**НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ**

**ИНСТИТУТ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ И**

**МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ И КРСУ им. Б. ЕЛЬЦИНА**

**Диссертационный совет** Д. 01.14.002

На правах рукописи

**УДК.:** 004.383.4:004.021:

681.7.068

**Зимин Игорь Викторович**

**РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ КАНАЛЬНОГО РЕСУРСА НА БАЗЕ АЛГОРИТМОВ ОЦЕНКИ СЕРВИСОВ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ В МУЛЬТИСЕРВИСНЫХ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ СЕТЯХ**

Специальность: 01.04.05 - Оптика

Автореферат

Диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Бишкек - 2014

**Работа выполнена в Институте физико-технических проблем и материаловедения Национальной академии наук**

**Кыргызской Республики**

|  |  |
| --- | --- |
| **Научный руководитель:** | доктор технических наук  **Алымкулов Самсалы Аманович** |
| **Официальные оппоненты:** | доктор физико-математических наук, профессор **Азаматов Закир Тахирович** |
|  | доктор физико-математических наук,  **Джунушалиев Владимир Джумакадырович** |
| **Ведущая организация:** | Ошский государственный университет, кафедра «Экспериментальная и теоретическая физика»,  Кыргызская Республика, г. Ош, ул. Ленина, 331 |

Защита состоится 21 ноября 2014 года в 14:00 часов на заседании диссертационного совета Д. 01.14.002 при Институте физико-технических проблем и материаловедения Национальной академии наук Кыргызской Республики и КРСУ им. Б. Ельцина по адресу: 720071, г. Бишкек, проспект Чуй, 265, тел.: 39-20-35.

С диссертацией можно ознакомиться в Центральной научной библиотеке Национальной Академии Наук Кыргызской Республики.

Автореферат разослан «\_\_\_\_» октября 2014 г.»

Ученый секретарь

диссертационного совета,

доктор физико-математических наук Фоломеев В.Н.

**ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА**

**Актуальность темы диссертации.**

Развитие телекоммуникаций достигло того рубежа, за которым неизбежно должны последовать качественные изменения в подходах к построению оптических телекоммуникационных сетей. Современное общество производит и потребляет разные виды информации, для доставки которой используются волоконно-оптические телекоммуникационные сети. В связи с этим особую актуальность приобретает проведение фундаментальных и прикладных научно-исследовательских работ в области создания современных волоконно-оптических телекоммуникационных сетей, обслуживающих разнородный трафик. Актуальность проблемы определения, оценки и последующего исполь­зования характеристик качества обслуживания пользователей возрастает с насыщением сетей связи новыми мультимедийными услугами. Для их реализации необходимо учитывать зависимость объёма выделяемого ресурса от типа сервиса. Особое внимание уделено исследованию зависимостей пропускной способности исследуемого канального ресурса от величины дисперсии оптических волокон.

Необходимы новые методики исследования, которые бы объединяли в себе вопросы проведения практических измерений потерь, дисперсии, апертуры, пропускной способности ОК.

Необходимая глубина и достоверность выводов достигается за счет применения методов, моделей канального ресурса и приемов научного исследования.

Одним из основных требований к телекоммуникационной инфраструктуре является ее надежность функционирования.

**Связь темы диссертации с научными программами и проектами.** Исследования по теме диссертации проведены в рамках «Проекта стратегии правительства Кыргызской Республики по внедрению электронного управления на период 2014-2017г.г. и плана действий по ее реализации». Диссертационная работа базируется на результатах научных ис­следований, которые велись в разное время в ОАО «Кыргызтелеком».

**Цели и задачи исследования:**

Целью работы является разработка моделей и методов для измерения коэффициента затухания волоконного световода, моделирования процессов в реальной оптической линии, дисперсионных искажений, распространения различных мод в световоде. Следующим шагом является разработка модели канального ресурса на базе алгоритмов оценки сервисов реального времени в мультисервисных волоконно-оптических сетях.

Для достижения указанных целей необходимо **решить следующие задачи:**

1. Изучить обозначения связанные с проблемами канального ресурса в волоконно-оптических мультисервисных сетях связи и новых свойств потоков трафика;
2. Исследовать модовый состав волокна в окнах прозрачности L и C для определения причин появления модовых шумов в оптической линии;
3. Разработать аппаратно-программные средства и на их основе соответствующие имитационные модели и алгоритмы, необходимые при планировании инфраструктуры волоконно-оптических мультисервисных сетей. Провести экспериментальную проверку достоверности полученных результатов. Описать исследуемые оптические сети и ее фрагменты, которые далее будут использоваться для разработки методик оценки показателей пропускной способности оптической сети;
4. Исследовать измерение потерь, вносимых изогнутым участком волоконного световода на двух длинах волн, оценить допустимые радиусы изгиба световодов для определения коэффициента затухания. Получить результаты для моделей, которые можно использовать для решения задач планирования волоконно-оптической мультисервисной сети;

**Научная новизна полученных результатов,** представленная в диссертационной работе, заключалась в экспериментальном исследовании характеристик волоконных световодов в описании моделей и изложении алгоритмов, пригодных для разработки аппаратно-программных средств оптической сетевой инфраструктуры мультисер­висных сетей связи;

1. Впервые экспериментально исследованы причины появления модовых шумов в волоконно-оптической линии связи, позволяющие уменьшить дисперсию;
2. Для оценки пропускной способности предлагаются точные и приближенные алгоритмы оценки пропускной способности для планирования оптической сетевой инфраструктуры волоконно-оптических мультисервисных сетей;
3. Впервые экспериментально исследованы потери на участке волоконного световода на двух длинах волн для оценки допустимых радиусов изгиба световодов и их модовый состав;
4. Предлагаются решения для распределения канального ресурса, программные продукты и соответствующие методики, которые значительно уменьшат время на выполнение процедур планирования волоконно-оптической мультисервисной сети;

**Практическая значимость** **полученных результатов** заключается в следующем:

1. Разработанная методика представляет практическую ценность для выбора критериев необходимого динамического диапазона в зависимости от требуемого разрешения, величины потерь на событие и общего затухания волоконно-оптической линии;
2. Содержащиеся методы и рекомендации по совершенствованию управления развитием волоконно-оптической телекоммуникационной инфраструктуры позволят учитывать важность теоретических исследований для решения задач планирования и оптимизации, действующих волоконно-оптических сетей связи. ОАО «Кыргызтелеком» поддерживает проведение соответствующих работ, о чем свидетельствуют Акты о внедрении;
3. Выполненные исследования явля­ются первым шагом на пути создания средств планирования и оптимиза­ции волоконно-оптических сетей телекоммуникаций;

**Экономический эффект** при использовании модели «Оптического линейного тракта» позволит рационально использовать имеющиеся технические ресурсы компании. При проектировании волоконно-оптических линий связи экономия средств потраченных на реализацию проектов составит до 30% от общей стоимости проектного решения.

**Основными положениями, выносимыми на защиту**:

1. Эффективность использования имеющегося канального ресурса по передаче всех типов инфор­мационных потоков по волоконно-оптической сети, позволяющая провести комплексную оценку пропускной способности трафика, через сегменты оптического волокна;
2. Модель оптического линейного тракта для исследования характеристик волоконных световодов. Результаты экспериментальных исследований по качественному анализу модовой структуры характеристик волоконных световодов;
3. Рекурсивный алгоритм, позволяющий решать задачи по определению доли потерянных заявок и для оценки канального ресурса на базе алгоритмов реального времени в мультисервисных волоконно-оптических сетях;
4. Реализацию работы программы и соответствующие методики, которые позволят значительно уменьшить время на выполнение процедур планирования и оптимизацию процесса обслуживания в волоконно-оптических сетях;

**Достоверность и обоснованность результатов** обеспечены в экспериментах с использованием установки «Модель оптического линейного тракта», «Исследование характеристик оптических волоконных световодов» и методиками исследования в ОАО «Кыргызтелеком».

**Личный вклад соискателя** заключается в непосредственном участии в проведении экспериментальных исследованиях измерения потерь, вносимых изогнутым участком волоконного световода, оценки допустимых радиусов изгиба световодов, определения коэффициента затухания и анализе полученных данных.

Все основные научные результаты, представленные в диссертационной работе, получены автором лично.

**Апробация результатов диссертации.**

Результаты диссертационной работы были представлены на юбилейной международной конференции «Телекоммуникационные и информационные технологии. Состояния и перспективы развития» (г. Бишкек, Кыргызстан, сентябрь 11-14, 2008г.), на 2-й международной научно-технической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения выдающегося организатора оборонной промышленности выпускника университета 1934 г. Д. Ф. Устинова (Россия, Санкт-Петербург, сентябрь 16-17, 2008г.), на международной научно-практической конференции ИИМОП КНУ им. Ж. Баласагына «Проблемы науки и образовании в условиях глобализации» (г. Бишкек, Кыргызстан, 2008г.), на 10-й Всероссийской научно-технической конференции «Теоретические и прикладные вопросы современных информационных технологий» (ТИПВСИТ, Россия, Улан-Удэ, июль 20-26, 2009г.), на международной научно-технической конференции «Наука, образование, инновации: приоритетные направления развития» посвященные 55-летнему юбилею Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. Организаторы конференции: КГТУ, МГТУ им. Баумана, МЭИ (ТУ) (г. Бишкек, Кыргызстан, 2009 г.), на Республиканской научно-практической конференции ИИМОП КНУ им. Ж. Баласагына (г. Бишкек, Кыргызстан, 2009г.), на международной конференции «Проблемы управления и информационных технологий» в Национальной Академии наук Кыргызской Республики (Институт автоматики и информационных технологий, г. Бишкек, Кыргызстан, 2010 г.), на международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых специалистов стран СНГ «Техника и технологии связи» (г. Бишкек, Кыргызстан, 29 сентября – 1 октября 2009 г.), на 52-й научно-технической конференции молодых ученых и студентов, посвященной 100-летию выдающегося государственного деятеля Кыргызской Республики Исхака Раззакова (г. Бишкек, Кыргызстан, 2010 г.)

