

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ОБСЛУЖИВАНИЯ В ЛОКАЛЬНЫХ МУЛЬТИСЕРВИСНЫХ СЕТЯХ: РЕГИОНАЛЬНЫЙ АСПЕКТ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ

А.Д. Бахдавлатов, Д. Оламафрузи, А.Р. Ато

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

В статье рассматриваются актуальные вопросы построения и оптимизации мультисервисных сетей связи. Автором проведен ретроспективный анализ развития рынка телекоммуникаций в Республике Таджикистан за период 2000–2026 гг., выявивший переход от экстенсивного количественного роста операторов к необходимости качественной модернизации инфраструктуры. Основное внимание уделено преодолению технического противоречия между базовой технологией Ethernet и жесткими требованиями современных мультимедийных сервисов к параметрам качества обслуживания. Предложен авторский подход к реализации концепции программно-конфигурируемых сетей на базе Linux, позволяющий обеспечить гарантированные параметры передачи трафика без значительных капитальных затрат на аппаратное переоснащение. Результаты исследования могут быть использованы малыми и средними организациями для эффективной трансформации локальных сетей в полноценную мультисервисную среду.

Ключевые слова: мультисервисные сети, качества обслуживания, программно-конфигурируемых сетей, управление трафиком, IP-телефония, телекоммуникационный рынок.

ТАҲҶИИ УСУЛҲОИ БА НАРМАҲЗОР НИГАРОНИДАШУДАИ ИДОРАКУНИИ СИФАТИ ХИДМАТРАСОНӢ ДАР ШАБАКАҲОИ МАҲАЛЛИИ БИСӢРХИЗМАТРАСОНӢ: ҶАНБАИ МИНТАҚАВӢ ВА ДУРНАМОИ ТЕХНОЛОҒӢ

А.Д. Бахдавлатов, Д. Оламафрузӣ, А.Р. Ато

Дар мақола масъалаҳои мубрами сохтмон ва оптимизатсияи шабакаҳои алоқаи бисёрхизматрасонӣ баррасӣ шудаанд. Муаллифон таҳлили рушди бозори телекоммуникатсияи Ҷумҳурии Тоҷикистонро дар давраи солҳои 2000–2026 анҷом додаанд, ки гузариширо аз рушди миқдори ширкатҳои операторӣ ба зарурати навсозии сифатии инфрасохтор ошкор намуд. Диққати асосӣ ба баргараф кардани зиддияти техникӣ байни технологияи асосии Ethernet ва талаботи катъии хизматрасониҳои муосири мультимедиявӣ ба параметрҳои сифати хизматрасонӣ равона шудааст. Равиши муаллифӣ барои татбиқи консепсияи шабакаҳои аз ҷиҳати нармафзор идорашаванда дар асоси Linux пешниҳод шудааст, ки имкон медиҳад параметрҳои кафолатноки интиқоли трафик бе хароҷоти зиёди асосӣ барои таҷҳизонидани техникӣ таъмин карда шаванд. Натиҷаҳои тадқиқот метавонанд аз ҷониби ташкилотҳои хурд ва миёна барои таъдиди самараноки шабакаҳои маҳаллӣ ба муҳити пурраи мультисервисӣ истифода гарданд.

Калидвожаҳо: шабакаҳои бисёрхизматрасонӣ, сифати хизматрасонӣ, шабакаҳои барномавии идорашаванда, идоракунии трафик, IP-телефония, бозори телекоммуникатсия.

DEVELOPMENT OF SOFTWARE-ORIENTED QUALITY OF SERVICE MANAGEMENT METHODS IN LOCAL MULTISERVICE NETWORKS: REGIONAL ASPECT AND TECHNOLOGICAL PROSPECTS

A.D. Bakhdavlatov, D. Olamafruzi, A.R. Ato

The article discusses current issues regarding the construction and optimization of multiservice communication networks. The author conducted a retrospective analysis of the telecommunications market development in the Republic of Tajikistan for the period 2000–2026, revealing a shift from the extensive quantitative growth of operators to the necessity of qualitative infrastructure modernization. Special attention is paid to overcoming the technical contradiction between basic Ethernet technology and the strict requirements of modern multimedia services for Quality of Service (QoS) parameters. The author proposes a proprietary approach to implementing the concept of Software-Defined Networking (SDN) based on Linux, which allows for guaranteed traffic transmission parameters without significant capital expenditures on hardware upgrades. The research results can be utilized by small and medium-sized organizations for the effective transformation of local area networks into a full-fledged multiservice environment.

Keywords: multiservice networks, Quality of Service, Software-Defined Networking, traffic management, IP telephony, telecommunications market.

