы предлагают встроенные механизмы безопасности. Например, протокол IPv6 включает поддержку IPsec, который позволяет шифровать данные и защищать их от перехвата или подделки. Однако использование таких современных механизмов защиты может увеличивать задержку, создавая компромисс между безопасностью и производительностью. Это особенно критично для виртуальных сред, где даже небольшие задержки могут существенно повлиять на пользовательский опыт.

Для повышения уровня безопасности в сетевых вселенных предложено использовать блокчейн-технологии. Например, в метавселенных или многопользовательских играх блокчейн может применяться для управления цифровыми активами, обеспечения надежности финансовых операций и создания систем репутации участников. Однако внедрение блокчейна связано со своими ограничениями. Технология требует значительных вычислительных ресурсов, что может быть затруднительно при высокой нагрузке. Кроме того, масштабируемость блокчейн-сетей остается проблемой, особенно в условиях растущего числа пользователей и транзакций.

Для противодействия DDoS-атакам используются различные методы, включая распределение нагрузки через периферийные вычисления, внедрение систем обнаружения аномалий и использование облачных сервисов для фильтрации трафика. Например, распределенные архитектуры, такие как периферийные вычисления, помогают минимизировать последствия DDoS-атак, разгружая центральные серверы и обрабатывая запросы ближе к пользователям. Однако эти меры требуют значительных инвестиций и тщательного планирования для интеграции в существующие системы.



Рис. 7. Архитектура сетевой вселенной с использованием современных сетевых протоколов и распределенных технологий

Анализ показывает, что использование IP-протоколов в сетевых вселенных требует учета специфики таких сред, включая минимизацию задержек, управление разнообразным трафиком, обеспечение масштабируемости и повышение безопасности. Предложенные решения, такие как переход на IPv6, внедрение протоколов типа WebRTC и QUIC, а также использование распределенных архитектур, направлены на преодоление этих проблем и создание более устойчивых и производительных сетевых инфраструктур. Эти меры открывают новые возможности для развития виртуальных миров, способных поддерживать растущее число пользователей и предоставлять качественный опыт взаимодействия в реальном времени. Однако их реализация сталкивается с рядом вызовов, включая технические ограничения, экономические затраты и необходимость адаптации существующих систем.

### Рекомендации по оптимизации IP-протоколов и технологий для сетевых вселенных

На основе полученных данных были сформулированы следующие предложения.

*Переход на IPv6:* обеспечивает масштабируемость и улучшит безопасность виртуальных сред за счет расширенного адресного пространства и встроенных механизмов защиты, таких как IPsec.

*Внедрение протокола QUIC* позволит снизить задержки и повысить надежность передачи данных, что особенно важно для интерактивных сред, таких как многопользовательские игры или совместные рабочие пространства.

*Использование периферийных вычислений:* распределенная обработка данных ближе к пользователям поможет уменьшить нагрузку на центральные серверы, сократить задержки и повысить общую производительность системы.

*Применение блокчейн-технологий:* децентрализованные системы обеспечивают защиту транзакций, предотвращение мошенничества и прозрачность операций, что особенно важно для экономики виртуальных миров.

*Соблюдение стандартов* Международного союза электросвязи послужит основой для создания устойчивых и безопасных сетевых инфраструктур, способных поддерживать растущее число пользователей и разнообразный трафик.

Подводя итог, можно отметить, что современные IP-протоколы обладают значительным потенциалом для применения в сетевых вселенных, однако их использование требует оптимизации и адаптации. Предложенные решения создают прочную основу для дальнейшего совершенствования виртуальных сред и повышения качества взаимодействия пользователей.

## Заключение

Результаты исследования подтвердили важность протоколов IPv6 и QUIC для улучшения производительности и масштабируемости цифровых пространств. Протокол IPv6 решает проблему ограниченного количества адресов – одну из ключевых для современных сетей, – что особенно актуально с ростом числа устройств и пользователей сетевых вселенных. Кроме того, IPv6 представляет встроенные механизмы безопасности, такие как IPsec, которые защищают данные от перехвата или атак. Тем не менее переход на этот протокол связан с рядом препятствий, включая необходимость модернизации инфраструктуры, обновления оборудования и программного обеспечения, а также обучения специалистов [7]. Эти сложности требуют значительных временных и финансовых затрат, что может замедлять процесс внедрения.

Исследование также выявило важность распределенных архитектур, таких как периферийные вычисления, для повышения эффективности работы виртуальных миров. Обработка данных ближе к пользователям позволяет снизить нагрузку на центральные серверы и минимизировать задержки, что особенно важно для платформ с большим числом участников. Однако внедрение таких систем требует существенных инвестиций в инфраструктуру, включая развертывание локальных вычислительных узлов и обеспечение их бесперебойной работы. Управление распределенными системами также представляет собой сложную задачу, особенно для небольших компаний или стартапов с ограниченными ресурсами.

Безопасность стала одной из центральных составляющих данного исследования. Современные протоколы, такие как IPv6, предлагают встроенные механизмы защиты, но их использование может увеличивать задержку, что требует баланса между защитой данных и скоростью их передачи. Для решения этой проблемы предложено использовать блокчейн, который обеспечивает прозрачность и неизменность данных, что делает его подходящим решением для виртуальных миров, где происходят финансовые операции или обмен цифровыми активами. Однако внедрение блокчейна требует значительных вычислительных ресурсов,

что может быть ограничено при высокой нагрузке. Кроме того, использование блокчейна связано с юридическими и регуляторными сложностями, так как отсутствие единых стандартов и законодательных норм может затруднить его применение в разных юрисдикциях.