Исследованные модели были апробированы на базе национального оператора ОАО «Кыргызтелеком».

**Полнота отражения результатов диссертации в публикациях.**

Основные научные результаты, полученные в диссертации, опубликованы в 17 печатных работах.

**Структура и объем диссертации.**

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 49 наименований изложенных на 170 страницах.

**ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ**

**Во введении** обоснована актуальность диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследования, представлены основные результаты, их новизна и практическая значимость, сформу лированы основные положения, выносимые на защиту.

**В первой главе «Анализ спектральной зависимости потерь оптических и передаточных характеристик волокна»** большее внимание уделяется вопросам увеличения пропускной способности и надежности волоконно-оптических сетей по передаче разнородного трафика, и вопросам измерения качества систем передачи.

При этом важным является решение следующих задач:

-Изучение пропускной способности и методов увеличения скорости передачи в современных волокнах и кабелях;

-Исследование потерь и дисперсии оптических характеристик волокна;

-Сравнение пропускной способности оптических волокон;

-Выбора необходимого динамического диапазона, величины потерь и общего затухания линии.

Как показывает опыт, наибольший интерес вызывают вопросы, связанные с проведением оптических измерений. Для того чтобы разобраться в измерениях, необходимо понимание специфики распространения света в волокнах. Динамика развития волоконно-оптических сетей и технологий в Кыргызской Республике показана на рис. 1.

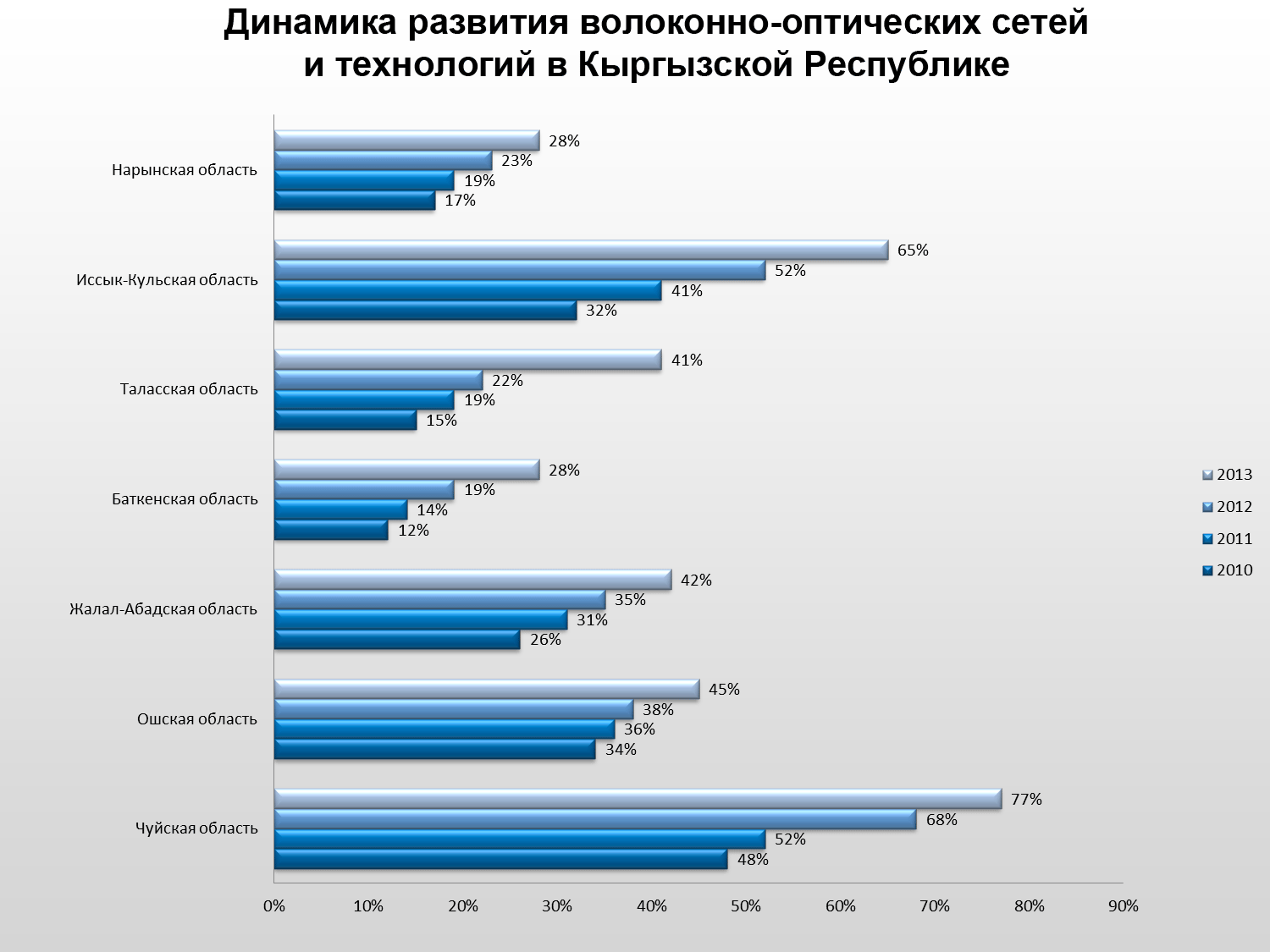
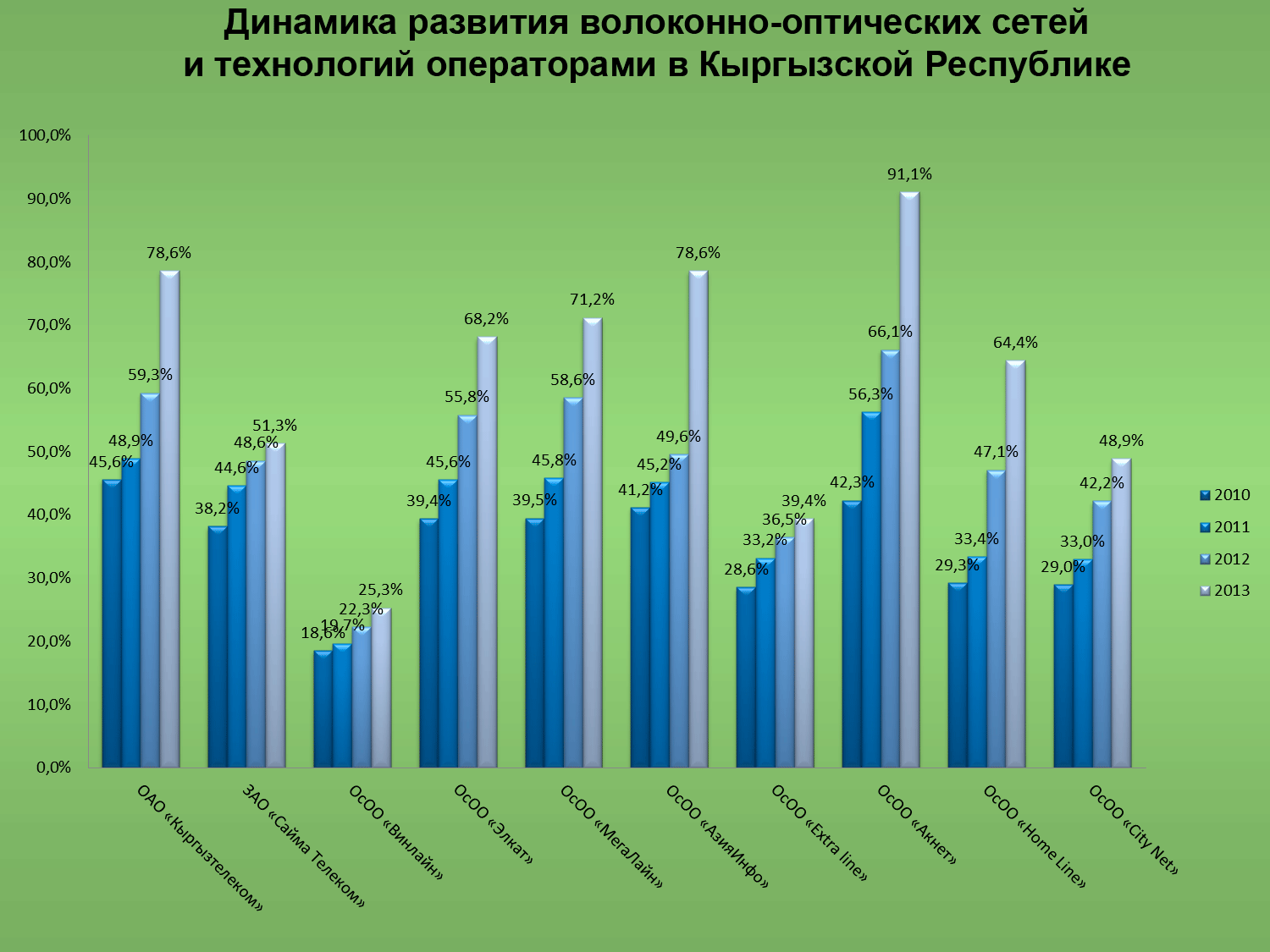
 

Рис. 1. Динамика развития волоконно-оптических сетей в Кыргызской Республике

Обсуждаются особенности планирования перспективных оптических сетей имеющих возможность повышения эффективности использования канального ресурса. Формулируется перечень этапов плани­рования оптической сети и последовательность задач, которые решаются в процессе их реализации.