Введение

Современная парадигма развития телекоммуникаций характеризуется фундаментальным сдвигом от архитектуры разрозненных узкоспециализированных каналов связи к модели конвергентных решений. В центре этой трансформации находится концепция мультисервисных сетей [1-5]. Однако, несмотря на повсеместное внедрение конвергентных технологий, в отечественной научно-технической практике до сих пор сохраняется терминологическая неопределенность. Анализ профильной литературы указывает на отсутствие унифицированного

понятийного аппарата: существующие дефиниции варьируются от упрощенной трактовки сети как среды передачи «более одной услуги» до абстрактного отождествления с концепцией сетей следующего поколения [6].

Подобная семантическая гетерогенность создает существенные методологические барьеры. Большинство распространенных определений носит описательный характер, фокусируясь на инфраструктурных аспектах, но игнорируя критически важный критерий — детерминированность параметров доставки данных [7-10]. В связи с этим в рамках настоящего исследования мультисервисная сеть постулируется не просто как транспортная среда, а как единая телекоммуникационная инфраструктура, обеспечивающая коммутацию гетерогенного трафика с гарантированными и контролируруемыми метриками качества обслуживания. Именно способность гарантировать соблюдение параметров SLA (Service Level Agreement) отличает полноценную мультисервисную сеть от простой совокупности каналов передачи данных.

Постановка проблемы исследования

Организация мультисервисной инфраструктуры на предприятиях сектора SMB затруднена из-за специфики доминирующего стандарта. Хотя Ethernet является фундаментом современных локальных сетей, его историческая архитектура опирается на модель коммутации с «наилучшими усилиями». Следовательно, эта технология по умолчанию лишена встроенных механизмов, позволяющих резервировать ресурсы канала или выстраивать очередь трафика по приоритетам.

В то же время внедрение современных мультимедийных сервисов - IP-телефонии, потокового видеовещания, систем видеоконференцсвязи — выдвигает жесткие требования к характеристикам канала. Критическими факторами становятся не только пропускная способность, но и такие параметры, как латентность, джиттер (вариация задержки) и коэффициент потери пакетов.

Традиционный путь разрешения данного конфликта предполагает модернизацию сетевой инфраструктуры с переходом на дорогостоящее оборудование операторского класса, поддерживающее аппаратную реализацию сложных политик качества обслуживания. Однако для значительной части организаций такой подход экономически нецелесообразен.

Исходя из вышесказанного, целью данной работы является разработка и обоснование программного метода трансформации стандартных сетей Ethernet в мультисервисную среду. Предлагаемый подход призван обеспечить гарантированное качество обслуживания для мультимедийного трафика без необходимости существенных капитальных вложений в аппаратную модернизацию, используя возможности программной маршрутизации и управления трафиком.

Материалы и методы

В основу проведенного исследования положена концепция программно-конфигурируемых сетей, адаптированная для локальных мультисервисных узлов связи [11-17]. Техническая реализация предлагаемого решения базируется на использовании сетевого стека операционной системы семейства Linux, выбранной в качестве базовой платформы ввиду открытости исходного кода, гибкости настройки сетевых интерфейсов и высокой производительности механизмов обработки пакетов.

Архитектурные принципы решения. Разработанный программный комплекс функционирует на уровне пограничного шлюза организации и реализует иерархическую модель управления трафиком, состоящую из трех функциональных уровней:

1. Слой идентификации и маркировки. Осуществляется глубокий анализ входящих пакетов с последующим присвоением меток в полях DSCP/ToS заголовков IP. Это позволяет дифференцировать потоки данных по их приоритетности (голос, видео, данные) на раннем этапе обработки.

2. Слой динамического распределения ресурсов. На данном этапе задействуются алгоритмы планирования очередей. Для сервисов, чувствительных к задержкам, резервируется гарантированная полоса пропускания. Трафик с низким приоритетом обслуживается по остаточному принципу, что предотвращает деградацию критически важных сервисов при пиковых нагрузках.

3. Слой обеспечения информационной безопасности. Включает в себя механизмы фильтрации трафика и межсетевого экранирования, обеспечивающие изоляцию сегментов сети и защиту внутреннего периметра от внешних угроз.

4. Технический инструментарий и алгоритмы.

Логическая сегментация мультисервисных потоков реализована с применением стандарта IEEE 802.1Q. Данный подход минимизирует негативное влияние широковещательного шторма, характерного для передачи многоадресного трафика в сетях IP-TV, на общую производительность системы.

