

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель начальника
Военно-космической академии
имени А.Ф. Можайского
по учебной и научной работе
доктор технических наук, профессор

Ю.Кулешов

2026 г.

« 07 »

сентября

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», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.2.15 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций

В настоящее время наблюдается ускоренное развитие беспилотных систем и методов управления ими, обусловленное приоритетной ролью их применения в вопросах обеспечения безопасности Российской Федерации. Основным видом передаваемой информации от беспилотных аппаратов (БПА) являются видеоданные реального времени, которые определяют высокие требования к своевременности их доставки. Зачастую БПА выполняют свои задачи на значительном удалении от оператора, в результате чего управление осуществляется с использованием гибридных орбитально-наземных сетей связи. С ростом числа одновременно задействованных БПА резко возрастает нагрузка на сеть связи. При этом для трафика видеоданных реального времени требуется не просто наличие высокоскоростной инфраструктуры, но и учет временных задержек внутри сети. Поскольку в гибридных орбитально-наземных сетях связи временные задержки, вызванные прохождением радиосигнала в среде распространения сократить невозможно, существует потребность в сокращении сквозных задержек непосредственно при обработке видеоданных в каналах информационного обмена. В этой связи особую актуальность приобретает разработка и исследование комплекса моделей и методов, направленных на минимизацию задержки в гибридных орбитально-наземных сетях связи, для обеспечения надежного управления беспилотными системами на больших расстояниях и в труднодоступных регионах.

Таким образом, диссертация 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» является **актуальной**.

Объектом исследований выбраны каналы информационного обмена для взаимодействия оператора с беспилотной системой на фрагменте гибридной орбитально-наземной сети связи, а **предметом исследований** – комплекс моделей и методов уменьшения задержки информационных потоков в каналах информационного обмена за счет сжатия и предсказания FPV-видеопотока и команд взаимодействия оператора.

В работе автором выявлено **противоречие**, которое заключается с одной стороны в необходимости уменьшения задержки информационных потоков в каналах информационного обмена с учетом требований к перцептивному качеству восстановленного FPV-видеопотока при взаимодействии с беспилотными системами в гибридных орбитально-наземных сетях связи, а с другой стороны существует несовершенство научно-методического аппарата обоснования облика системы информационного обмена, а также методик оценки ее эффективности.

Для преодоления сформулированного противоречия соискателем поставлена **научная проблема**, направленная на разрешение указанного противоречия, решение которой позволяет достичь **цели исследования**, состоящей в уменьшении задержки информационных потоков при взаимодействии оператора с беспилотной системой от первого лица на фрагменте гибридной орбитально-наземной сети связи, достигнута.

Автором лично получены **новые научные результаты**:

1. Метод обоснования архитектуры системы информационного обмена для взаимодействия оператора с беспилотными системами, **отличающийся** от известных возможностью учета в ее составе спутникового сегмента гибридной орбитально-наземной сети связи, состоящего из спутниковых группировок космических аппаратов на геостационарной и низкой околоземной орбитах, за счет снижения задержек передачи информационных потоков до требуемых значений.

2. Модели каналов информационного обмена беспилотных систем фрагмента гибридной орбитально-наземной сети связи для передачи информационных потоков при взаимодействии с беспилотными системами, **отличающиеся** от известных тем, что учитываются показатели задержек и потерь кадров FPV-видеопотока и команд взаимодействия оператора на уровне приложения при использовании нейросетевых видеокодеков.

3. Метод адаптивного сжатия команд взаимодействия оператора с беспилотными системами на основе нейросетевых автокодировщиков и помехоустойчивых кодов, **позволяющий** уменьшить требования к пропускной способности канала информационного обмена.

4. Комплексная методика оценки эффективности функционирования системы информационного обмена при взаимодействии оператора с беспилотными системами на фрагменте гибридной орбитально-наземной сети связи, **позволяющая** оценить вероятность попадания значений показателей эффективности каналов информационного обмена в область заданных требований, и на основе ее оценки обосновать параметры системы

информационного обмена.