Основные результаты полученные в первой главе: Обсуждаются особенности планирования оптических сетей имеющих возможность повышения эффективности использования канального ресурса, а также зависимость потерь в оптических волокнах от длины волны света, оптические и передаточные характеристики оптического волокна и их измерение. Формулируется перечень этапов плани­рования оптической сети и последовательность задач, которые решаются в процессе их реализации.

1. Динамика развития волоконно-оптических сетей и технологий операторами в Кыргызской Республике;
2. Особенности планирования перспективных оптических сетей имеющих возможность повышения эффективности использования канального ресурса;
3. Зависимость потерь в оптических волокнах от длины волны света;
4. Оптические и передаточные характеристики оптического волокна и их измерение;
5. Вопросы, связанные с управлением дисперсией, являющей важной частью проектирования линейных трактов;
6. Применение методов, уменьшающих влияние хроматической дисперсии;

**Во второй главе «Планирование пропускной способности волоконно-оптической сети и исследование модели оценки канального ресурса для сервисов реального времени»**

Конечной целью теоретических исследований, направленных на созда­ние методик планирования оптических мультисервисных сетей связи, является опре­деление функциональных зависимостей между объёмами возникающего трафика, показателями качества обслуживания и структурными парамет­рами сети, которые в конечном итоге могут быть использованы для опре­деления стоимости решения. Главной трудностью здесь является оценка показателей QoS. Выбор соответствующих показателей следует связать с тем, как и с каких позиций, они оценивают качество предоставляемых сервисов.

Целью оценки оптических несущих является определение промежуточных частот и расстояния между соседними каналами. Рассмотрено подробно 3-е окно прозрачности (рис. 2. и 3). Для расчета центральных несущих частот исследованы границы 3 - го окна прозрачности, а именно С и L диапазонов: С - (1530 – 1560)нм, L - (1575 - 1615)нм.

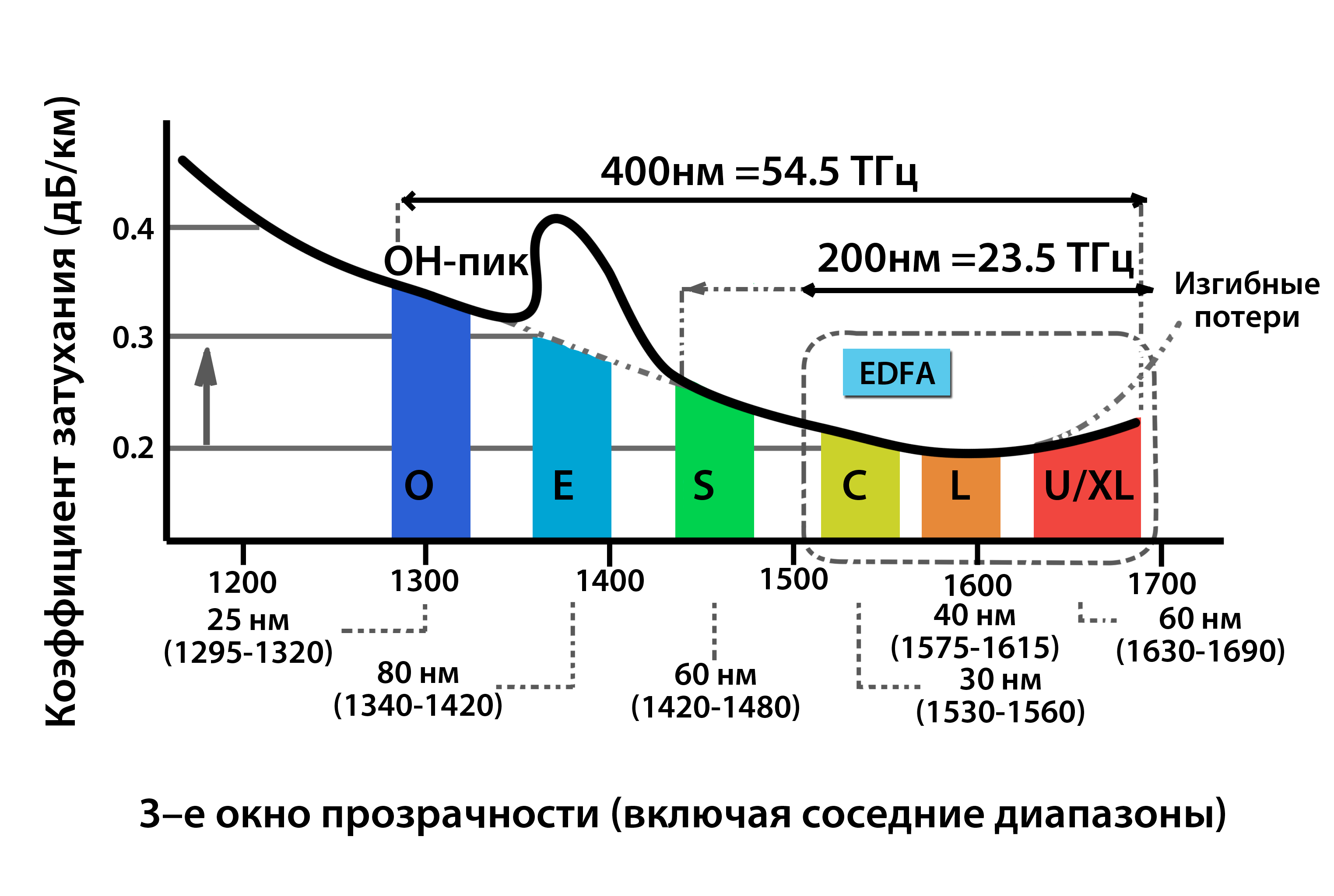
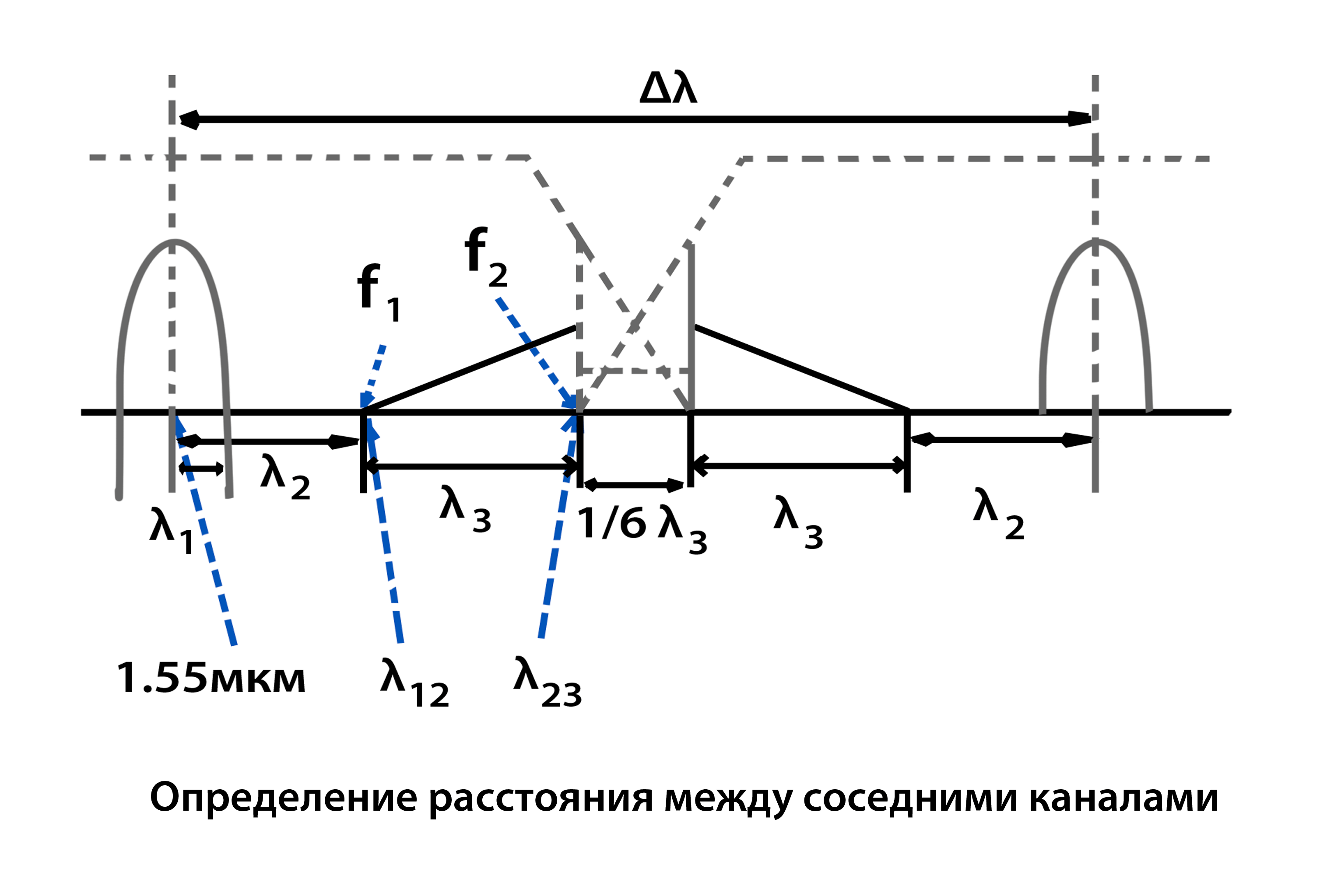
 