Программная реализация системы обеспечения качества обслуживания выполнена на базе подсистемы управления трафиком ядра Linux. Ключевой особенностью авторской разработки является создание программного контроллера, который:

- Автоматизирует генерацию иерархических правил фильтрации и дисциплин очередей.
- Разработанный программный модуль обеспечивает унифицированный интерфейс управления политиками, что позволяет абстрагировать администратора от сложных низкоуровневых конфигураций операционной системы.

Применение данного метода позволяет перенести центр управления сетевой логикой с проприетарного аппаратного обеспечения на гибкую программную платформу, реализуя локальную модель SDN-контроллера. Это обеспечивает масштабируемость сети и возможность оперативной адаптации ресурсов под специфические нужды мультисервисного узла доступа.

Экспериментальное исследование и анализ результатов

Анализ динамики развертывания мультисервисных платформ. В ходе исследования был проведен ретроспективный анализ количественных показателей функционирования операторов мультисервисных сетей в Республике Таджикистан. Эмпирической базой послужили статистические данные за период 2000–2026 гг. (этап формирования рынка) с последующей экстраполяцией и анализом текущего состояния до 2026 г.

Результаты мониторинга инфраструктурных изменений представлены на рисунке 1.

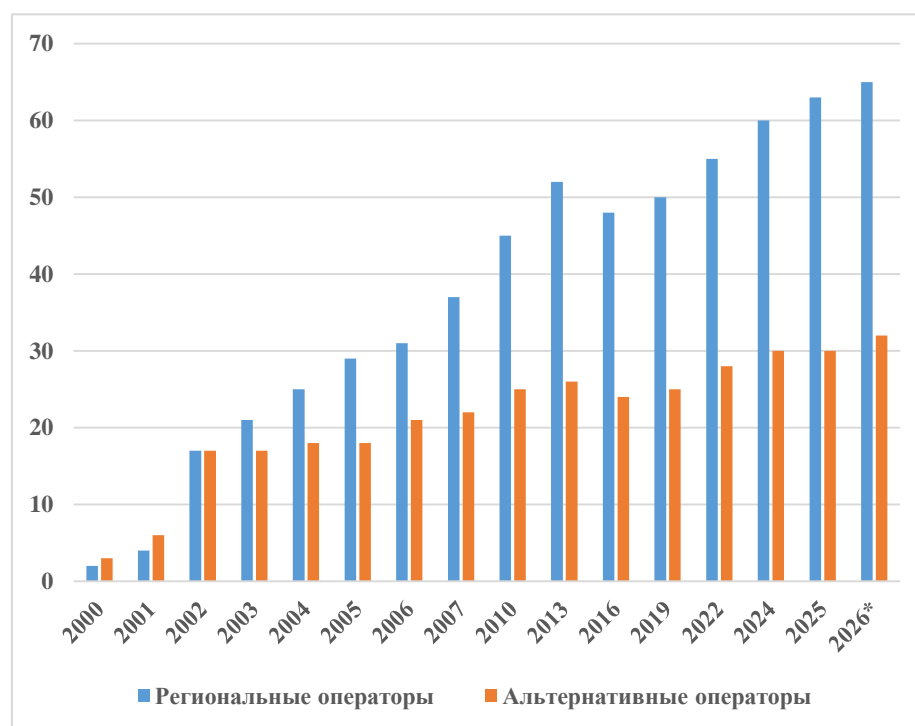


Рисунок 1 – Рост количества мультисервисных сетей (операторов) в Таджикистане (2000–2026 гг.)

Как показывают данные рисунка 1, в начальный период (2000–2026 гг.) наблюдался экспоненциальный рост числа региональных площадок (рост более чем в 18 раз). Современный этап характеризуется качественным переходом: при стабилизации количества физических узлов происходит резкое увеличение плотности сервисов на одну точку доступа за счет внедрения технологий 4G/5G и волоконно-оптических линий.

Апробация программно-ориентированного метода управления трафиком. Для проверки эффективности предложенного метода «мягкой» модернизации сетей на базе ОС Linux было проведено моделирование нагрузки на узле мультисервисного доступа. Основной задачей эксперимента являлось подтверждение возможности обеспечения гарантированного качества обслуживания для критических сервисов в условиях ограниченной пропускной способности. В ходе эксперимента программный «оркестратор» управлял дисциплинами очередей и правилами фильтрации трафика. Исследование включало следующие этапы:

1. Классификация трафика: Идентификация пакетов по меткам DSCP/ToS.
2. Стресс-тестирование: Создание фонового трафика (загрузка файлов по протоколу HTTP/FTP), занимающего до 90% полосы пропускания.
3. Измерение метрик качества обслуживания: Замер задержки и джиттера для приоритетных потоков.