Таким образом, исследование демонстрирует, что развитие сетевых вселенных требует комплексного подхода, включающего внедрение современных протоколов, использование распределенных архитектур и решение вопросов безопасности. Каждое из этих направлений сопряжено с техническими, экономическими и регуляторными вызовами, которые необходимо учитывать при разработке и внедрении новых технологий.

Практическая ценность исследования заключается в возможности применения его результатов разработчиками сетевых вселенных для улучшения производительности и безопасности платформ. Например, переход на IPv6 и внедрение QUIC могут значительно повысить комфорт взаимодействия пользователей, а использование периферийных вычислений и блокчейна укрепит устойчивость и защиту виртуальных сред. Результаты также будут полезны для операторов сетей, стремящихся оптимизировать маршрутизацию и управление трафиком при высокой нагрузке.

Однако исследование имеет свои ограничения. Анализ проводился на основе данных из определенного числа сетевых вселенных, таких как Central And, Roblox и Second Life, что может сказаться на универсальности выводов применительно к другим платформам. Кроме того, не были учтены все возможные сценарии использования, такие как образовательные платформы или медицинские симуляторы, которые могут предъявлять дополнительные требования к передаче данных.

Результаты проведенного исследования открывают возможности для дальнейших разработок. Будущие исследования могут быть направлены на изучение влияния квантовых сетей на передачу данных или разработку новых протоколов, ориентированных на виртуальные миры, что создает основу для развития виртуальных сред и улучшения пользовательского опыта.

## Литература

1. Кучерявый А. Е., Давуд А. А. А. А., Волков А. Н., Мутханна А. С. А., Парамонов А. И. Сети связи шестого поколения: фрактальные архитектуры, голографические взаимодействия, телеприсутствие, сетевые роботы: учебник. СПб.: Питер, 2024. 318 с.

2. Wu P., Cui Y., Wu J., Liu J., Metz C Transition from IPv4 to IPv6: A State-of-the-Art Survey // IEEE Commu-nications Surveys & Tutorials. 2012. Vol. 15. Iss. 3. PP. 1407–1424. DOI: 10.1109/SURV.2012.110112.00200

3. Manzoor J., Cerdà-Alabern L., Sadre R., Drago I. On the Performance of QUIC over Wireless Mesh Networks // Journal of Network and Systems Management. 2020. Vol. 28. Iss. 4. PP. 1872–1901. DOI: 10.1007/s10922-020-09563-8. EDN: PZBNSJ

4. Nepomuceno K., de Oliveira I. N., Aschoff R. R., Bezerra D., Ito M. S., et al. QUIC and TCP: A Performance Evaluation // Proceedings of IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC, 25–28 June 2018, Natal, Brazil). 2018. DOI: 10.1109/ISCC.2018.8538687

5. Gomez C., Paradells J., Bormann C., Crowcroft J. From 6LoWPAN to 6Lo: Expanding the Universe of IPv6-Supported Technologies for the Internet of Things // IEEE Communications Magazine. 2017. Vol. 55. Iss. 12. PP. 148–155. DOI: 10.1109/MCOM.2017.1600534

6. Tuffin S., Martelli F. WebRTC and IMS: Parallel Universes on a Collision Course? // Proceedings of 19th International Conference “Innovations in Clouds, Internet and Networks” (ICIN, 1–3 March, 2016, Paris, France). 2016. PP. 75–81.

**Статья поступила 29 октября 2024 г.  
Одобрена после рецензирования 04 декабря 2024 г.  
Принята к публикации 23 декабря 2024 г.**

## Информация об авторах

*Ким Злата Валерьевна* – студент группы ИКПИ-24 Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

*Чуева Анастасия Александровна* – студент группы ИКПИ-24 Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

*Назаров Дмитрий Вячеславович* – студент группы ИКПИ-24 Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

*Горбачева Любовь Сергеевна* – кандидат технических наук, доцент кафедры сетей связи и передачи данных Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича.  
E-mail: gorbacheva.ls@sut.ru

<https://doi.org/10.31854/2307-1303-2024-12-3-68-83>  
EDN: NTQFAN

## Analyzing IP Protocols for Network Universes

**Z. Kim, A. Chueva, D. Nazarov, L. Gorbacheva** 

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications,  
St. Petersburg, 193232, Russian Federation

**Problem Statement.** The intensive development of networked universes and virtual worlds is accompanied by new challenges for network infrastructure. IP protocols, as the backbone of digital interaction, face a number of limitations, including high latency, insufficient scalability, security vulnerabilities, and the complexity of managing diverse traffic. **The aim of this paper** is to comprehensively analyse IP protocols (IPv4 / IPv6, UDP / TCP / QUIC) and modern technologies (edge computing, blockchain) in the context of their applicability to digital ecosystems. **The research methods** include network traffic monitoring, load modelling and comparative analysis of protocol characteristics in virtual environments. **The scientific novelty** lies in the integration of a cross-disciplinary approach to the evaluation of network protocols in multi-user digital worlds. **The results of the study** consist in identifying critical limitations of existing solutions and formulating recommendations to overcome them, such as transition to IPv6 protocol, introduction of QUIC protocol, use of edge computing and blockchain technologies. **The practical significance** of the study is expressed in the possibility of applying the obtained recommendations to design sustainable, scalable and secure infrastructures of network universes.

**Key words:** network universes, metaverses, IP protocols, IPv6, QUIC, edge computing, scalability, data latency, interoperability, multiverse

### Information about Authors

*Kim Zlata* – 3<sup>rd</sup> year student (The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications)

*Chueva Anastasia* – 3<sup>rd</sup> year student (The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications)

*Nazarov Dmitry* – 3<sup>rd</sup> year student (The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications)

*Gorbacheva Lyubov* – Ph. D. of Engineering Sciences, Associate Professor at the Department of Communication Networks and Data Transmission (The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications).  
E-mail: gorbacheva.ls@sut.ru