Рис. 2. 3-е окно прозрачности Рис. 3. Определение расстояния

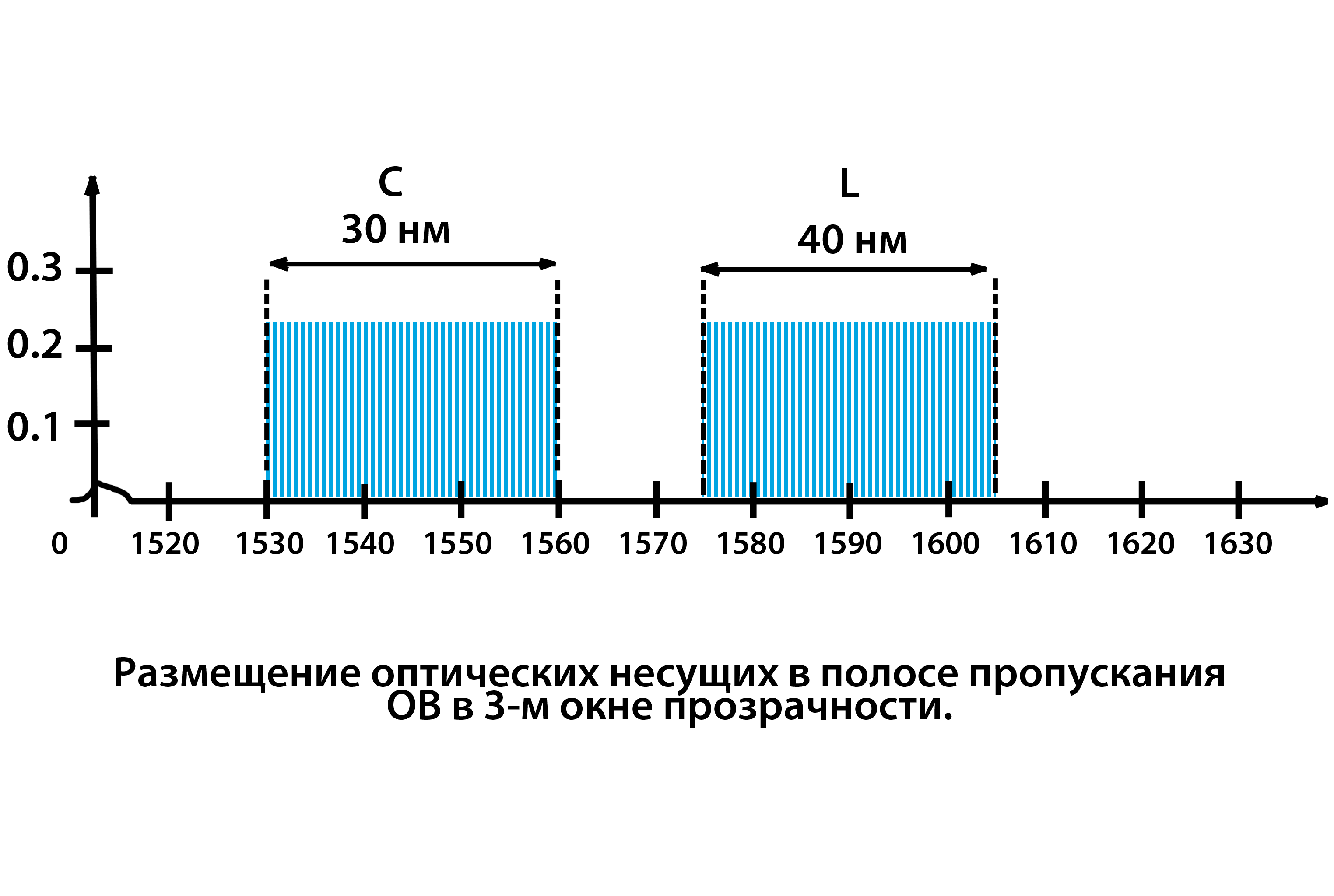
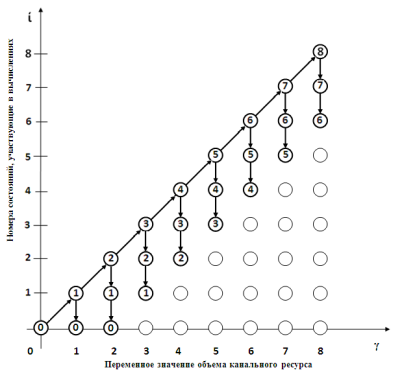
между соседними каналами

Произведены расчеты, определено расстояние между соседними каналами по формуле (1):

∆λ = 2 x (λ3 + λ2) + 1/6 x λ3 = 2 x (0,0001 + 0,000042) +

+ 1/6 x 0,000042 = = 0,000293 мкм ≈ 0,3нм (1)

Для защитного интервала целесообразно отвести еще 0,1 нм. В итоге получаем расстояние между каналами 0,4 нм. Именно такое расстояние между соседними каналами обеспечит нам размещение 160 каналов в третьем окне прозрачности в диапазонах С - (1530 – 1560) нм и L - (1575 - 1615) нм. На рис. 4. представлено размещение 160 каналов.

|  |  |
| --- | --- |
| Рис. 4. Размещение оптических несущих частот в полосе пропускания ОВ в 3-м окне прозрачности | Рис. 5. Порядок вычислений стационарных вероятностей для оптимизированной схемы оценки объема канального ресурса |

Одной из важнейшей характеристикой оптического волокна с точки зрения применения его в линиях связи является дисперсия - рассеяние во времени и в пространстве спектральных или модовых составляющих оптического импульса, что ведет к увеличению его длительно­сти при распространении по длине ОВ. Явление дисперсии приводит к тому, что при прохо­ждении последовательности прямоугольных импульсов (цифрового сигнала) через опреде­ленную длину ОВ импульсы будут уширяться и, в итоге, станет невозможным разделение двух соседних импульсов, т.е. возникнут ошибки передачи. Таким образом, дисперсия явля­ется основным фактором, ограничивающим пропускную способность, или ширину полосы пропусканияОВ.

Исследованы две основные модели оценки канального ресурса для передачи трафика сервисов реального времени. Первая из них носит название базовой и является мультисервисным аналогом классиче­ской модели Эрланга. Для этой схемы удалось получить все основные результаты, которые ра­нее были доказаны для модели Эрланга, включая эффективный алгоритм оценки необходимого объёма канального ресурса. Вторая модель является обобщением базовой в плане формирования входного потока. Здесь интен­сивность поступления заявок зависит от числа заявок данного потока, уже находящихся на обслуживании. К этому классу относятся оптические мультисервисные системы с конечным числом источников трафика. Для данной моде­ли построены эффективные алгоритмы вычислений основных показателей качества совместного обслуживания заявок.

Для моделей оптических мультисервисных систем связи схема занятия канального ресурса зависит от типа поступившей заявки.

**Математическое описание модели.** Основной областью использования исследуемой модели является опре­деление необходимого объёма канального ресурса для передачи трафика сервисов реального времени. Для вычисления этого показателя достаточно знать долю времени пребывания волоконно-оптической мультисервисной линии в состоянии с известным числом заявок каждого вида, находящих­ся на обслуживании. Выбор показателей обслуживания заявок задаёт вид пространства состояний исследуемой модели и структуру случайного про­цесса, описывающего динамику их изменения. Динамика изменения общего числа обслуживаемых заявок описывается многомерным случайным процессом, определённым на конечном пространстве состояний *S.*

Оно состоит из век­торов (*i1,i2,………,in*), удовлетворяющих неравенству:

Рассмотренный рекурсивный алгоритм оценки основан на использовании значений вероятностей пребывания во множестве состояний куда входят состояния удовлетворяющие условию:

Значение меняется от 0 до и показывает, сколько единиц ресурса мультисервисной волоконно-оптической линии используется всеми поступающими потоками заявок. Пространство состояний можно представить как объедине­ние всех взаимно непересекающихся подмножеств . Таким образом, получаем:

Введённые показатели качества обслуживания заявок потока могут быть найдены, если известны только значения Согласно (3):

Из равенств (4) следует, что для вычисления доста­точно знать величину вероятностей v.