Результаты тестирования показали:

- При дефолтной конфигурации Ethernet запуск тяжелого фонового трафика приводил к деградации качества видеопотока и прерыванию голосовых вызовов (потери пакетов > 15%).
- После активации разработанного программного механизма управления трафиком задержка для приоритетных пакетов сократилась до стабильных 20-30 мс, а потери пакетов в мультимедийных сервисах были сведены к нулю за счет динамического шейпинга фоновых задач.

Экспериментальные данные подтверждают, что мультисервисные сети в регионе трансформируются из количественного роста в фазу глубокой технологической оптимизации. Разработанный метод программного управления позволяет реализовать функционал SDN-контроллера на стандартном оборудовании, обеспечивая устойчивость сервисов реального времени к сетевым перегрузкам без капитальных затрат на замену аппаратной части.

Заключение

В ходе проведенного исследования были получены следующие результаты:

1. Уточнен понятийный аппарат: обосновано, что ключевым отличием истинной мультисервисной сети является не количество предоставляемых услуг, а способность инфраструктуры обеспечивать гарантированное и контролируемое качество обслуживания для гетерогенного трафика.

2. Выявлены рыночные тенденции: статистический анализ динамики операторов связи в Таджикистане показал, что к 2026 году количество субъектов рынка достигнет своего насыщения (~97 единиц). Это подтверждает гипотезу о том, что дальнейшее развитие отрасли должно базироваться на интеллектуальных методах управления существующими ресурсами, а не на простом увеличении числа каналов связи.

3. Обоснована техническая эффективность: предложенный метод программной маршрутизации и классификации трафика на базе ядра Linux доказал свою состоятельность. Использование «оркестратора» для настройки дисциплин очередей позволяет эффективно изолировать чувствительный к задержкам трафик от фоновых процессов загрузки данных.

4. Практическая значимость: разработанный подход позволяет реализовать функции дорогостоящего оборудования операторского класса на стандартных программно-аппаратных платформах. Это открывает возможности для бюджетной цифровизации организаций в условиях регионального рынка, обеспечивая высокую доступность современных инфокоммуникационных услуг.

В заключение следует отметить, что перенос логики управления сетью на программный уровень является наиболее перспективным направлением развития локальных мультисервисных систем, позволяя гибко адаптироваться к растущим требованиям потребителей контента в условиях цифровой трансформации экономики.

Рецензент: Сафаров А.Г. – д.т.н., главный научный сотрудник Физико-технического Института имени С.У. Умарова НАНТД.

Литература

1. B. Ibrahimov, A. Hamidova and E. Jafarova, "Research and Analysis of the Effectiveness Multiservice Communication Networks Using SDN Technology," 2024 3rd International Conference on Problems of Logistics, Management

