



УТВЕРЖДАЮ
Директор ИПТУ РАН
академик РАН


Д.А. Новиков

« 04 » 12 2025г.

ОТЗЫВ

ведущей организации – Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук» (ИПУ РАН) на диссертацию До Фук Хао на тему «Разработка моделей и методов минимизации сетевой задержки на фрагменте гибридной сети связи с использованием технологий искусственного интеллекта», по специальности 2.2.15 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций

Актуальность темы исследования: Диссертационная работа До Фук Хао посвящена решению актуальной и практически значимой научной задачи, находящейся на переднем крае развития современных телекоммуникационных систем. В условиях экспоненциального роста объемов трафика и появления новых классов приложений с ультранизкими требованиями к задержке (таких как тактильный интернет, автономный транспорт, телемедицина), минимизация сетевой задержки становится одним из ключевых вызовов. Гибридные орбитально-наземные сети связи рассматриваются как перспективная архитектура для обеспечения глобального покрытия и высокой надежности, однако их гетерогенная природа и динамически изменяющиеся условия функционирования, особенно в спутниковом сегменте, значительно усложняют задачи управления сетевыми ресурсами.

Традиционные подходы к управлению трафиком часто оказываются неэффективными в таких сложных условиях. В связи с этим, применение технологий искусственного интеллекта и машинного обучения для интеллектуального, проактивного управления является наиболее перспективным направлением. Работа До Фук Хао, направленная на разработку нового комплекса моделей и методов для минимизации задержки, полностью соответствует приоритетным направлениям научных исследований и целям, обозначенным в «Стратегии развития отрасли связи Российской Федерации на период до 2035 года». Таким образом, тема диссертации является своевременной и обладает высокой научной и практической актуальностью.

Общая характеристика и структура работы: Диссертация представляет собой завершенное, целостное научное исследование, обладающее внутренним единством и логической стройностью. Работа

изложена на 168 страницах, состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, включающего 110 наименований, и двух приложений, содержит 35 рисунков и 15 таблиц. Структура работы логична и последовательно раскрывает все этапы исследования в соответствии с поставленными задачами.

- **Во введении** обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования, научная новизна, теоретическая и практическая значимость.
- **В первой главе** выполнен глубокий аналитический обзор существующих подходов к снижению сетевой задержки в гибридных сетях. Автором убедительно показаны ограничения традиционных методов и определены перспективные направления для применения технологий искусственного интеллекта, что формирует прочную основу для последующих глав.
- **Во второй главе** решается задача разработки модели прогнозирования трафика и динамической приоритизации пакетов. Представлена оригинальная модель на основе многослойного персептрона (MLP), отличающаяся вычислительной эффективностью, что критически важно для систем реального времени.
- **В третьей главе** предложены методы многокритериальной оптимизации распределения ресурсов в многолучевых спутниковых системах. Разработан оригинальный гибридный подход, сочетающий графовые нейронные сети (GNN) для анализа топологии и эволюционные алгоритмы (NSGA-II/SPEA2) для поиска Парето-оптимальных решений.
- **В четвертой главе** разработан и исследован метод сжатия данных без потерь на основе пространственно-временных графовых нейронных сетей (ST-GNN) как эффективное средство снижения задержки передачи в условиях нестабильного спутникового канала.
- **В пятой главе** представлен всесторонний сравнительный анализ эффективности предложенных решений. Особо ценно то, что апробация проводилась не только путем имитационного моделирования, но и на реальной аппаратной платформе, что подтверждает практическую реализуемость и достоверность полученных результатов.
- **В заключении** подведены итоги работы, сформулированы основные выводы и намечены пути дальнейших исследований.

Научная новизна и значимость результатов: Научная новизна диссертационной работы заключается в разработке и исследовании комплексного подхода к минимизации сетевой задержки, основанного на следующих научных результатах:

1. Предложен подход к упреждающему управлению трафиком, который, в отличие от известных, обосновывает достаточность вычислительно эффективной архитектуры MLP для решения задачи управления приоритетами и вводит аналитически обоснованное правило

- приоритизации, что является альтернативой распространенным эвристическим подходам.
2. Разработан гибридный метод оптимизации ресурсов, в котором графовая нейронная сеть (GNN) впервые применяется в качестве предобработчика для классификации трафика перед этапом многокритериальной оптимизации с помощью адаптированных эволюционных алгоритмов (NSGA-II/SPEA2).
 3. Предложен механизм адаптивного сжатия на основе ST-GNN, который, в отличие от классических методов, использует вероятностное моделирование данных с явным учётом их графовой (пространственной) структуры, позволяя кодеку динамически изменять стратегию сжатия.

Теоретическая значимость работы заключается во вкладе в развитие теоретических основ управления гибридными сетями по трем ключевым направлениям: в теорию систем массового обслуживания, теорию оптимизации сетей и теорию информации и кодирования.

Практическая значимость работы подтверждается конкретными количественными результатами, полученными в ходе натурных испытаний и моделирования. В частности, разработанный метод на основе MLP продемонстрировал снижение средней задержки до 19,6% и потерь пакетов до 19,42%; гибридный подход к оптимизации позволил снизить время ожидания в очереди до 35,1%; аппаратный прототип кодека на основе ST-GNN показал высокую устойчивость к деградации спутникового канала (рост времени передачи на 11% против 46% у GZIP).

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается корректным применением научного аппарата. Компетентность ведущей организации в области, соответствующей теме диссертации, подтверждается наличием значительного числа публикаций сотрудников ИПУ РАН в рецензируемых научных изданиях.