Показано, что нормированные величины искомых вероятностей связаны рекуррентными соотно­шениями следующего вида:

где

*I*(•) — индикаторная функция, определяемая равенством (4). Отме­тим, что выражение (4) выполняются и для ненормированных значений

Используя соотношение (4), выразим значения ненорми­рованных вероятностей через ненормированное значение вероятностей какого-либо одного состояния, например, через После норми­ровки находятся вероятности, а с ними и величины характеристик ,.

Перечислим шаги соответствующего рекурсивного алгоритма.

1. Значение .
2. Значения вероятностей и выразим их через ис­пользуя соотношение

и последовательно увеличивая величину *i*, от 1 до .

При каждом фиксированномзначения выражений  
, , участвующих в записи правой ча­сти суммы (6), либо уже представлены через (для ), либо равны 0 (для .

1. Нормированная величина константы
2. Нормированные значения вероятностей *р(i):*
3. Величина введённых показателей качества совместного обслуживания заявок для каждого из анализируемых потоков определяется:

Основная область использования мультисервисных моделей заключалась в оценке минимальной величины канального ресурса, достаточного для обслуживания известных потоков заявок с заданным качеством. Если данная задача решается на стадии проектирования волоконно-оптической сети, то параметры потоков опреде­ляются из маркетинговых исследований. Достаточность ресурса оценивается сравнением значения выбранного функционала, зависящего от характеристик качества обслуживания заявок, с его нормированной величиной, которая задаётся соответствующими регламентирующими документами.

Реализация на примере исследуемой модели мультисервисной оптической линии со­стоит в выполнении следующих шагов:

1. Необходимые исходные данные, к ним относятся:

* значения входных параметров модели фиксированные на время решения задачи;
* функционал, зависящий от рассчитываемых характеристик ка­чества обслуживания заявок и других параметров, например, стоимостных;
* нормированное значение функционала, задаваемое соответству­ющими регламентирующими документами, используемое для оценки достаточности канального ресурса;
* начальное значение канального ресурса обычно в качестве такового берётся целая часть величины предложенного трафи­ка, выраженного в канальных единицах; в рассматриваемом случае получаем такое выражение:

1. Производится расчёт значения функционала с использованием ре­курсии (6).
2. Значение функционала сравнивается с нормированной величиной. Если величина канального ресурса недостаточна, то его объём увеличивается. В противном случае задача оценки канального ресурса считается не решённой.

В данной ситуации и во всех последующих решениях аналогичной задачи предполагается, что значение функционала, отражающего качество обслуживания заявок, убывает с увеличением числа канальных единиц при фиксированных остальных значениях входных параметров.

Рассмотренный алгоритм позволяет вести рекурсию по объёму каналь­ного ресурса. Приведём изложение алгоритма. Пусть — переменное значение объёма канального ресурса мультисервисной волоконно-оптической линии, — величи­на минимально необходимого объёма ресурса для обслуживания заданных потоков заявок в соответствии со значениями QoS. Последовательность определения выглядит следу­ющим образом:

1. Предположим .
2. Для каждого фиксированного значения находим нормированных значений вероятностей
3. Рассчитываем функционал и проверим до­статочность объёма канального ресурса в соответствии со сформули­рованным критерием.

На рис. 5. показаны номера используемых состояний и порядок вычис­лений вероятностей при реализации построенной оптимизированной схемы оценки необходимого объёма канального ресурса. Величина . На каждом шаге алгоритма независимо от текущего значения объёма канального ресурса вычисляется не более значений нормиро­ванных стационарных вероятностей.

Введение в выражение (7) ,то получаем:

Анализируются две схемы: традиционная и оп­тимизированная. В первом случае определяются вероятности всех состоя­ний модели, которые возникают при изменении величины канального ре­сурса от единицы до . Расчёты проводятся с использованием рекурсии (6).

Во втором случае находятся только те значения вероятностей, ко­торые необходимы для ведения рекурсии и оценки показателей качества обслуживания заявок. При выполнении вычислений используются соот­ношения (7). Значения входных параметров модели: n.

Величина интенсивности общего предложенного трафика , выраженная в канальных единицах, меняется от 100 ЭрлК до 5000 ЭрлК и разделяется на отдельные потоки заявок с интенсивностями, определяемыми из соотношений,

Из анализа данных видно, что выигрыш в числе опе­раций, который обеспечивается использованием оптимизированной схемы, весьма ощутим особенно для больших значений канального ресурса, где он достигает величины нескольких порядков по сравнению с традиционной схемой.

Построенная расчётная схема, стабильна. При проведении вычислений не возникает проблем с переполнением или исчезновением порядка, поскольку расчёты выпол­няются только с нормированными значениями вероятностей глобальных состояний модели, потенциально обладающих наибольшей вероятностной массой.

Другим положительным качеством рассмотренного подхода яв­ляется его общий характер.

Следует отметить, что отрицательные последствия данного яв­ления уменьшаются с увеличением скорости передачи линии.

Основные результаты, полученные во второй главе:

1. Влияние дисперсии, которая явля­ется основным фактором, ограничивающим пропускную способность, или ширину полосы пропусканияОВ. Изменяя структуру профиля показателя преломления ОВ, т.е. меняя величину волноводной дисперсии, можно изменять соотношение между материальной и волноводной дисперсиями и, таким образом, величину суммарной хроматической дисперсии. Этот принцип лежит в основе технологии получения ОВ со смещенной (Рек. МСЭ-Т G.653) и ненулевой смещенной (Рек. МСЭ-Т G.655) дисперсиями.
2. Пропускная способности сети, которая требует учёта многих фак­торов и проводится с использованием математических моделей и разработанных на их основе алгоритмов оценки показателей качества функци­онирования оптических мультисервисных сетей связи. Оценена плотность распреде­ления потенциальных информационных потоков от оконечного оборудования сети. Определены точки концентрации трафика и характер информационных потоков между ними.
3. Помимо оценки необходимого объёма сетевой инфраструктуры, можно также ис­пользовать и для обоснования действий операторов связи по управлению сетью. Решение сформулированной задачи имеет большое научно-практическое значение для развития бизнеса телекоммуникационных компаний.
4. Причины появления модовых шумов в волоконно-оптической линии.
5. Решения для распределения канального ресурса в волоконно-оптических мультисервисных сетях связи и новых свойств потоков трафика.
6. Алгоритмы для решения задачи определения доли потерянных заявок, а также среднего значения канального ресурса линии, занятого на их обслуживание, что является эффективным средством оценки показателей качества обслуживания.

**В третьей главе «Модель с обобщенной схемой формирования потока в волоконно-оптических сетях» р**ассмотрены дополнительные модели оценки ка­нального ресурса для сервисов реального времени. Каждая из них следу­ет из базовой модели и уточняет её соответствие реалиям функциониро­вания оптических мультисервисных сетей. Для всех построенных моделей получены эффективные точные или приближенные алгоритмы оценки показателей сетей и пропускной способности. В первых двух моделях исследованы механизмы обеспечения преимущества в занятии канального ресурса для отдельных потоков заявок. Применение соответствующих схем направлено на выравнивание качества обслуживания мультисервисного трафика и на улучшение показателей обслуживания одних потоков заявок по сравнению с другими. Из рассмотренных моделей учитывается возможность повторения заявки, получившей отказ в обслуживании из-за недостаточ­ности канального ресурса или недоступности вызываемого устройства.

Для расчёта показателей обслуживания заявок в соответствии с вве­дёнными определениями составлена и решена система уравне­ний статистического равновесия, связывающую ненормированные значе­ния вероятностей . Выполнив необходимые преоб­разования, получаем конечную систему линейных уравнений

Полученные в результате решения системы уравнений равновесия ненормированные значения вероятностей нормируются, используя равенство:

Построенная система уравнений в основном имеет теоретическую цен­ность, так как она не используется для расчёта стационарных ве­роятностей модели.

Их величины находятся с помощью алгоритма, который обобщает соответствующую рекурсию, полученную в главе 2 диссертационной работы для ба­зовой модели волоконно-оптической мультисервисной линии.

В работе приводятся примерызависимости введённых показа­телей качества совместного обслуживания заявок от изменения основных входных параметров построенной модели. Со­ответствующие численные данные приведены на рис. 6. для модели со значением параметров:

На рисунке показана зависимость от изменения значения в интервале от 0,3 до 5 при фиксированном значении интенсивности предло­женного трафика , Для других потоков коэффициен­ты скученности принимали следующие значения:

Из представленных данных видно, что изменение коэффициента ску­ченности трафика наиболее сильно влияет на величину доли потерянного трафика (практически линейный рост с увеличением и почти не ска­зывается на значениях потерь по времени и вызовам.

Отсюда следует, что значения и определяются главным образом средней величи­ной предложенного трафика, а не его разбросом относительно среднего значения.

Выбор величины коэффициента скученности при одинаковой интенсив­ности предложенного трафика определяет условия доступа к канальному ресурсу.

При интенсивность поступления заявок убывает с ростом числа заявок k потока, находящихся на обслуживании.

