

Применение лабораторного комплекса «Волоконно-оптические системы передачи данных с временным и волновым уплотнением каналов»

А.С. Логинов, А.Д. Призенцов

Научный руководитель: А.В. Осовский

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Астраханский государственный технический университет», Астрахань, Россия*

Аннотация – Учебный лабораторный комплекс «Волоконно-оптические системы передачи данных с временным и волновым уплотнением каналов» – это многофункциональный учебный комплекс для изучения волоконно-оптических линий связи, операционной системы GNU/Linux и технологий мультиплексирования каналов. Лабораторный комплекс применяется в учебном процессе на кафедре «Связь» Астраханского государственного технического университета в рамках изучения дисциплины «Направляющие системы электросвязи» - раздела Волоконно-оптические линии связи, для подготовки бакалавров по направлению «Инфокоммуникационные технологии и системы связи». Комплекс предоставляет возможность проведения исследований влияния различных методов мультиплексирования, таких как временное и волновое на производительность передачи данных между вычислительными устройствами. Это позволяет студентам изучить принципы функционирования динамических протоколов маршрутизации, включая Routing Information Protocol (RIP) и Telnet и их влияние на параметры передаваемых данных. Интеграция теоретических знаний с практическими навыками работы с операционной системой GNU/Linux, настройкой и оптимизацией динамических протоколов маршрутизации, а также сборкой и конфигурацией оптических каналов связи с использованием различных методов мультиплексирования, позволяет студентам овладеть необходимыми компетенциями для решения сложных задач в области проектирования и эксплуатации современных систем передачи данных. Таким образом, данный учебный комплекс способствует подготовке высококвалифицированных специалистов, способных эффективно решать задачи, связанные с эксплуатацией современных систем передачи данных.

Ключевые слова – мультиплексирование, GNU/Linux, RIP, Telnet, обучение по телекоммуникационным специальностям.

I. ВВЕДЕНИЕ

В рамках образовательной программы направления 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» осуществляется целенаправленное акцентирование на дисциплинах, направленных на формирование у обучающихся глубоких теоретических знаний и профессиональных компетенций в области теории и практики линий связи. В условиях стремительного технологического прогресса и устаревания существующих методических рекомендаций и лабораторного оборудования возникает объективная необходимость внедрения подходов, интегрирующих теоретическое обучение с его прикладным применением.

Для достижения этой цели предлагается разработать и внедрить специализированный курс лабораторных работ, основанный на использовании современных высокотехнологичных лабораторных комплексов с высокой степенью интеграции с волоконно-оптическими системами передачи данных. Это, в свою очередь, будет способствовать углубленному пониманию дисциплины «Направляющие системы электросвязи», что обеспечит высокий уровень практической подготовки и профессиональной компетентности в решении актуальных задач в сфере инфокоммуникационных технологий.

Интеграция современных лабораторных комплексов в образовательный процесс является необходимым условием для обеспечения соответствия учебного процесса современным требованиям и стандартам профессиональной подготовки. Это позволит подготовить высококвалифицированных специалистов, способных эффективно решать сложные задачи в области инфокоммуникационных технологий и систем связи.

II. АКТУАЛЬНОСТЬ

Телекоммуникационные системы являются основополагающим элементом современной информационной инфраструктуры, обеспечивая глобальную интеграцию данных, голосовой и видеоинформации посредством высокопроизводительных коммуникационных каналов. Лабораторный комплекс "Волоконно-оптические системы передачи данных с временным и волновым уплотнением каналов" представляет собой интегрированную платформу, предназначенную для углублённого изучения и практической реализации принципов построения телекоммуникационных сетей. Студенты имеют возможность работать с широким спектром оборудования, включая медиаконвертеры, мультиплексоры, модули уплотнения сигналов, патч-корды и компьютеры с интерфейсами 1 Гбит/с. Данная конфигурация позволяет моделировать реальные сценарии построения сетей, включая развёртывание оптических линий связи, настройку IP-адресации, маршрутизацию и диагностику соединений.