Основные публикации работников организации по профилю оппонируемой диссертации в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России, за последние 5 лет (не более 15 публикаций):

1. Вишневский В.М., Авраменко Ю.А., Нгуен В.Х., Калмыков Н.С. Оценка характеристик производительности беспроводной сети на базе привязных БПЛА // Проблемы информатики. 2025. №1 (66). С. 60-77.
2. Вандиловская П.А., Крыгин А.А., Лукинова О.В., Рошин А.А. Метод поиска разрезов графа для задачи управления инженерной инфраструктурой // Управление большими системами. 2024. Вып. 111. С. 226-246.
3. Мойсеева С.П., Панкратова Е.В. Асимптотический анализ многопоточной гетерогенной СМО в условии предельно редких изменений состояний управляющей входящими потоками цепи Маркова // Управление большими системами. 2024. вып. 112. С. 30-44.

4. Макеева Е.Д., Кочеткова И.А., Шоргин В.С. Модель для выбора уровней скорости широкополосного трафика eMBB в условиях приоритетной передачи трафика URLLC в сети 5G // Системы и средства информатики. 2023. Т. 33, вып. 4. С. 60-68.

5. Вытовтов К.А., Барабанова Е.А. Переходной режим работы оптического коммутатора с дублированием коммутационных элементов в информационно-измерительной системе со скачками трафика // Датчики и системы. 2023. № 6 (272). С. 34-39.

6. Подлазов В.С. Разные неблокируемые самомаршрутизируемые системные сети с прямыми каналами // Программные системы: теория и приложения. 2023. Т. 14. №3 (58). С. 115–138.

7. Вишневский В.М., Клименок В.И., Ларионов А.А., Мухтаров А.А., Соколов А.М. Исследование характеристик приоритетной мультисервисной системы ММАР/РН/М/Н с использованием метода Монте-Карло // Управление большими системами. 2023. Выпуск 103. С. 6-39.

8. Голев А.В., Вересников Г.С., Московцев А.М., Мартирисян М.П. Методы и алгоритмы для решения задачи ранней диагностики технических объектов с использованием методов интеллектуального анализа данных // Информационные технологии. 2022. №9. Том 28. С. 475-484.

9. Блинова О.В., Васьковский С.В., Рыков Я.В. Проектирование сетей связи быстрого развертывания с использованием программного приложения анализа конфигурации сети // Управление большими системами: сборник трудов. 2021. Вып. 90. С. 121-138.

10. Полтавский А.В., Ахобадзе Г.Н. ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ЛИНИИ СВЯЗИ ПУНКТА УПРАВЛЕНИЯ С БЕСПИЛОТНЫМ ВОЗДУШНЫМ СУДНОМ // Авиакосмическое приборостроение. 2021. №3. С. 13-17.

11. Вишневский В.М., Семёнова О.В., Ефросинин Д.В. Математические модели и методы исследования гибридных сетей связи на основе лазерной и радиотехнологий. М.: ИПУ РАН, 2020. – 120 с.

Замечания и рекомендации:

1. В работе всесторонне продемонстрирована техническая эффективность предложенных решений. Вместе с тем, для оценки перспектив их коммерциализации представляется интересным проведение технико-экономического анализа, оценивающего затраты на внедрение (например, стоимость GPU-серверов) в сопоставлении с экономической выгодой от повышения качества обслуживания.
2. Для широкого практического внедрения предложенная интеллектуальная система управления должна быть бесшовно интегрирована с существующими системами управления сетями (NMS/OSS) операторов связи. В дальнейших исследованиях было бы целесообразно рассмотреть вопросы разработки соответствующих интерфейсов и протоколов взаимодействия (например, на основе концепции Zero-touch network and Service Management).

3. В диссертации предложены новые, нетривиальные методы управления. Каковы, по мнению соискателя, перспективы и возможные барьеры для стандартизации подобных интеллектуальных подходов в рамках международных организаций, таких как ITU-T или 3GPP, для обеспечения совместимости оборудования различных производителей?

Высказанные замечания носят дискуссионный и рекомендательный характер, не снижают общей высокой положительной оценки работы и свидетельствуют о ее большом научном потенциале.

Заключение: Диссертация До Фук Хао на тему «Разработка моделей и методов минимизации сетевой задержки на фрагменте гибридной сети связи с использованием технологий искусственного интеллекта» является законченной научно-квалификационной работой, в которой решена важная научная задача, имеющая существенное значение для развития отрасли телекоммуникаций.

Диссертация соответствует требованиям паспорта специальности 2.2.15 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций (пункты 1, 2, 3, 18, 19). Автореферат и опубликованные работы (18 публикаций, в том числе 6 в журналах из перечня ВАК) полно и достоверно отражают основное содержание диссертации. Диссертация отвечает всем требованиям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней», а ее автор, До Фук Хао, безусловно, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.15 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

Отзыв обсужден и утвержден на заседании научного семинара Лаборатории № 69 Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук».

Протокол № 14 от «24» ноября 2025 г.

Заведующий лабораторией ИПУ РАН

«Телекоммуникационные системы»

доктор технических наук, профессор,

заслуженный деятель науки РФ

В.М. Вишнеvский

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

«Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова» РАН

Адрес: 117997, г. Москва, Профсоюзная ул. 65

Сайт: <http://www.ipu.ru> Телефон: +7 (495) 334-89-10

Факс: +7 495 334-93-40, +7 499 234-64-26

E-mail: dan@ipu.ru

Веб-сайт: <http://www.ipu.ru>

Подпись

ВЕД. ИНЖ.

ЗАЛОЖНЕВА И.И.

