

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Инженерно-технологическая академия

**К. Е. РУМЯНЦЕВ**  
**Н. Н. ШАКИР**

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ КВАНТОВОГО  
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КЛЮЧА  
С ИНТЕРФЕРОМЕТРАМИ МАХА – ЦЕНДЕРА**

*Учебное пособие*

Ростов-на-Дону – Таганрог  
Издательство Южного федерального университета  
2020

УДК 621.391.64  
ББК 32.875я73-5  
Р865

*Печатается по решению кафедры информационной безопасности телекоммуникационных систем Института компьютерных технологий и информационной безопасности Южного федерального университета (протокол № 10 от 15 января 2020 г.)*

**Рецензенты:**

заместитель директора по научной работе Ростовского филиала Российской таможенной академии, заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор *Д. А. Безуглов*

профессор кафедры «Антенны и радиопередающие устройства» Южного федерального университета, заслуженный работник высшей школы РФ, доктор технических наук, профессор *В. А. Обуховец*

**Румянцев, К. Е.**

Р865 Проектирование системы квантового распределения ключа с интерферометрами Маха – Цендера : учебное пособие / К. Е. Румянцев, Н. Н. Shakir ; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону ; Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2020. – 108 с.

ISBN 978-5-9275-3560-6

Пособие посвящено проектированию системы квантового распределения ключа по протоколу B92 с интерферометрами Маха – Цендера. Система содержит оптический однофотонный передатчик на станции Алиса и оптический однофотонный приёмник на станции Боб. Оптические передатчик и приёмник соединены волоконно-оптической линией связи на основе одномодового оптического волокна Coming®SMF-28e®ULL. В проектируемой системе для формирования и приёма квантового импульса используется ослабленный лазерный импульс.

Учебное пособие готовит студента к разработке нормативной, технической и отчётной документации, представлять результаты профессиональной деятельности с использованием стандартов, норм и правил. Проектирование системы квантового распределения ключа по протоколу B92 с интерферометрами Маха – Цендера требует от студента анализа и учёта текущего состояния и тенденций развития технических средств защиты информации, сетей и систем передачи информации при решении задач профессиональной деятельности.

Пособие предназначено для студентов специальности 10.05.02 «Информационная безопасность телекоммуникационных систем». Пособие полезно для подготовки дипломированных специалистов по специальностям и направлению укрупнённой группы 10.00.00 «Информационная безопасность».

УДК 621.391.64  
ББК 32.875я73-5

ISBN 978-5-9275-3560-6

© Южный федеральный университет, 2020  
© Румянцев К. Е., Shakir Н. Н., 2020  
© Оформление. Макет. Издательство  
Южного федерального университета, 2020

## СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ .....	3
СПИСОК ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ .....	4
ВВЕДЕНИЕ .....	6
1. ПАРАМЕТРЫ ПРИМЕНЯЕМЫХ ОДНОМОДОВЫХ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН .....	12
1.1. Параметры одномодового оптического волокна на станциях .....	12
1.2. Параметры оптического волокна Corning®SMF-28e®ULL .....	13
1.3. Параметры одномодовых оптических коннекторов .....	15
2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИСТОЧНИКА ОДИНОЧНЫХ ФОТОНОВ .....	17
2.1. Выбор передающего оптического модуля .....	17
2.2. Выбор волоконного поляризатора .....	25
2.3. Выбор регулируемого волоконно-оптического аттенюатора .....	26
3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНТЕРФЕРОМЕТРА МАХА – ЦЕНДЕРА ПЕРЕДАЮЩЕЙ СТАНЦИИ АЛИСА .....	31
3.1. Обоснование выбора волоконно-оптического разветвителя .....	32
3.2. Верхнее плечо первого интерферометра Маха – Цендера .....	35
3.3. Нижнее плечо первого интерферометра Маха – Цендера .....	40
3.4. Квантовые импульсы на выходе несбалансированного интерферометра Маха – Цендера станции Алиса .....	46
3.5. Уточнение требований к оптическому однофотонному передатчику станции Алиса .....	50
4. РАСЧЁТ ЭНЕРГОВРЕМЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОЙ ЛИНИИ СВЯЗИ .....	53
4.1. Расчёт потерь мощности излучения в волоконно-оптической линии связи .....	53
4.2. Исследование временных характеристик линии связи .....	54
4.3. Анализ поляризационных свойств линии связи .....	57
4.4. Компенсация поляризационных искажений в линии связи ...	60
5. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНТЕРФЕРОМЕТРА МАХА – ЦЕНДЕРА ПРИЁМНОЙ СТАНЦИИ БОБ .....	63

Содержание

5.1. Уточнение требований к интерферометру приёмной станции	63
5.2. Выбор поляризационного светоделителя .....	65
5.3. Выбор волоконно-оптической линии задержки .....	66
5.4. Выбор второго вращателя плоскости поляризации на $\pi/2$ .....	67
5.5. Выбор второго волоконно-оптического фазового модулятора	68
5.6. Выбор третьего контроллера поляризации .....	68
5.7. Выбор направленного волоконного ответвителя Х-типа .....	70
6. ВРЕМЕННОЕ МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЕ КВАНТОВЫХ ИМ- ПУЛЬСОВ .....	74
7. РЕГИСТРАТОР КВАНТОВЫХ ИМПУЛЬСОВ И ЭЛЕКТРОН- НЫЙ БЛОК СТРОБИРОВАНИЯ .....	77
7.1. Требования к однофотонному приёмному оптическому мо- дулю .....	77
7.2. Уточнение требований к временным параметрам функцио- нальные модули системы КРК .....	80
7.3. Формулирование требований к электронному блоку строби- рования .....	81
8. РАСЧЁТ ВЕРОЯТНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕГИСТРА- ЦИИ КВАНТОВЫХ СОСТОЯНИЙ ФОТОНОВ .....	83
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	87
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	88
ПРИЛОЖЕНИЕ. Статистические свойства длины волны лазера ID300 DFB фирмы ID QUANTIQUE .....	93
ТЕРМИНОЛОГИЧЕСКИЙ СЛОВАРЬ .....	100
ГЛОССАРИЙ .....	102