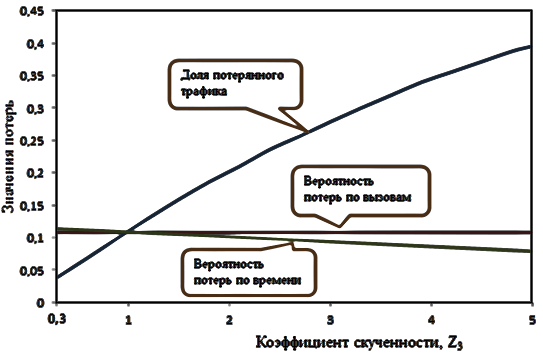
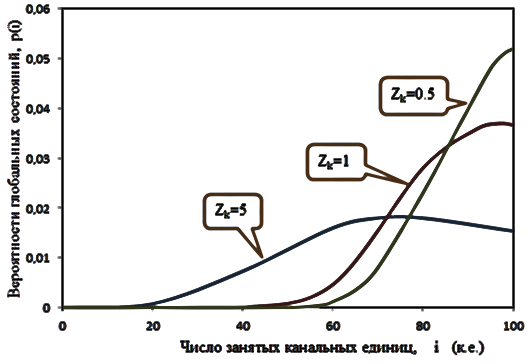
При ин­тенсивность поступления заявок не зависит от числа заявок потока, находящихся на обслуживании. И при интенсивность поступления заявок увеличивается с ростом числа заявок потока, находящихся на обслуживании.

Рассмотрены также на примере поведения стационарных вероятностей глобальных состоя­ний с изменением коэффициента скученности поступающего трафика.

Соответствующие численные данные приведены на рис. 7. для модели со значением параметров:

На рисунке показаны результаты расчётов , для трёх значений коэффициента , и фиксированной величине интенсивности предложенного трафика.

Подобные исследования работы проводились в [4, 10, 33]

** **

|  |  |
| --- | --- |
| Рис. 6. Зависимость разных характеристик потерь при обслуживании заявок 3-го потока от изменения значения коэффициента скученности 3-го потока | Рис. 7. Зависимость стационарных вероятностей глобальных состояний p(i) от изменения коэффициента скученности |

Основные результаты, полученные в третьей главе:

1. Получен эффективный рекурсивный алгоритм оценки основных показателей обслуживания заявок, оптимальная процедура определения минимально необходимого объёма канального ресурса.
2. Приведены расчёты показателей обслуживания заявок в соответствии с вве­дёнными определениями для системы уравне­ний статистического равновесия. Построенная система уравнений имеет теоретическую цен­ность. Она не используется для расчёта стационарных ве­роятностей модели, а показатели обслу­живания заявок находятся с помощью алгоритма, который обобщает соответствующую рекурсию.
3. Приводится расчет показателей качества совместного обслуживания заявок с помощью рекурсивного алгоритма. При его использовании необходимо выполнить операций, что совпадает с оценкой числа операций для базовой модели. При этом время счёта растёт линейно с увеличением числа канальных единиц.
4. Предлагается метод оценки показателей качества обслуживания заявок. Полученные соотно­шения дают возможность найти по одному из известных показателей , и оставшиеся два. Решена задача определения вероятностей потерь по времени, вызо­вам, а также доли потерянного трафика и среднего значения канального ресурса волоконно-оптической линии.

**Четвертая глава «Экспериментальная часть. Модель оптического линейного тракта для исследования характеристик волоконных световодов».**

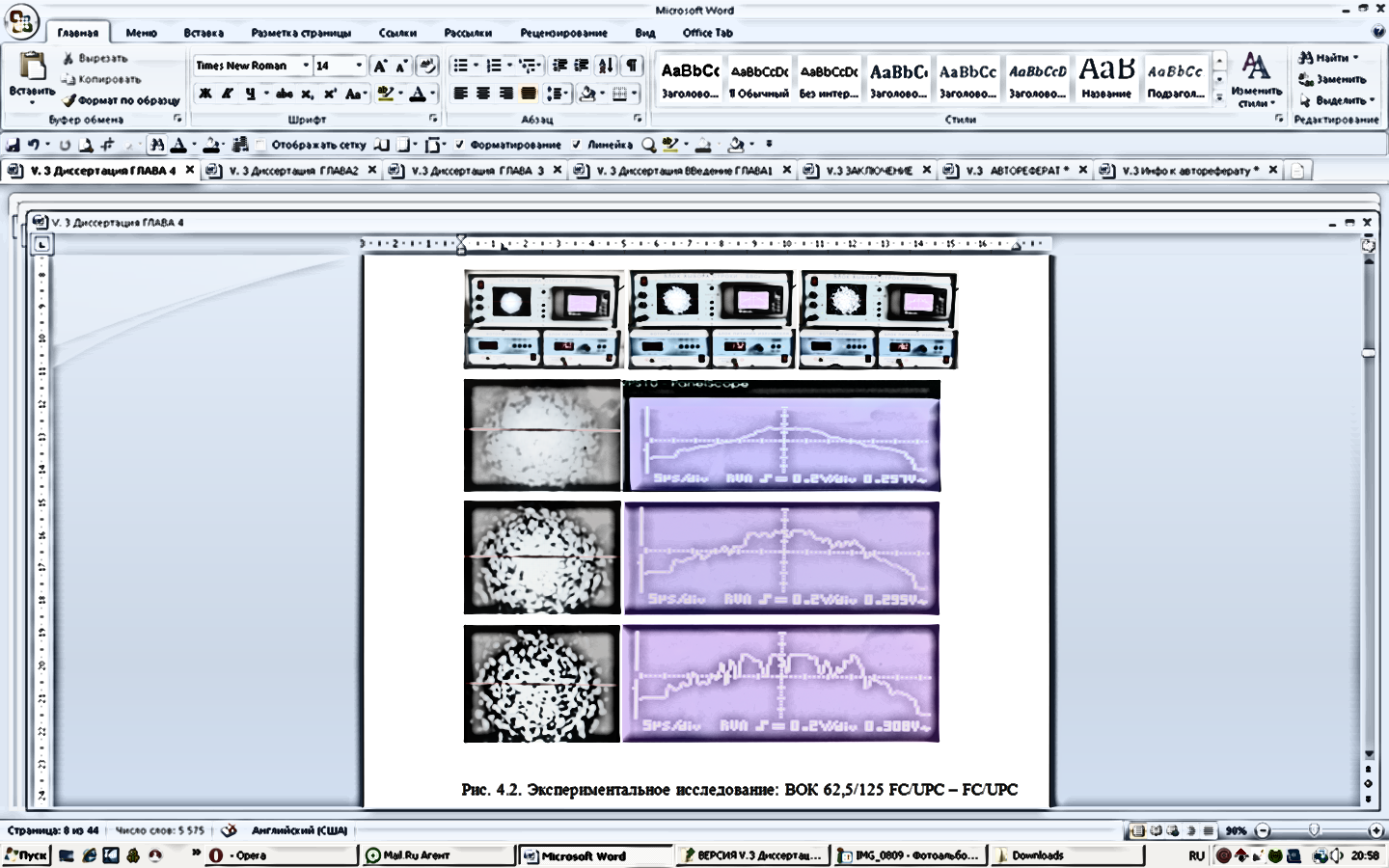
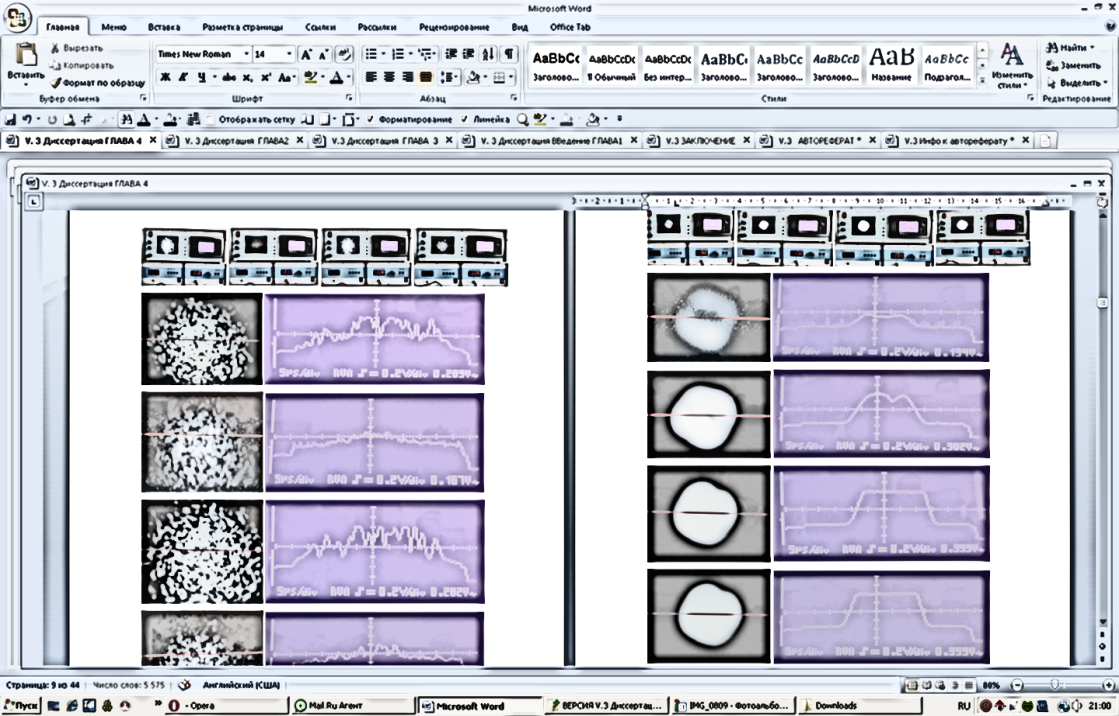
На базе данной установки экспериментально выполнены работы по исследованию характеристик лазерного диода, фотодиода, измерению коэффициента затухания волоконного световода, моделированию формы сигнала на приемном конце реальной оптической линии связи.

