

УДК 535.8

**ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО УСИЛИТЕЛЯ СИГНАЛА, ЛЕГИРОВАННОГО ИОНАМИ ЭРБИЯ, ДЛЯ СИСТЕМ СОВМЕСТНОЙ ПЕРЕДАЧИ КВАНТОВЫХ И ИНФОРМАЦИОННЫХ КАНАЛОВ В ОДНОМ ОПТИЧЕСКОМ ВОЛОКНЕ**

ТУПЯКОВ Д.В. (Университет ИТМО), ИВАНКОВ Н.А. (Университет ИТМО)

**НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – КАНДИДАТ ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ НАУК,  
КИСЕЛЕВ Ф.Д.  
(Университет ИТМО)**

В работе продемонстрировано моделирование использования волоконно-оптического усилителя, легированного ионами эрбия EDFA (*erbium - doped fiber amplifier*), для увеличения эффективности квантового распределения ключа на боковых частотах (КРКБЧ) через волоконно-оптическую линию связи (ВОЛС) одновременно с передачей информации классическими каналами. По результатам моделирования представлены численные значения доступных для использования мощностей классических сигналов, оптическое соотношение сигнал-шум, а также зависимость квантового коэффициента ошибок и скорости генерации секретного ключа для квантового канала от длины волокна в случае с использованием EDFA и без него.

**Введение.**

В течение последних десятилетий направление квантовых коммуникаций, а в частности квантовое распределение ключей (КРК) является одной из наиболее активно и динамично развивающихся областей квантовых технологий. Можно выделить несколько подходов к практической реализации квантового канала для КРК, в частности, через ВОЛС. Практические реализации ВОЛС в настоящее время неразрывно связаны с применением технологий мультиплексирования каналов с разделением по длине волны (WDM). Мультиплексирование или уплотнение - объединение нескольких входных каналов, обладающих относительно малой емкостью, в один канал большей емкости с целью дальнейшей передачи сигналов по одному выходному каналу, а стало быть, применение технологий мультиплексирования решает проблему удовлетворения постоянно растущей потребности в увеличении информационной емкости каналов связи.

Реализация системы КРК в существующей информационной оптической сети, основанной на WDM, является сложной задачей, поскольку слабый сигнал квантового канала подвергается негативному воздействию со стороны значительно более мощных информационных (классических) каналов. Такое разрушающее влияние обусловлено шумовыми сигналами, образующимися на частотах квантового канала, возникающих как следствие таких нелинейных эффектов как: спонтанное комбинационное рассеяние и четырехволновое смешение, а также линейные перекрестные помехи и усиленное спонтанное излучение. К настоящему моменту уже разработано большое количество методов уменьшения негативного влияния классических информационных каналов при реализации КРК одновременно с передачей информации в одной оптической сети. Часть из них основана на методе оптимизации частотной сетки, то есть на подборе частот классических каналов таким образом, чтобы влияние на квантовый было минимальным. Другая часть основана на использовании специального оборудования: многосердцевидные волокна, волокна с увеличенной эффективной площадью фундаментальной моды, оптические аттенюаторы, узкополосные спектральные фильтры. Кроме того, квантовые и классические каналы подвержены дисперсионному затуханию в волокне, которое значительно снижает дальность передачи. Волоконные оптические усилители, легированные эрбием (EDFA), могут быть использованы для увеличения дальности распространения классических каналов.

## **Основная часть.**

Мощность генерируемых классическими каналами шумов пропорциональна их собственной мощности, поэтому один из методов минимизации влияния информационных каналов на квантовый канал основан на уменьшении их пусковой мощности. Однако существует предел уменьшения, связанный с чувствительностью приемника сигнала. Для использования сигналов с мощностью меньше предельной, можно воспользоваться волоконно-оптическим усилителем EDFA, расположив его перед приемником. В таком случае уровень мощности классических каналов будет восстанавливаться до предельного уровня, что приведет к сохранению эффективности передачи информации.

Квантовый канал не может распространяться через EDFA, поскольку каждое квантовое состояние света, используемое впоследствии для генерации ключевой информации, будет необратимо искажено действием усиления. Практическим решением для этого является использование дополнительного демультиплексора. На стороне получателя квантовый канал отводится из основной линии ВОЛС до попадания в усилитель и направляется в блок обработки. Оставшиеся в ВОЛС классические каналы усиливаются с помощью EDFA и попадают на основной демультиплексор.

В рамках работы мы произвели совместное моделирование усилителя EDFA для мультиплексированного классического сигнала и КРКБЧ при помощи программной среды MATLAB. Цель моделирования заключалась в том, чтобы найти минимальную мощность классических сигналов, допустимую с точки зрения сохранения качества передачи информации, и определить как измененная мощность влияет на эффективность КРК через ВОЛС с WDM.

## **Выводы.**

Разработанная на языке MATLAB модель позволяет получить наименьшее значение мощности классических информационных каналов, при которой сохраняется качество передачи информации (выполняются ограничения на соотношение сигнал – шум и ограничения, вызванные чувствительностью приемника). Полученные результаты показывают эффективность использования усилителя EDFA в контексте реализации КРК через ВОЛС с WDM. Таким образом полученная модель может быть использована на практике для определения параметров классических каналов и параметров усилителя EDFA наиболее эффективных для реализации КРК совместно с передачей информации через любую ВОЛС.

Тупяков Д.В. (автор)

Подпись

Киселев Ф.Д. (научный руководитель)

Подпись