

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Сапожникова Максима Вячеславовича на тему:
«Методика оценки потерь в спутниковых системах квантовых коммуникаций
с учетом атмосферной турбулентности» на соискание ученой степени

кандидата технических наук по специальности

2.2.15 – «Системы, сети и устройства телекоммуникаций».

Диссертационная работа Сапожникова М.В. посвящена разработке методики оценки энергетических потерь, обусловленных влиянием атмосферных явлений при реализации спутникового квантового распределения ключей. Данное направление представляет собой перспективный сегмент квантовых коммуникации, обеспечивающий формирование общего криптографического ключа между удалёнными пользователями с информационной стойкостью, гарантированной законами квантовой физики, и, как следствие, устойчивостью как к классическим, так и к потенциально возможным квантовым атакам.

Современные реализации спутникового квантового распределения ключей в значительной степени ограничены влиянием атмосферных факторов, главным образом, атмосферной турбулентностью, обусловленной флуктуациями показателя преломления воздуха. Именно эти искажения, в том числе, определяют предельные значения основных показателей эффективности КРК: скорости генерации просеянной квантовой ключевой последовательности и коэффициента квантовых ошибок на бит. Существующие подходы к оценке энергетических потерь в оптическом канале либо не учитывают пространственно-временную неоднородность турбулентной атмосферы, либо требуют чрезмерных вычислительных ресурсов при моделировании, что снижает их применимость для оперативного проектирования и анализа спутниковых квантовых каналов.

Ключевым результатом проведённого исследования стала разработка оригинальной методики расчёта энергетических потерь, учитывающей воздействие атмосферной турбулентности для расчёта эффективности КРК. Применение предложенной методики в рамках численного моделирования экспериментов по КРК позволило повысить точность оценки показателей эффективности КРК не менее чем в 1,2 раза по сравнению с существующими подходами.

Теоретическая значимость работы заключается в развитии методики оценки энергетических потерь, путем учета атмосферной вихревой структуры турбулентной атмосферы.

Практическая значимость диссертационной работы подтверждается внедрением основных и промежуточных результатов исследования в деятельности следующих организаций: ООО «КуСпэйс Технологии», ООО «КуРэйт», АО «Мостком» и МТУСИ.

Замечания:

1. В тексте автореферата отсутствует описание технических характеристик и функциональных возможностей спутника, предложенного к рассмотрению

Вход. № 138/25
« 12 » 12 20 25
подпись

при сопоставлении результатов численного моделирования с натурными экспериментальными данными.

2. Из автореферата неясно возможно ли расширение методики по учёту дополнительных параметров (например, фоновой засветки, поляризационных искажений, влияния космической радиации).

Заключение:

Оценивая работу в целом, следует отметить, что приведенные замечания не влияют на ее ценность и не являются существенными. Все поставленные задачи решены в полном объёме. Диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям («Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ №842 от 24.09.2013 г. (в ныне действующей редакции)), а ее автор, Сапожников Максим Вячеславович, заслуживает присуждение ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.15. - Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

Отзыв составил:

профессор

Центр квантовых технологий МГУ имени М. В. Ломоносова

119991, г. Москва, Ленинские горы, д.1, стр. 35, +7 (495) 939-37-81, rg@quantum.msu.ru, доктор физико-математических наук, доцент

 Сергей Павлович Кулик

03 декабря 2025 г.

Подпись Кулика С.П. заверяю

Ученый секретарь Ученого совета,

доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры оптики, спектроскопии и физики наносистем

 Стремоухов Сергей Юрьевич