Выполнение перечисленных выше работ позволило провести ряд экспериментов, таких как, моделирование процессов в реальной оптической линии путем введения затухания, дисперсионных искажений и регулируемого уровня шума в оптическом сигнал.

Путем экспериментов определена причина появления модовых шумов в волоконно - оптической линии связи и исследован модовый состав волоконных световодов по распределению интенсивности в их поперечном сечении.

При токе накачки Iн, на экране монитора наблюдается светящееся пятно с равномерной засветкой. Дальнейшее увеличение тока накачки приводит к тому, что проявляется модовая структура исследуемого световода. Размеры поперечного сечения и значения коэффициентов преломления анализируемого световода обеспечивают одномодовый режим на длине волны λ=1,3 мкм. В данном эксперименте используется источник с λ=0,67мкм.

Изменяя угловое положение источника оптического излучения, проанализировано распределение интенсивности в поперечном сечении одномодового световода по картине, наблюдаемой на экране монитора Экспериментальное исследование: ВОК 62,5/125 FC/UPC – FC/UPC 0,8 mm, Buffer -3,0; Прямые потери: Порт А 0,1 dB, Порт В 0,11 dB показано на рис. 8 а, экспериментальное исследование: ВОК 9/126 FC/UPC – FC/UPC 0,9 mm, Buffer -3,0; Прямые потери: Порт А 0,1 dB, Порт В 0,11 dB рис. 8 б.

** **

**а) б)**

Рис. 8. **а)** Экспериментальное исследование: ВОК 62,5/125 FC/UPC – FC/UPC 0,8 mm, Buffer -3,0; Прямые потери: Порт А 0,1 dB, Порт В 0,11 dB

**б)** Экспериментальное исследование: ВОК 9/126 FC/UPC – FC/UPC 0,9 mm, Buffer -3,0; Прямые потери: Порт А 0,1 dB, Порт В 0,11 dB

Представлены две программы, позволяющие моделировать процесс прохождения потока заявок с возможностью ветвления, объединения потоков и отбраковки заявок. Программы позволяют на основании результатов моделирования рассчитывать основные характеристики управления трафиком в мультисервисных волоконно-оптических сетях, а также рассчитывать некоторые средние показатели. Для создания программы выбрана среда программирования Delphi.

Расчётные данные показывают возможности вычислительных алгоритмов, а также ил­люстрируют предсказуемые, а иногда и неожиданные эффекты, характер­ные для совместного обслуживания мультисервисного трафика.

Основные результаты, полученные в четвертой главе:

1. Выполнены работы по исследованию характеристик лазерного диода, фотодиода, измерению коэффициента затухания волоконного световода, моделированию формы сигнала на приемном конце реальной оптической линии связи.
2. Определены причины появления модовых шумов в волоконно - оптической линии связи и исследован модовый состав волоконных световодов по распределению интенсивности в их поперечном сечении. Определены зависимости удельного коэффициента затухания от радиуса изгиба световода для: одномодового световода 9/125 мкм и многомодового световода 62,5/125 мкм.
3. Предложены модели для систем управления трафиком канальным ресурсом. Количество поступивших и обслуженных заявок увеличивается пропорционально увеличению времени работы системы. Причем, чем больше значение интенсивности поступления и обслуживания, тем больше увеличивается количество поступающих заявок. Особенностью модели является то, что она в своем отчете может вывести хронологию событий, происходящих в моделируемой системе событий. Это позволяет наглядно представить динамику процессов, протекающих в системе.
4. Предложены программные продукты и соответствующие методики, которые значительно уменьшают время на выполнение процедур планирования волоконно-оптической мультисервисной сети, и позволят менеджменту компании проводить многовариантный анализ сценариев ее развития.

**В приложении** представлены акты апробации, и внедрения исследуемых моделей оценки канального ресурса на базе рекурсивного алгоритма для сервисов реального времени и практического внедрения данной системы. Экономический эффект при использовании модели «Оптического линейного тракта» позволит рационально использовать имеющиеся технические ресурсы компании. При проектировании волоконно-оптических линий связи при использовании данных внедрения, экономия средств потраченных на реализацию проектов может составить до 30% от общей стоимости проектного решения.

**ВЫВОДЫ**

В результате проведенных научных исследований были получены следующие основные результаты:

1. Выявлены проблемы канального ресурса в волоконно-оптических мультисервисных сетях связи и новые свойства потоков трафика;
2. Предложены модели и алгоритмы, для планирования, модернизации и проектирования ВОЛС нового поколения мультисервисных сетей. Разработана модель оптического линейного тракта. Получены основные результаты для моделей, которые можно использовать для решения задач планирования волоконно-оптической мультисервисной сети;
3. Предложены модели для измерения: потерь, вносимых изогнутым участком волоконного световода на двух длинах волн; оценки допустимого радиуса изгиба световодов. Предложен новый метод исследования модового состава волоконных световодов по определению зависимости удельного коэффициента затухания от радиуса изгиба световода для: одномодового световода 9/125 мкм и многомодового световода 62,5/125 мкм.
4. Предложена возможность использования имитационной системы моделирования, позволяющая задавать параметры системе и получать результаты в виде отчета. Выявлены основные факторы по выбору расчётных моделей для оценки показателей качества обслуживания заявок;
5. Разработаны новые алгоритмы программы, которые позволяют на основании результатов моделирования рассчитывать основные характеристики управления трафиком в мультисервисных волоконно-оптических сетях. Предложен рекурсивный алгоритм для решения задач определения канального ресурса в мультисервисных волоконно-оптических сетях;

**СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:**

1. **Зимин, И.В.** Эффективное использование канального ресурса в моделях QoS для мультисервисных сетей [Текст] / И.В. Зимин // Теоретический и прикладной научно-технический журнал Известия КГТУ. - Бишкек, 2013. - №29. - 177-186 с.
2. **Зимин, И.В.** Исследование модели на основе рекурсивного алгоритма для определения объема канального ресурса трафика в сервисах реального времени [Текст] / И.В. Зимин // Теоретический и прикладной научно-технический журнал Известия КГТУ. - Бишкек, 2013. - №29. - 186-193 с.
3. **Зимин, И.В.**Модели на основе рекурсивного алгоритма для определения объема канального ресурса трафика [Текст] / И.В. Зимин, С.А. Алымкулов // Научный журнал Физика. - Бишкек, 2013. - №1. - 125-133 с.
4. **Зимин, И.В.**Повышение эффективности использования канального ресурса мультисервисной волоконно-оптической линии связи [Текст] / И.В. Зимин, С.А. Алымкулов // Научный журнал Физика. - Бишкек, 2013. - №2. - 157-163 с.
5. **Зимин, И.В.**Исследование зависимости показателя качества обслуживания заявок QoS от загрузки линии, основанной на модели оценки канального ресурса для сервисов реального времени [Текст] / И.В. Зимин, С.А. Алымкулов // Республиканский научно-теоретический журнал «Наука и новые технологии». - Бишкек, 2012. - №8. - 39-47 с.
6. **Зимин, И.В.** Планирование пропускной способности трафика сети с точки зрения показателей QoS [Текст] / И.В. Зимин // Теоретический и прикладной научно-технический журнал Известия КГТУ. - Бишкек, 2012. - №26. - 128-138 с.
7. **Зимин, И.В.** Исследование модели оценки канального ресурса для сервисов реального времени [Текст] / И.В. Зимин, С.А. Алымкулов // Республиканский научно-теоретический журнал «Наука и новые технологии». - Бишкек, 2011. - №9. - 21-26 с.
8. **Зимин, И.В.** УЧЕБНИК: Управление трафиком в сетях и системах телекоммуникаций. Рекомендован МОиН КР [Текст] / Зимин И.В., - Бишкек, 2010. - 1-269 с.
9. **Зимин, И.В.** Методы теории массового обслуживания в задачах моделирования перспективных телекоммуникационных систем [Текст] / И.В. Зимин // Теоретические и прикладные вопросы современных информационных технологий: Сборник статей. - РФ, Улан-Удэ, 2009. –Ч.1. - 66-70 с.
10. **Зимин, И.В.**Анализ систем массового обслуживания в задачах моделирования телекоммуникационных систем и сетей [Текст] / И.В. Зимин // Проблемы автоматики и управления: Научно-технический журнал. - Бишкек, 2009. - 110-119 с.
11. **Зимин, И.В.** Системный подход и создание программного комплекса для проектирования базовых технологий с использованием имитационных моделей [Текст] / И.В. Зимин // Сборник трудов. - РФ, Санкт-Петербург, 2008. - 106-112 с.
12. **Зимин, И.В.** Реализация метода расчета регенерационного участка для цифровых систем связи на базе высокоскоростных технологий [Текст] / И.В. Зимин // Проблемы автоматики и управления: Научно-технический журнал. - Бишкек, 2008г. - 142-152 с.
13. **Зимин, И.В.** Реализация метода расчета предельно допустимой длины регенерационного участка в среде DELPHI6 цифровых систем, использующих технологии ADSL, HDSL и SDSL [Текст] / И.В. Зимин // Сборник научных трудов: Технические науки. - РФ, Улан-Удэ, 2008. –В.12. - 98-112 с.
14. **Зимин, И.В.** Реализация метода расчета регенерационного участка для цифровых систем в среде DELPHI 6 на базе высокоскоростных технологий [Текст] / И.В. Зимин // Проблемы автоматики и управления: Научно-технический журнал. - Бишкек, 2007. - 124-134 с.
15. **Зимин, И.В.** Варианты применения оптических циркуляторов в оборудовании волоконно-оптических линии связи [Текст] / И.В. Зимин, Е.В. Баянкина, Н.Н. Савченко // Проблемы автоматики и управления: Научно-технический журнал. - Бишкек, 2006. - 168-173 с.
16. **Зимин, И.В.** Разработка методов имитационного моделирования конфигурации и пропускной способности компьютерных сетей для их практической реализации [Текст] / И.В. Зимин // Проблемы автоматики и управления: Научно-технический журнал. - Бишкек, 2006. - 93-102 с.
17. **Зимин, И.В.** Анализ сетевой технологии Gigabit Ethernet- маршрутизация и коммутация в глобальных, корпоративных и вычислительных сетях [Текст] / И.В. Зимин // Научно-информационный журнал Вестник МУК. - Бишкек, 2001. - 59-62 с.

