

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Березкина Александра Александровича
«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 ученой степени доктора технических наук
по специальности 2.2.15 - Системы, сети и устройства телекоммуникаций

Актуальность диссертационного исследования определяется расширением областей применения беспилотных систем за пределами прямой радиовидимости и необходимостью их включения в гибридные сети, объединяющие наземные и спутниковые каналы связи. При FPV-взаимодействии оператор формирует команды ручного управления DSS (Direct Stick Steering) по принимаемому видеопотоку, поэтому задержка его доставки, целостность команд и перцептивное качество восстановленного видеопотока непосредственно влияют на результативность управления. Особенно сложны в этом отношении спутниковые сегменты, для которых характерны значительная задержка распространения, ограниченная пропускная способность и изменчивость параметров канала. В связи с этим разработка научно обоснованных методов уменьшения задержки информационных потоков при сохранении требуемой информативности видеопотока имеет существенное значение для теории и практики телекоммуникаций.

Цель работы состоит в уменьшении задержки информационных потоков при FPV-взаимодействии оператора с беспилотной системой на фрагменте гибридной орбитально-наземной сети связи. Для ее достижения автором разработан взаимосвязанный комплекс архитектурных, модельных, алгоритмических и оценочных решений.

К основным научным результатам диссертации относятся:

1. метод обоснования архитектуры системы информационного обмена, учитывающий совместное использование наземного, низкоорбитального и геостационарного сегментов, а также передачу видеопотока, телеметрии и команд ручного управления по разработанному специализированному протоколу прикладного уровня FPV-CTVP;
2. вероятностные модели каналов информационного обмена, устанавливающие зависимости показателей эффективности от параметров сети и использующие экспериментально определенные законы распределения задержки на прикладном уровне;

3. комплекс методов нейросетевого сжатия кадров FPV-видеопотока, уменьшающих объем передаваемых данных и задержку при сохранении требуемого перцептивного качества восстановленного видеопотока;

4. метод компенсации влияния задержки распространения посредством предсказания будущих кадров с учетом временного интервала прогноза и динамики видеоряда;

5. метод адаптивного сжатия команд взаимодействия оператора (команд ручного управления) на основе нейросетевых автокодировщиков и помехоустойчивого кодирования;

6. комплексная методика оценки эффективности системы информационного обмена по вероятности одновременного выполнения требований к задержке, потерям, качеству видеопотока и результативности управления беспилотной системой.

Научная новизна работы состоит в развитии научно-методического аппарата построения и оценки каналов информационного обмена для FPV-взаимодействия в гибридных сетях связи. Впервые установлены зависимости между вероятностью достижения цели функционирования беспилотной системы и перцептивным качеством восстановленного видеопотока, обосновано применение контрольных карт Шухарта к высокодинамичному процессу изменения интенсивности кадров, а также доказаны условия эффективности предсказания кадров в зависимости от задержки канала и динамики видеоряда.

Практическая значимость подтверждается созданием нейросетевых кодеков и протокола FPV-CTVP, испытаниями разработанных решений в мобильной сети LTE/LTE-Advanced и спутниковых каналах связи с использованием космических аппаратов «Ямал-601» и «Благовест». Получено уменьшение задержки FPV-видеопотока в геостационарном и наземном сегментах, показана возможность его передачи по низкоскоростным каналам КВ- и УКВ- диапазонов и сформулированы рекомендации по выбору параметров кодеков и системы информационного обмена.

Достоверность результатов обеспечивается корректным применением методов теории вероятностей, математической статистики, оптимизации, интерполяции, помехоустойчивого кодирования, машинного обучения и имитационного моделирования, а также согласованием расчетных результатов с данными натурных испытаний. Основные положения опубликованы в 84 научных работах, включая 38 статей в изданиях из перечня ВАК, 7 работ в изданиях, индексируемых международными базами данных, монографию и 5 результатов интеллектуальной деятельности.

Автореферат дает достаточно полное представление о содержании диссертации. Вместе с тем имеются следующие замечания:

1. Предложенный метод предсказания кадров компенсирует для оператора влияние задержки распространения, но не уменьшает физическое время доставки сигнала. В автореферате недостаточно четко разграничены измеряемая сквозная задержка и величина ее алгоритмической компенсации, а также не приведен механизм выявления недостоверного прогноза при резком изменении траектории или появлении нового препятствия. Для использования метода в контуре управления требуется оценка влияния ошибки прогноза на вероятность ошибочного управляющего воздействия.

2. Требования к перцептивному качеству восстановленного видеопотока получены в натурном эксперименте с беспилотным наземным транспортным средством на ограниченном испытательном поле. В автореферате не обоснована переносимость найденных зависимостей и пороговых значений на беспилотные авиационные системы, отличающиеся скоростью, динамикой маневра, характером наблюдаемой сцены и последствиями ошибки оператора. Следовало бы определить границы применимости полученных требований либо подтвердить их отдельными летными испытаниями.

3. Для многомерной ядерной оценки плотности вероятности показателей эффективности применено гауссово ядро. Однако задержка и вероятность потерь неотрицательны, а показатели качества имеют ограниченную область значений; поэтому симметричное ядро может формировать ненулевую плотность за физически допустимыми границами. В автореферате не приведены оценка граничного смещения и анализ чувствительности итоговой вероятности к виду ядра и ширине сглаживания. Целесообразно было бы сопоставить полученную оценку с результатами применения граничной коррекции или ядер, согласованных с областями определения показателей.

4. В формуле (5) на с. 17 допущены неточности в обозначениях: параметр сглаживания для задержки команд записан неодинаково во внешнем множителе и аргументе ядра, а для показателя DISTS использовано обозначение PSNR, хотя показатель PSNR в рассматриваемый вектор не входит. Эти ошибки не изменяют существа предложенного подхода, но затрудняют однозначное прочтение формулы и требуют редакционной корректировки.

Высказанные замечания имеют дискуссионный и уточняющий характер, не снижают научной и практической значимости выполненного исследования и общей положительной оценки диссертационной работы.

Диссертация Березкина Александра Александровича является завершенной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований решена научная проблема, имеющая существенное значение для развития систем, сетей и устройств телекоммуникаций. Работа соответствует требованиям пунктов 9-11, 13 и 14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.2.15 - Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

Научный сотрудник НТИ систем
спутниковых телекоммуникаций ФГАУ
«Национальный исследовательский центр
телекоммуникаций имени М.И. Кривошеева»,
доктор технических наук, профессор

Мырова Людмила Ошеровна

14 сентября 2026 г.

Подпись Л.О. Мыровой заверяю:



1. М.В. Аксенов
Ведущий специалист
СГ-ОК

2026 г.

ФГАУ «Национальный исследовательский центр телекоммуникаций имени М.И. Кривошеева»

105064, г. Москва, ул. Казакова, д. 16

Тел.: +7 (495) 647-17-77; e-mail: info@nic-t.ru; myrovalo@nic-t.ru