

ОТЗЫВ

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

Развитие беспилотных авиационных систем (БАС) и переход к управлению от первого лица (FPV) формируют качественно новые требования к телекоммуникационной инфраструктуре. В условиях загоризонтного управления и необходимости глобального покрытия естественным решением становится интеграция наземных сетей связи с низкоорбитальными и геостационарными спутниковыми группировками, то есть построение гибридных орбитально-наземных сетей связи (ГОНСС). Однако спутниковый сегмент вносит задержки распространения, которые принципиально выводят классическое FPV за пределы нормативных требований 3GPP TS 22.829. Возникает противоречие между необходимостью уменьшения задержки при передаче информационных потоков с сохранением требуемого перцептивного качества восстановленного видеопотока и несовершенством существующего научно-методического аппарата обоснования облика таких систем. В этой связи тема диссертационного исследования А. А. Березкина, направленного на разработку комплекса моделей и методов уменьшения задержки информационных потоков в каналах информационного обмена (КИО) при взаимодействии оператора с беспилотной системой на фрагменте ГОНСС, представляется **актуальной**.

Анализ автореферата позволяет сделать вывод о том, что диссертационное исследование является самостоятельно выполненной научно-квалификационной работой, к наиболее значимым **новым научным результатам** которой можно отнести следующие:

1. Разработан новый метод обоснования архитектуры системы информационного обмена (СИО) для взаимодействия оператора с беспилотными системами, отличающийся от известных возможностью учета в ее составе спутникового сегмента ГОНСС, состоящего из группировок космических аппаратов на геостационарной и низкой околоземной орбитах, за счет снижения задержек передачи информационных потоков до требуемых значений.
2. Разработаны модели каналов информационного обмена беспилотных систем фрагмента ГОНСС, отличающиеся от известных тем, что учитываются показатели задержек и потерь кадров FPV-видеопотока и

команд взаимодействия оператора (КВО) на уровне приложения при использовании нейросетевых видеокодеков. На базе серии натурных экспериментов определены законы распределения параметров задержки уровня приложения для различных каналов информационного обмена фрагментов гибридной сети связи; экспериментально установлено, что случайная величина задержки FPV-видеокадров подчиняется закону усеченного двухпараметрического бета-распределения.

3. Разработан комплекс методов сжатия FPV-видеопотока в каналах информационного обмена беспилотных систем на основе нейросетевых моделей вариационных автокодировщиков и глубокого сжатия контекста, отличающийся учетом специфики взаимодействия оператора с беспилотной системой в режиме FPV, при котором ключевым показателем эффективности является задержка передачи FPV-видеопотока на уровне приложения при сохранении устойчивости к потерям фрагментов видеокадров.
4. Разработан метод уменьшения задержки кадров FPV-видеопотока на основе предсказания будущих кадров нейросетевой предсказательной моделью, отличающийся от известных тем, что позволяет уменьшить не только задержку сериализации и задержку в очередях, но и задержку распространения цифрового FPV-видеопотока.
5. Разработана комплексная методика оценки эффективности функционирования системы информационного обмена при взаимодействии оператора с беспилотными системами на фрагменте ГОНСС, в которой, в отличие от известного подхода к решению многокритериальных задач, основанного на использовании в качестве скалярного показателя эффективности различных сверток заданных критериев с весовыми коэффициентами, определяемыми экспертными методами, предложено использовать в качестве такого показателя вероятность достижения комплекса целей функционирования беспилотной системы. Для определения вероятности применен метод ядерной оценки Парзена–Розенблатта, адаптированный под показатели эффективности взаимодействия оператора с беспилотной системой от первого лица, что обеспечивает сопоставимый анализ различных реализаций систем FPV в заданных параметрах КИО ГОНСС.

Теоретическая значимость диссертационной работы заключается в развитии научно-методического аппарата построения и оценки каналов информационного обмена для взаимодействия оператора с беспилотными системами в гибридных орбитально-наземных сетях связи за счет разработки нового комплекса взаимосвязанных моделей и методов, учитывающих специфику уровня приложения FPV. Существенное теоретическое значение имеют разработанные методы нейросетевого сжатия FPV-видеопотока, метод уменьшения задержки передачи FPV-видео за счет предсказания будущих

кадров и метод адаптивного сжатия и агрегации КВО, основанные на обработке данных во внутреннем латентном пространстве признаков нейронной сети, что расширяет существующие представления о возможностях уменьшения задержки информационных потоков в каналах информационного обмена и формирует теоретическую основу для дальнейшего развития систем FPV в наземных и спутниковых сегментах гибридных сетей связи.

