

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

С развитием беспилотных систем и гибридных сетей связи) возникает острая необходимость в обеспечении надежного управления беспилотными аппаратами за пределами прямой видимости. При этом для взаимодействия оператора с беспилотной системой от первого лица (FPV) критически важным параметром становится задержка информационных потоков для передачи видеопотока и команд управления. Существующие спутниковые сети одновременно увеличивают территорию обслуживания и вносят значительную задержку распространения при ограниченной пропускной способности каналов. В связи с этим разработка новых методов сжатия и предсказания данных на прикладном уровне для минимизации задержек является крайне своевременной и востребованной научной задачей.

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

К основным научным результатам исследования относятся:

1. метод обоснования архитектуры системы информационного обмена и протокол прикладного уровня FPV-CTVP, обеспечивающие совместную передачу видеопотока, телеметрии и команд при использовании наземных и спутниковых каналов;
2. модели каналов гибридной сети и методика их экспериментального исследования, устанавливающие зависимости показателей эффективности от параметров каналов и статистические законы распределения задержек и потерь на прикладном уровне;
3. комплекс методов нейросетевого сжатия кадров FPV-видеопотока, предназначенный для уменьшения объема передаваемых данных и задержки при сохранении требуемого перцептивного качества восстановленного видеопотока;

4. метод предсказания будущих кадров, позволяющий алгоритмически компенсировать влияние задержки распространения с учетом горизонта прогноза и динамики видеоряда;
5. метод адаптивного сжатия и помехоустойчивого кодирования команд взаимодействия оператора на основе нейросетевых автокодировщиков и кодов Рида–Соломона;
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 состоит в развитии научно-методического аппарата построения и оценки каналов информационного обмена для FPV-взаимодействия в гибридных сетях связи. В работе установлены зависимости вероятности достижения цели функционирования беспилотной системы от перцептивного качества восстановленного видеопотока, обосновано применение контрольных карт Шухарта к высокодинамичному процессу изменения интенсивности видеокадров и определены условия эффективности предсказания будущих кадров.

Практическая значимость подтверждается разработкой программных средств, прикладного протокола FPV-CTVP и нейросетевых кодеков, а также экспериментами в сети LTE/LTE-Advanced, спутниковых каналах с использованием космических аппаратов «Ямал-601» и «Благовест», а также в каналах КВ- у УКВ-диапазонов.

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

Автореферат отражает структуру и основные результаты диссертации. Вместе с тем по его содержанию имеются следующие замечания:

1. Недостаточно корректно сформулирован п. 1 «Научной новизны». О чём в нём идёт речь, о методе или архитектуре? Что отличается «от известных»?

2. Некоторые формулы оформлены недостаточно строго, например, формула (5), задающая многомерную оценку плотности вероятности по методу Парзена–Розенблатта. Не все индексы и параметры расшифрованы непосредственно после выражения, что затрудняет однозначную интерпретацию модели.

3. Выбор показателей DISTs и SSIM для оценки перцептивного качества восстановленного видеопотока обоснован недостаточно полно. Дополнительное сопоставление с VMAF и результатами субъективной оценки по шкале MOS усилило бы подтверждение установленных порогов качества и их связи с результативностью действий оператора.

Указанные замечания 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 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.

Отзыв составили:

Доктор технических наук, профессор кафедры «Радиотехника»

ИжГТУ им. М.Т. Калашникова

В. В. Хворенков

Докторская диссертация защищена по специальностям:

05.11.16 – Информационно-измерительные и управляющие системы (промышленность, научные исследования)

05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций

Даю согласие на обработку персональных данных.

Кандидат технических наук, доцент

заведующий кафедрой «Сети связи и телекоммуникационные системы»

ИжГТУ им. М.Т. Калашникова

М. А. Бояршинов

Кандидатская диссертация защищена по специальности:

05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций

Даю согласие на обработку персональных данных.

06.10.2026

426069, Удмуртская Республика, г. Ижевск, ул. Студенческая, 7

Тел. (3412) 77 -60-55, e-mail: info@istu.ru

Подписи профессора Хворенкова В.В. и доцента Бояршинова М.А.
заверяю

И.о. проректора по научной

и инновационной деятельности

ИжГТУ имени М.Т. Калашникова

МП



О.А. Дёгтева