Особенностью данного комплекса является применение технологий мультиплексирования каналов, таких как временное уплотнение (Time Division Multiplexing – TDM), мультиплексирование с разделением по длине волны (Wavelength Division Multiplexing – WDM) и технология грубого спектрального уплотнения (Coarse Wavelength Division Multiplexing – CWDM), а также направление с использованием оптических циркуляторов (уплотнителей по направлению). Эти технологии способствуют максимизации пропускной способности сетей, эффективному использованию физической инфраструктуры и минимизации затрат на её расширение [1].

Многие учебные заведения сталкиваются с дефицитом оборудования, адаптированного к реальным сценариям и отвечающего современным стандартам. В 2025 г для подготовки специалистов по направлению «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» на кафедре «Связь» Астраханского государственного технического университета данный комплекс был внедрен в учебный процесс для изучения раздела дисциплины «Направляющие системы электросвязи» - Волоконно-оптические линии связи.

Лабораторный комплекс позволяет студентам освоить не только теоретические и практические аспекты функционирования волоконно-оптических линий связи, но и познакомиться с операционной системой GNU/Linux. В рамках выполнения лабораторных работ студенты приобретают базовые навыки работы с терминалом, осваивают синтаксис команд операционной системы, учатся взаимодействовать с различными протоколами и дополнительными утилитами, расширяющими функциональные возможности комплекса.

Полученные результаты могут быть использованы для разработки и оптимизации систем передачи данных, повышения их пропускной способности и устойчивости к внешним воздействиям [1].

III. ОПИСАНИЕ И ПРИНЦИП РАБОТЫ СТЕНДА

Лабораторный комплекс ВОЛС-03, разработанный компанией «Учтех-Профи», представляет собой универсальную платформу для изучения передовых технологий передачи данных по волоконно-оптическим линиям связи (ВОЛС).

Методы мультиплексирования, изучаемые в лабораторных работах, позволяют передавать несколько независимых информационных потоков одновременно по одному оптическому волокну, что является ключевым фактором в оптимизации использования оптических ресурсов и повышении пропускной способности сетей.

Комплекс обеспечивает широкие возможности для проведения экспериментальных исследований реальных волоконно-оптических систем:

1. Исследование линий без мультиплексирования и линий с различными методами мультиплексирования (WDM, CWDM, Rx/Tx и их комбинации), что позволяет оценить их эффективность в различных эксплуатационных условиях и оптимизировать параметры передачи данных.

2. Анализ CWDM-систем в различных конфигурациях сетей, включая оценку их пропускной способности, устойчивости к внешним воздействиям и возможности масштабирования, что является важным аспектом для обеспечения надежности и качества связи в высокоскоростных сетях.

3. Исследование задержек распространения сигналов в волоконно-оптических линиях связи, что имеет критическое значение для обеспечения синхронизации данных и повышения производительности телекоммуникационных систем.

Оборудование данной платформы структурировано на две функциональные группы, соответствующие двум конечным точкам оптического канала связи, обе могут выступать как в качестве приема, так и в качестве передачи.

В состав каждой группы входят медиаконвертеры и устройства для уплотнения оптических каналов, в том числе мультиплексоры CWDM и WDM.

CWDM мультиплексоры-демультиплексоры интегрируют несколько оптических сигналов в одном канале посредством относительно широких спектральных полос. В отличие от них, WDM мультиплексоры функционируют на длинах волн 1310 нм и 1550 нм, обеспечивая более плотное спектральное уплотнение и передачу большего количества каналов по одному оптическому волокну.

Центральный элемент лабораторного комплекса – оптический кросс, выполняющий функцию

коммутации и распределения оптических сигналов между компонентами системы. Оптические соединения, исходящие из оптического кросса, обеспечивают интеграцию и взаимодействие между устройствами.

