

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 М.В. Сапожникова посвящена актуальной научно-технической проблеме разработки методики количественной оценки энергетических потерь в спутниковых системах квантовых коммуникаций, обусловленных вопросами распространения оптического излучения в атмосфере.

Актуальность темы обусловлена возрастающей потребностью в глобальных защищённых каналах связи, реализуемых с использованием спутниковых платформ квантового распределения ключей. В отличие от классических криптографических систем, КРК обеспечивает доказуемую информационную стойкость ключевой последовательности, благодаря использованию криптографических алгоритмов и аппаратных защитных мер. Однако практическая реализация таких систем сдерживается природой физических явлений в канале распространения сигнала, среди которых доминирующую роль играют атмосферные потери, приводящие к снижению скорости генерации просеянного ключа и росту уровня ошибок в квантовом канале.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

1. Разработана методика количественной оценки среднеквадратического блуждания луча вследствие влияния атмосферной турбулентности, отличающаяся от существующих тем, что учитывает как параметры атмосферы, так и ее вихревую структуру;
2. Разработана методика определения изменений распределения интенсивности излучения в пучке, обусловленная влиянием атмосферной

Вход. № 130/25
« 05 » 12 20 28
подпись

турбулентности, отличающаяся от существующих тем, что учитывает как параметры атмосферы, так и ее вихревую структуру;

3. Разработана методика оценки обусловленных атмосферной турбулентностью энергетических потерь, использующая сочетание методик количественной оценки среднеквадратического блуждания луча и определения изменений распределения интенсивности излучения в пучке, учитывающих как параметры атмосферы, так и ее вихревую структуру.

Практическая значимость исследования подтверждена результатами практического внедрения основных результатов работы. Показано, что использование разработанного подхода потенциально позволяет повысить точность прогнозирования эффективности КРК не менее чем в **1,2 раза**.

Работа носит завершённый характер и соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Все поставленные задачи решены в полном объёме. Выносимые положения, изложенные в автореферате диссертации, логически обоснованы, подкреплены теоретическими выкладками и экспериментальными данными.

Замечания:

В автореферате не указаны параметры приемо-передающих оптических терминалов, использованные при сопоставлении результатов численного моделирования с натурными экспериментальными данными. Между тем, как известно, атмосферные потери, включая рассеяние и поглощение, а также чувствительность к турбулентности, существенно зависят от этих параметров (например, рабочая длина волны, радиус луча, формируемый передатчиком и т.д.).

Заключение:

Отмеченные замечания не снижают ценности диссертационной работы М.В. Сапожникова и носят рекомендательный характер. Судя по автореферату и опубликованным работам можно сделать вывод, что диссертационная работа **«Методика оценки потерь в спутниковых системах квантовых коммуникаций с учетом атмосферной турбулентности»**, представленная на

соискание ученой степени кандидата технических наук, является законченной научно-квалификационной работой. Она соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ №842 от 24.09.2013 г. (в ныне действующей редакции), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а Сапожников М.В. заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.15 - «Системы, сети и устройства телекоммуникаций».

Заведующий кафедрой «Вычислительные системы, сети и информационная безопасность» РУТ(МИИТ), к.т.н., доцент



Б.В. Желенков

«03» декабря 2025 г.



Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет транспорта»

Адрес: 127994, ГСП-4, г. Москва, ул Образцова, д. 9, стр. 9.

Телефон: +7 495 274-02-74.

E-mail: info@rut-miit.ru.