**РЕЗЮМЕСИ**

**Зимин Игорь Викторовичтин**

**«Мультисервистик волокондук-оптикалык тармактардагы сервистерди реалдык убакытта баалоо алгоритминин негизинде каналдык ресурстун моделин иштеп чыгуу» темасындагы 01.04.05 – Оптика кесиби боюнча “техника илимдеринин кандидаты” илимий даражасына изденүү диссертациясына**

**Негизги сөздөр**: мультисервистик волокондук-оптикалык тармак, бир модалык волокно, дисперсия, жоготуунун спектри, ачыктык терезе, рекурсивдик алгоритм, каналдык ресурс, каналдык бирдик, ыкчамдык, агым, трафик, көрсөткүчтөрдү баамдоо (баалоо), көрсөткүчтөрдү баалоо,ыктымалдык.

**Иштин максаты**: Волокондук световоддун басаңдоо коэффициентин ченөө жана оптикалык байланыш линиясына басаңдоону, дисперсиондук терс өзгөрүүлөрдү (искажениелерди), чуунун башкарыла турган деңгеелин киргизүү жолу менен реалдуу оптикалык байланыш линиясындагы процесстерди моделдөө үчүн керек болгон моделдерди жана ыкмаларды иштеп чыгуу. Реалдуу убакытта сервистерди баамдоочу алгоритмдердин негизинде мультисервистик волокондук-оптикалык тармактардагы каналдык ресурстардын моделин иштеп чыгуу.

**Алынган жыйынтыктар.** Изилденип жаткан волокондук-оптикалык тармактын же анын фрагментинин (бөлүгүнүн) перспективдүү результаттарын модел түрүндө анытоого мүмкүндүк бере турган критерийлер аныкталды. Ал модель кийин байланыштын оптикалык тармактарынын өткөрүү мүмкүнчүлүгүн баалоо методикасын иштеп чыгууга колдонулат. Каралып жаткан моделдер үчүн перспективдүү оптикалык тармактардагы кирүүчү агымдарды түзүүдөгү өзгөчөлүктөрдү андан ары эске алуучу жана каналдык ресурстардын колдонулушунун эффективдүүлүгүн жогорулатууга багыттыалган оператордун башкаруу функцияларын анализдөөгө мүмкүнчүлүк берүүчү методикалар иштелип чыгарылды. Волокондук световоддун модовый составы, узундуктары ар кандай болгон эки толкундагы учасчоктокто киргизилген жоготууну ченөө эксперименттик түрдө изилденди, жана ошондой эле басаңдоонун коэффициентин анытоо үчүн световоддун ийилүүсүнүн жол берилүүчү радиусу бааланды. Оптикалык тармактарды пландаштыруудагы маселелерди чечүү үчүн колдонууга керек боло турган өткөрүмдүүлүктү баалоонун так жана болжолдуу алгоритмдери алынды. Басаңдоонун коэффициентин аныктоо үчүн волокондук-оптикалык байланыш линиясында модалык чуунун пайда болуу себептери аныкталды. Моделдөөнүн негизинде мультисервистик волокондук-оптикалык тармактардагы трафикти башкаруу подсистемдериндеги негизги мүнөздөмөлөрдү эсептөөгө мүмкүндүк берген моделдер иштелип чыгарылды, жана ошондой эле кээ бир орточо көрсөткүчтөр эсептелинди. Моделдөөнүн имитациялык системасынын программасы изилдөөнүн жыйынтыктарын отчет катары чыгарып алууга жана анализдөөгө мүмкүнчүлүк берет.

**РЕЗЮМЕ**

**Диссертации Зимина Игоря Викторовича на тему «Разработка модели канального ресурса на базе алгоритмов оценки сервисов реального времени в мультисервисных волоконно-оптических сетях» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности: 01.04.05 – Оптика.**

**Ключевые слова:** мультисервисная волоконно-оптическая сеть, одномодовые волокна, дисперсия, спектр потерь, окно прозрачности, рекурсивный алгоритм, канальный ресурс, канальная единица, интенсивность, поток, трафик, оценка показателей, вероятность.

**Цель работы:** Разработка моделей и методов для измерения коэффициента затухания волоконного световода, моделирования процессов в реальной оптической линии путем введения затухания, дисперсионных искажений и регулируемого уровня шума в оптический сигнал, передаваемый по оптической линии связи. Разработка модели канального ресурса на базе алгоритмов оценки сервисов реального времени в мультисервисных волоконно-оптических сетях.

**Полученные результаты.**

Выявлены критерии, позволяющие определить перспективные результаты ис­следуемой волоконно-оптической сети или её фрагмента в виде модели, которая далее будет используется для разработки методик оценки показателей пропуск­ной способности оптических сетей связи. Разработаны методики для рассматриваемых моделей, которые в дальнейшем будут учитывать особенности формирова­ния входных потоков заявок в перспективных оптических сетях, и давать возможность анализировать действие управленческих функций оператора, направлен­ных на повышение эффективности использования канального ресурса. Экспериментально исследован модовый состав волоконных световодов, измерение потерь вносимых на участке волоконного световода на двух длинах волн, а также оценены допустимые радиусы изгиба световодов для определения коэффициента затухания. Получены точные и приближенные алгоритмы оценки пропускной способности, которые можно использовать для решения задач планирования оптических сетей. Выявлены причины появления модовых шумов в волоконно-оптической линии связи для определения коэффициента затухания. Разработаны модели, которые позволяют на основании результатов моделирования рассчитывать основные характеристики в подсистемах управления трафиком в мультисервисных волоконно-оптических сетях, а также рассчитаны некоторые средние показатели. Программы имитационной системы моделирования позволят задавать данные параметры системе, получать результаты в виде отчета и проводить анализ.

**ANNOTATION**

**Thesis Zimin Igor Viktorovich on the theme «Development of the model channel resource-based algorithms for assessment of real-time services in multiservice fiber-optical networks» on competition of a scientific degree of candidate of technical Sciences on the specialty: 01.04.05 – Optics.**

**Keywords:** multi- fiber optic network, single-mode fiber, dispersion, loss spectrum, window transparency, recursive algorithm, the channel resource, the channel unit, the intensity, the flow of traffic, the assessment indicators, the probability.

**The purpose of the work.** Development of models and methods for measuring the attenuation coefficient of the fiber, modeling of processes in real optical line by introducing attenuation, dispersion, distortion and noise in the controlled optical signal transmitted over an optical link. And develop a model of channel resource estimation algorithms based on real-time services in a multi- fiber networks.

**The results obtained.** Denitrified criteria to determine the promising results of the investigated fiber-optic network or a fragment thereof in the form of a model that will be used to further develop methodologies for assessing indicators passions of optical communication networks. Methods have been developed for the models, which will continue to take into account the peculiarities of the formation of input streams applications (claims) in the perspective of optical networks, and enable management to analyze the action of the operator, aimed at increasing efficiency of channel resource. Experimentally investigated the mode composition of fibers, insertion loss measurements at the site of the fiber at two wavelengths, as well as estimated bending radius of optical fibers to determine the attenuation coefficient . Exact and approximate algorithms for assessing the capacity that can be used to solve scheduling problems optical networks. The causes of the emergence of modal noise in fiber- optic communication line to determine the attenuation coefficient. The models, which allow for simulation results to calculate the basic characteristics of the subsystems in the traffic management in multi- fiber networks, as well as some of the calculated average. Program simulation modeling systems enable you to set these parameters the system to obtain results in a report and analysis.



Подписано в печать: 15.10.2014

Формат: 60×84 1/16.

Объем: 1,75 п.л.

Офсетная бумага.

Тираж: 100 экз.

Адрес: г. Бишкек, ул. Ялтинская 114

Тел.: (+996 312) 36-92-50

e-mail: [maxprint@mail.ru](mailto:maxprint@mail.ru)