Представленные результаты логически взаимоувязаны, удовлетворяют требованиям значимости, новизны и полезности, в достаточной мере обоснованы, и в совокупности являются решением поставленной научной задачи.

Достоверность полученных результатов определяется адекватностью выбранного математического аппарата, корректностью формализации научной проблемы и вводимых ограничений и допущений, обоснованностью использования общенаучных и специальных научных методов исследования, а также непротиворечивостью результатам, полученным в ранее проведенных исследованиях.

Теоретическая значимость 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.

Практическая значимость результатов диссертации заключается в создании специализированного нейросетевого видеокodeка для передачи видеопотока с низкой задержкой, а также в разработке прикладного протокола управления FPV-CTVP, предназначенного для функционирования в гибридных орбитально-наземных сетях связи. Предложенная архитектура системы информационного обмена обеспечивает интеграцию видеопотока, телеметрии и команд управления в едином контуре информационного обмена прикладного уровня. Применение данных решений позволяет эффективно использовать спутниковые каналы связи геостационарной орбиты для задач передачи информационных потоков при взаимодействии с беспилотными системами в режиме «от первого лица», снижая временные задержки до значений, сопоставимых с характеристиками наземных сегментов связи.

Прикладной характер исследования подтверждается успешным внедрением полученных результатов в деятельность профильных предприятий космической отрасли и научно-исследовательских институтов Министерства обороны Российской Федерации. Разработанная комплексная методика оценки эффективности предоставляет инструментарий для объективного обоснования параметров систем FPV на основе вероятности достижения поставленных функциональных целей.

Вышесказанное определяет значимость результатов диссертации БЕРЕЗКИНА Александра Александровича для теории и практики исследуемой предметной области и соответствует паспорту научной специальности 2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций по пунктам 2, 5, 11.

Стиль изложения материалов автореферата научный, структура представления содержания диссертации позволяет сформировать взаимоувязанную систему атрибутов исследования, определяющих цель, решаемую научную проблему и положения, выносимые на защиту, что свидетельствует о достаточной степени проработки автором исследуемой темы.

В автореферате выявлен ряд недостатков.

1. Полученные автором результаты содержат противоречие между сжатием и целостностью КВО. Так, предложенный метод адаптивного сжатия команд взаимодействия оператора демонстрирует критическую зависимость между эффективностью сжатия и уровнем потерь, что ставит под сомнение возможность использования метода в реальных контурах управления.

2. Область практического применения предложенного научного метода ограничена рядом действующих протоколов для связи с беспилотными аппаратами

3. Алгоритмическое предсказание будущего кадра на стороне приема не устраняет физическую задержку прохождения сигнала, а лишь пытается визуально компенсировать её для оператора. При этом ошибка предсказания в условиях высокой динамики полета может привести к рассогласованию между отображаемой и реальной позицией БПЛА.

4. Предложенная модификация видеокодека с маскированием данных в латентном пространстве (раздел 3.1.3) хотя и экономит пропускную способность, ведет к значительному снижению качества восстановленного видеопотока. При этом баланс между экономией ресурса сети и информативностью картинки для оператора в работе не формализован до конца.

Указанные замечания имеют рекомендательный и уточняющий характер, в целом не влияют на значимость результатов и общий научный уровень диссертационного исследования. Таким образом, цель диссертации достигнута, научная проблема решена.

ВЫВОД: диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, содержащую новое решение актуальной научной проблемы уменьшения задержки информационных потоков при взаимодействии с беспилотными системами на фрагменте гибридной орбитально-наземной сети связи. По научному содержанию, глубине и полноте выполненных исследований, а также объему полученных результатов, диссертация соответствует требованиям «Положение о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 года, а ее автор, БЕРЕЗКИН Александр Александрович, заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

Отзыв обсужден и одобрен на заседании кафедры сетей и систем связи космических комплексов, протокол № 1 от «4» 09 2026 г.

Отзыв составил:

Начальник кафедры сетей и систем связи космических комплексов
доктор технических наук, доцент

Е.Новиков

«4» 09 2026 г.