- and Operation in the East-West Transport Corridor (PLMO), Baku, Azerbaijan, 2024, pp. 1-5, doi: 10.1109/PLMO62307.2024.10887152.
2. V. Babkin, E. Stroganova and N. Shagrov, "Multiservice Networks Performance Monitoring Using the Threshold Model," 2025 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO), Tyumen, Russian Federation, 2025, pp. 1-5, doi: 10.1109/SYNCHROINFO65403.2025.11079382.
3. E. P. Stroganova and S. E. Grychkin, "Multiservice Networks Performance Monitoring System Approach and its Experimental Implementation," 2023 International Conference on Engineering Management of Communication and Technology (EMCTECH), Vienna, Austria, 2023, pp. 1-5, doi: 10.1109/EMCTECH58502.2023.10297000.
4. A. Muradova and D. Normatova, "The results of a research of the reliability of the multiservice communication network," 2022 International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT), Tashkent, Uzbekistan, 2022, pp. 1-5, doi: 10.1109/ICISCT55600.2022.10146926.
5. A. Muradova and K. Khujamatov, "Results of Calculations of Parameters of Reliability of Restored Devices of the Multiservice Communication Network," 2019 International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT), Tashkent, Uzbekistan, 2019, pp. 1-4, doi: 10.1109/ICISCT47635.2019.9011932.
6. B. G. Ibrahimov, C. A. Yusifov and M. F. Binnetov, "Research Methods of Assessing the Efficiency Information Protection Systems in Multiservice Communication Networks," 2025 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO), Tyumen, Russian Federation, 2025, pp. 1-4, doi: 10.1109/SYNCHROINFO65403.2025.11079381.
7. B. G. Ibrahimov, M. H. Hasanov and F. H. Agayev, "Research and Analysis Comprehensive Indicators Efficiency in Links of Multiservice Communication Networks," 2021 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF), St. Petersburg, Russia, 2021, pp. 1-5, doi: 10.1109/WECONF51603.2021.9470675.
8. Саидов Б.Б. Саъдулло И. Абдурасулов Д.А. Разработка модели мультидиэлектрической осевой антенны для передачи и приема информации // Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2024. – № 3(67). – С. 42-48.
9. B. G. Ibrahimov and Z. A. Ismaylov, "Research Quality of Functioning Multiservice Converged Communication Networks," 2024 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF), St. Petersburg, Russian Federation, 2024, pp. 1-5, doi: 10.1109/WECONF61770.2024.10564639.
10. T. Nishanbayev, S. Mahmudov and M. Abdullayev, "Distribution Model Of Heterogeneous Flow In A Software-Defined Multiservice Network," 2019 International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT), Tashkent, Uzbekistan, 2019, pp. 1-4, doi: 10.1109/ICISCT47635.2019.9011947.
11. T. Z. Teshabayev, M. S. Yakubova, T. N. Nishanbayev, A. M and G. S. Sadikova, "The formation of the structure of a multiservice network based on communication equipment from different manufacturers," 2019 International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT), Tashkent, Uzbekistan, 2019, pp. 1-5, doi: 10.1109/ICISCT47635.2019.9011830.
12. B. G. Ibrahimov and A. D. Tagiyev, "Mathematical Model for Optimizing the Efficiency of the Functioning Multiservice Communication Networks on Base SDN & NFV Technologies," 2021 International Conference on Engineering Management of Communication and Technology (EMCTECH), Vienna, Austria, 2021, pp. 1-4, doi: 10.1109/EMCTECH53459.2021.9619182.
13. S. N. Novikov and G. V. Popkov, "Generalized Functional Model and Classification of Routing Methods in Multiservice Communication Networks," 2018 XIV International Scientific-Technical Conference on Actual Problems of Electronics Instrument Engineering (APEIE), Novosibirsk, Russia, 2018, pp. 191-195, doi: 10.1109/APEIE.2018.8545223.
14. Б.Б. Саидов, И. Саъдулло, Н.Б. Хусейнзода. Методы и результаты экспериментально-теоретического исследования систем связи 5G // Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2025. – № 4(72). – С. 23-27. doi:10.65599/QFAC8409
15. Б.Б. Саидов, И. Саъдулло, Н.Б. Хусейнзода. Применение нейросетевых методов прогнозирования радиосигналов в интеллектуальных системах связи 5G// Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2025. – № 4(72). – С. 23-27. doi: 10.65599/BCWW3084
16. G. Talli and P. D. Townsend, "Hybrid DWDM-TDM long-reach PON for next-generation optical access," in Journal of Lightwave Technology, vol. 24, no. 7, pp. 2827-2834, July 2006, doi: 10.1109/JLT.2006.875952.

17. V. Telezhkin, B. Saidov. Integrated Information Processing in Wireless (Secure) Communications of Corporate Communication Systems // 2020 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2020, Vladivostok, 06–09 октября 2020 года. – Vladivostok, 2020. – P. 9271417. – DOI 10.1109/FarEastCon50210.2020.9271417.

18. Зоидов, К. Х. Искусственный интеллект: возможности применения для контроля качества готовой продукции в текстильной промышленности / К. Х. Зоидов, А. А. Урунов, Б. А. Акрамов // Региональные проблемы преобразования экономики. – 2021. – № 2(124). – С. 12-22. – DOI 10.26726/1812-7096-2021-2-12-22. – EDN UAMMYR.

МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФОН - СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ - INFORMATION ABOUT AUTHORS

TJ	RU	EN
Бахдавлатов Асратбек Давлатбекович	Бахдавлатов Асратбек Давлатбекович	Bakhdavlatov Asratbek Davlatbekovich
н.и.т.	к.т.н	Candidate of Technical Sciences
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik Technical University named after academician M.S. Osimi
E-mail: bakhdavlatov@mail.ru		
TJ	RU	EN
Оламафрузи Давлахмад	Оламафрузи Давлахмад	Olamafruzi Davlahmad
Магистрант	Магистрант	Master's student
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik Technical University named after academician M.S. Osimi
E-mail: olamafruz01@mail.ru		
TJ	RU	EN
Ато Ато Раҳмон	Ато Ато Раҳмон	Ato Ato Rahmon
Магистрант	Магистрант	Master's student
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik Technical University named after academician M.S. Osimi
E-mail: atahrahman.04@gmail.com		