К практическим научным результатам следует отнести, в первую очередь, создание нейросетевого видеокодека для кодирования FPV-видеопотока с низкой задержкой в ГОНСС, а также протокола прикладного уровня FPV-CTVP для управления информационными потоками беспилотных систем. Разработанная архитектура СИО и методы нейросетевого сжатия FPV-видеопотока позволяют уменьшить задержку его передачи в HD-качестве в спутниковой геостационарной сети связи в среднем на 78% с экономией пропускной способности на 40% по сравнению со стандартными видеокодеками; для наземного сегмента (мобильная сеть LTE/LTE Advanced) задержка уменьшается в среднем на 20% при экономии пропускной способности на 53%. Разработанная нейросетевая модель маскирования видеопотока позволяет дополнительно сэкономить 25% пропускной способности. Самостоятельную практическую ценность имеют научно обоснованные требования к перцептивному качеству восстановления видеопотока, при котором вероятность достижения цели функционирования беспилотной системы будет не ниже заданной ($DISTS \leq 0,232$ и $SSIM \geq 0,75$ при $P > 0,7$). Результаты внедрены в ФГУП «Космическая связь», АО «РЕШЕТНЕВ», ООО «КБ «Интеллектуальные приборы», ФГБУ «16 ЦНИИ» МО РФ, а также в СПбГУТ им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, что подтверждает их практическую значимость.

Материалы диссертационного исследования в полном объеме отражены в публикациях автора и прошли апробацию на международных и всероссийских научных конференциях. Основные результаты диссертации изложены в 84 опубликованных работах, в том числе в 38 работах из перечня ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации; 7 работах в изданиях, включенных в международные базы цитирования; 1 монографии; 5 результатах интеллектуальной деятельности; 3 отчетах о НИР; 30 работах в других научных изданиях и материалах конференций.

По автореферату имеются **следующие замечания**:

1. В таблице 7 (стр. 41) приведены результаты шести серий экспериментов с разным процентом потерь пакетов, однако не указано, каким образом выбиралось количество заездов (100) в каждой серии и обеспечивается ли при этом требуемая доверительная вероятность оценки P ; соответствующее пояснение в тексте автореферата отсутствует.

2. В автореферате отсутствуют сведения о вычислительной сложности разработанных в диссертации расчетных алгоритмов, и ее зависимости от величин входных параметров.
3. В формулировке Теоремы 1 не приводится выражение или ссылка на него для оценки эффективности уменьшения сетевой задержки за счет предсказания будущих кадров.

Отмеченные недостатки не являются принципиальными и не снижают ценности полученных автором результатов. Судя по автореферату, диссертация «Разработка и исследование комплекса моделей и методов по уменьшению задержки информационных потоков при взаимодействии с беспилотными системами в гибридных орбитально-наземных сетях связи» выполнена на высоком уровне и является законченной научно-квалификационной работой, в которой присутствуют теоретическая значимость, научная новизна и практическая ценность.

Считаю, что работа соответствует всем требованиям ВАК, предъявляемым к диссертационным работам на соискание ученой степени доктора технических наук, а её автор, Берёзкин А.А., заслуживает присвоения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.2.15 Системы, сети и устройства телекоммуникаций

Заведующей кафедрой «Интеллектуальные сетевые и облачные технологии»,
доктор технических наук, профессор

Степанов
Сергей Николаевич

Подпись Степанова С.Н. удостоверяю

Главный специалист
08.10.2026



Гурашвили С.С.

Организация: Ордена Трудового Красного Знамени федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский технический университет связи и информатики».
Почтовый адрес: 111024, г. Москва, Авиамоторная ул., 8а
Тел.: (495) 957-77-31
E-mail: mtuci@mtuci.ru

Я даю свое согласие на обработку персональных данных и включение их в документы, связанные с работой диссертационного совета.

