



УТВЕРЖДАЮ
Заместитель начальника Военной академии
связи по учебной и научной работе

А. Сапрыкин

2026 г.

Отзыв

на автореферат диссертации на соискание ученой степени д.т.н.
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» научная специальность:
2.2.15 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций

Диссертационная работа Березкина А.А. посвящена созданию нового комплекса моделей и методов обработки информации, направленных на уменьшение задержки информационных потоков в каналах информационного обмена при взаимодействии с беспилотными системами (БС) в режиме от первого лица (FPV). Реализация такого подхода достигается за счёт внедрения нейросетевых технологий на прикладном уровне (сжатие видеопотока, предсказание видеок кадров, адаптивное сжатие команд взаимодействия), что позволяет перераспределить вычислительные ресурсы в пользу минимизации сквозных задержек при сохранении требуемого перцептивного качества видеопотока. Это делает работу крайне актуальной для развития и внедрения перспективных гибридных орбитально-наземных сетей связи (ГОНСС), в том числе с задействованием низкоорбитальных (НОО) и геостационарных (ГСО) спутниковых группировок.

Необходимо отметить, что полученные автором результаты в форме новых математических моделей, нейросетевых кодеков и адаптивных протоколов (FPV-STVP) впервые позволяют обеспечить детерминированный отклик и квазисинхронное управление беспилотными аппаратами в условиях динамически изменяющихся каналов связи с большими задержками распространения сигнала.

Указанные аспекты в полной мере определяют **актуальную научную проблему**: теоретическое обоснование и разработка новых методов уменьшения задержки FPV-видеопотока и команд управления на прикладном уровне каналов

информационного обмена фрагмента гибридной орбитально-наземной сети связи на основе нейросетевых технологий сжатия и прогнозирования.

Согласно автореферату, при решении указанной выше научной проблемы в работе получены следующие основные **научные результаты**:

1. Разработан новый метод обоснования архитектуры системы информационного обмена для FPV взаимодействия, позволяющий учитывать спутниковый сегмент ГОНСС за счет механизмов адаптивного управления.
2. Созданы вероятностные модели каналов информационного обмена, устанавливающие зависимость между параметрами гибридной сети и показателями эффективности (задержками, потерями кадров).
3. Синтезирован комплекс методов нейросетевого сжатия FPV-видеопотока (на базе вариационных автокодировщиков и глубокого сжатия контекста), позволяющий значительно экономить пропускную способность и снижать сетевую задержку за счет обработки в латентном пространстве признаков нейронной сети.
4. Разработан метод предсказания будущих кадров (с использованием модели DMVFN), обеспечивающий «псевдоуменьшение» задержки распространения цифрового видеопотока в спутниковом канале.
5. Предложен метод адаптивного сжатия команд взаимодействия оператора (КВО), объединяющий нейросетевые автокодировщики и помехоустойчивые коды Рида-Соломона.
6. Разработана комплексная методика оценки эффективности системы информационного обмена, базирующаяся на оценке вероятности достижения комплекса целей функционирования БС.

Отдельно следует выделить то, как автор умело использует **методологический аппарат**, что обуславливает высокую степень достоверности полученных результатов.

Березкин А.А. в процессе исследования комбинирует методы теории машинного обучения и глубоких нейронных сетей с классической теорией помехоустойчивого кодирования и математической статистикой. **Достоверность** предложенных теоретических моделей доказывается корректным выбором математического инструментария: например, для многомерной оценки плотности вероятности показателей эффективности автор обоснованно применяет метод непараметрической ядерной оценки Парзена-Розенблатта, а для адаптивного управления интенсивностью видеопотока успешно адаптирует статистический аппарат контрольных карт Шухарта. Объединение нейросетевых

автокодировщиков с укороченными кодами Рида-Соломона позволило автору решить нетривиальную задачу сжатия сверхкоротких команд управления (протоколы CRSF и Mavlink), где традиционные алгоритмы без потерь неэффективны.

Кроме того, результаты исследований обладают бесспорной достоверностью благодаря масштабной верификации: теоретические выводы подтверждены серией натурных испытаний на реальном оборудовании в сетях LTE и через спутниковые каналы (ГСО «Ямал-601», терминалы «РС-30М», системы связи «Благовест»), а также каналы КВ и УКВ диапазонов. Высокая достоверность также подкрепляется исчерпывающей апробацией на международных конференциях и объемом публикаций (84 научных работ, из которых 38 – в ведущих рецензируемых журналах ВАК).

Автореферат диссертации дает относительно полное представление о структуре и содержании работы, однако по нему можно сделать следующие **замечания**:

1. В автореферате указывается, что для восстановления плотности вероятности показателей эффективности используется метод ядерной оценки Парзена-Розенблатта. В приведенной формуле (5) присутствует параметр сглаживания (коэффициент размытости) h . Однако в тексте (стр. 17–18) не раскрыт алгоритм или критерий выбора этого параметра. Некорректный выбор величины h при ограниченном объеме выборки может привести к избыточному сглаживанию или недооценке реальной дисперсии, что способно исказить итоговую интегральную оценку вероятности достижения цели.
2. Разработанный метод уменьшения задержки базируется на нейросетевой модели предсказания кадров DMVFN, при этом в основу положено допущение о том, что динамика видеопотока в пределах временного диапазона предсказания ΔT остается квазистационарной (стр. 32). В автореферате недостаточно освещен вопрос о том, как ведет себя предсказательная модель в условиях нелинейных и высокодинамичных маневров БПЛА (например, при срыве потока или резком крене), когда данное допущение гарантированно нарушается и точность предсказания должна критически падать.
3. В главах 3 и 5 подробно описываются архитектуры разработанных нейросетевых кодеков (НВК, НККВО), а также моделей восстановления пропущенных данных в латентном пространстве. Тем не менее, в автореферате отсутствуют сведения о характеристиках наборов данных

(датасетов), на которых производилось обучение этих нейронных сетей. Неясно, обучались ли модели на специализированных выборках реальных полетов FPV-дронов с учетом оптических искажений и разных погодных условий, что крайне важно для оценки их генерализующей способности.

Отмеченные замечания не являются принципиальными, носят частный характер и не снижают положительную оценку диссертационной работы.

Таким образом, следует отметить, что диссертационная работа 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» является целостной научно-квалификационной работой, соответствующей требованиям ВАК, предъявляемым к диссертационным работам на соискание степени доктора технических наук.

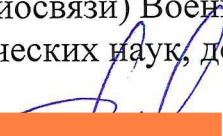
Автор данной работы Березкин А.А. заслуживает присуждения ему учёной степени доктора технических наук по специальности: 2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

Начальник 11 кафедры (радиосвязи) Военной академии связи
доктор технических наук, профессор



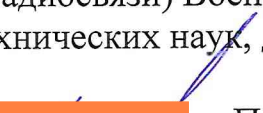

Пшеничников Александр Викторович

Профессор 11 кафедры (радиосвязи) Военной академии связи,
доктор технических наук, доцент




Бородулин Роман Юрьевич

Профессор 11 кафедры (радиосвязи) Военной академии связи,
кандидат технических наук, доцент




Погорелов Андрей Анатольевич