



«Научно-исследовательский институт телевидения»
(АО «НИИ телевидения»)



Акционерное общество «Научно-исследовательский институт телевидения»
(АО «НИИ телевидения»)
Политехническая ул., д. 22 Санкт-Петербург,
194021
тел. (812) 297-41-67, факс (812) 552-25-51 E-
mail: niitv@niitv.ru; <http://www.niitv.ru>
ОГРН 1117847610297, ОКПО 07513895, ИНН
7802774001, КПП 780201001



УТВЕРЖДАЮ

Заместитель генерального
директора по Государственному
оборонному заказу
кандидат технических наук

В. А. Атаманюк

« 01 » 09 2026 г.

ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы Березкина А. А. на тему:
«Разработка и исследование комплекса моделей и методов по уменьшению
задержки информационных потоков при взаимодействии с беспилотными
системами в гибридных орбитально-наземных сетях связи», представленной
на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности
2.2.15 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций

Актуальность темы диссертационного исследования

Актуальность темы диссертационного исследования обусловлена бурным развитием беспилотных систем и гибридных орбитально-наземных сетей связи (ГОНСС), вызывающим необходимость обеспечения надёжного управления аппаратами за пределами прямой видимости. При этом для взаимодействия оператора с беспилотной системой от первого лица (FPV) критически важным параметром становится задержка передачи видеопотока и команд управления. Существующие спутниковые сети вносят задержки, значительно превышающие нормативы 3GPP для таких задач. В связи с этим разработка новых методов сжатия и предсказания данных на прикладном уровне для минимизации задержек является крайне своевременной и востребованной научной проблемой.

Новизна исследований и полученных научных результатов

Изучение автореферата и доступных трудов автора позволяет выделить следующие основные результаты, обоснованно претендующие на научную новизну:

- новый метод обоснования архитектуры системы информационного обмена, учитывающий спутниковый сегмент гибридной сети (ГСО и НОО) и обеспечивающий снижение задержек на уровне приложения;
- новые модели каналов информационного обмена, в которых определены законы распределения задержек и потерь именно при использовании нейросетевых видеокодеков;
- методы сжатия видеопотока на основе вариационных автокодировщиков,

переносающие обработку в латентное пространство признаков нейронной сети для обеспечения экстремально низких задержек;

- метод «псевдоуменьшения» задержки распространения цифрового видеопотока в спутниковом канале за счёт нейросетевого предсказания будущих кадров;

- метод адаптивного сжатия команд взаимодействия оператора (КВО), объединяющий сверхплотное нейросетевое сжатие и помехоустойчивое кодирование;

- комплексная методика оценки эффективности, в которой вместо экспертных аддитивных свёрток впервые предложено использовать вероятность достижения комплекса целей функционирования беспилотной системы.

Теоретическая значимость работы

Теоретическая значимость определяется развитием научно-методического аппарата моделирования каналов связи для беспилотных систем. Автором предложен переход от традиционных экспертных оценок качества к объективному математическому расчёту вероятности достижения цели. Разработанные принципы нейросетевого кодирования в латентном пространстве расширяют фундаментальные знания о пределах уменьшения задержки в стохастических сетях передачи данных.

Практическая значимость работы

Практическая ценность работы заключается в создании конкретных алгоритмических и протокольных решений, готовых к внедрению. Из их числа особенный интерес представляют:

- разработанный протокол прикладного уровня FPV-CTVP;
- нейросетевой видеокодек, позволяющий снизить задержку передачи FPV-видео через геостационарные спутники в среднем на 78% (при экономии полосы на 40%);

- метод сжатия управляющих команд (протокола CRSF), превосходящий по коэффициенту классические алгоритмы (например, Brotli) на 9,7%;

- научно обоснованные пороговые требования к перцептивному качеству восстановленного FPV-видео, необходимому для безаварийного пилотирования. Практическая значимость дополнительно подтверждается актами внедрения (в том числе в ФГУП «Космическая связь» и АО «РЕШЕТНЁВ»), а также полученными патентами РФ и евразийского патентного ведомства.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций

Сформулированные в диссертации положения достаточно обоснованы. Их достоверность обеспечивается корректным применением методов теории вероятностей, математической статистики, теории помехоустойчивого кодирования и машинного обучения. Выводы автора надёжно подкреплены результатами натурных экспериментов, проведённых на реальных сетях сотовой связи и действующих спутниковых каналах (ОГ «Ямал-601», «Благовест»), а также каналах КВ и УКВ радиосвязи.

По автореферату можно сделать следующие замечания:

1. В таблице 6 автор указывает, что при сжатии протокола CRSF коэффициент сжатия 18,75% достигается ценой ошибок восстановления (потерь) до 31,23%. Для канала C2 (Command & Control) это недопустимо. Любая ошибка в командах вверх/вниз или влево/вправо в FPV-режиме приведёт к немедленной потере аппарата.

2. Метод «псевдоуменьшения» задержки за счёт экстраполяции будущих кадров (DMVFN) на 40...120 мс работает только при плавном движении. В реальном FPV (лес, трасса) нейросеть не может предсказать внезапное появление препятствия. Она будет генерировать искажения или «сглаживать» мелкие, но критически важные объекты (провода, ветки). Падение метрики SSIM до 0,40...0,43 при прогнозе на 120...200 мс (таблица 4) делает такое видео непригодным для пилотирования, подменяя реальность артефактами модели.

3. В разделе 2.2 при обосновании применения метода Парзена–Розенблатта упоминается необходимость убедиться в независимости случайных величин (5 показателей эффективности) с помощью корреляционного анализа. Однако в самом тексте автореферата не приведены хотя бы итоговые значения коэффициентов корреляции между этими метриками в проведённых экспериментах, что затрудняет оценку правомерности применяемого вероятностного аппарата.

Отмеченные недостатки носят рекомендательный характер, не снижают высокой научной ценности полученных результатов и не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы.

Заключение о соответствии диссертации установленным критериям

Диссертация «Разработка и исследование комплекса моделей и методов по уменьшению задержки информационных потоков при взаимодействии с беспилотными системами в гибридных орбитально-наземных сетях связи» является комплексной исследовательской работой, в которой решена научная задача, имеющая существенное значение для развития телекоммуникационных технологий – снижение задержки информационных потоков при взаимодействии с беспилотными системами от первого лица.

Уровень апробации, публикаций (в том числе в изданиях, рекомендованных ВАК) и внедрения результатов диссертационной работы представляется вполне достаточным.

Диссертация соответствует заявленной специальности 2.2.15. «Системы, сети и устройства телекоммуникаций» и удовлетворяет требованиям действующего Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к докторским диссертациям, а её автор, Березкин Андрей Александрович, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук.

Главный научный сотрудник
Заслуженный деятель науки РФ
доктор технических наук, профессор

А. В. Кузичкин

1.09.2026г