Передача данных осуществляется посредством четырех одномодовых оптических волокон, каждое длиной 1000 метров, что гарантирует высокую пропускную способность и надежность системы. В верхней части комплекса размещены три оптических мультиплексора ввода-вывода (Optical Add-Drop Multiplexer - OADM), позволяющие добавлять или удалять оптические сигналы на определенных длинах волн. Это ключевой элемент для управления и оптимизации трафика в оптических сетях. Оптические соединения этих модулей выведены с обеих сторон оптического кросса, что обеспечивает гибкость и масштабируемость системы.

Представленный лабораторный комплекс является системой, интегрирующей передовые технологии в области оптических коммуникаций. На Рис. 1 представлен внешний вид лабораторного комплекса.



Рис. 1. Лабораторный комплекс

На Рис. 2 изображен медиаконвертер - данное устройство, предназначено для трансформации оптических сигналов в электрические и обратно, скорость передачи данных составляет 1 (Гбит/с). Подключение к электрической сети осуществляется через разъем RJ45 (8P8C), который соответствует международным стандартам 1000Base-T и 1000Base-TX, специально разработанным для гигабитных сетей Ethernet.

При работе с комплексом основное внимание уделяется стандарту 1000Base-T, который требует использования кабеля категории 6 с витой парой. В отличие от него, стандарт 1000Base-TX предусматривает применение кабеля исключительно категории 6.

Для обеспечения оптического подключения медиаконвертера, предусмотрено гнездо для установки модулей стандарта SFP (Small Form-factor Pluggable). Выбор конкретного модуля осуществляется на основе

специфических требований, таких как длина волны и дальность передачи. В рамках проведения лабораторных работ использовались 1-гигабитные SFP-модули, которые поддерживают различные длины волн (1310, 1330, 1550 и 1570 нм) и обеспечивают передачу данных на расстояние до 4 км.

Медиаконвертер функционирует при подключении к источнику питания с напряжением 5 В и силой тока 1 А, который интегрирован в лабораторную установку.

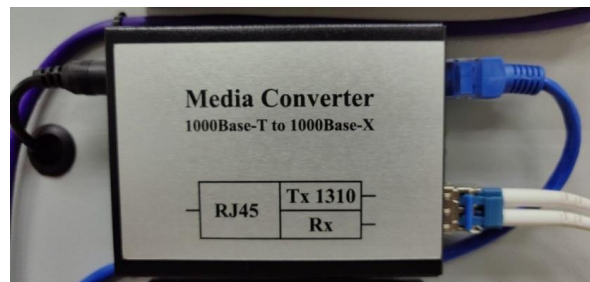


Рис. 2. Медиаконвертер

На Рис. 3 изображен модуль уплотнения TDM. Его функционал основан на технологии временного разделения каналов.

Устройство оснащено тремя портами SFP+, каждый из которых имеет уникальные характеристики пропускной способности. Один из портов обеспечивает высокоскоростную передачу данных со скоростью 2,5 Гбит/с, что делает его идеальным для высокоскоростных приложений. Два других порта поддерживают скорость 1,25 Гбит/с каждый, что позволяет гибко конфигурировать сетевую инфраструктуру в зависимости от специфических требований.

Для повышения универсальности и функциональности модуль включает порт 1,25 Гбит/с с возможностью конвертации сигнала в оптический стандарт 1000Base-LX. Это обеспечивает его интеграцию в оптоволоконные сети, что является важным аспектом для современных телекоммуникационных решений. Второй порт 1,25 Гбит/с оснащен электрическим интерфейсом 1000Base-T, что гарантирует совместимость с существующими сетевыми архитектурами, использующими медные кабели.

Оптический порт 2,5 Гбит/с реализован в виде одноволоконного интерфейса с поддержкой технологии WDM (Wavelength Division Multiplexing). Это позволяет передавать данные на двух различных длинах волн: 1310 нм для передатчика и 1550 нм для приемника, что значительно повышает эффективность использования оптоволоконного канала. Одноволоконная конфигурация данного модуля исключает необходимость строгой синхронизации длин волн передатчика и приемника, что упрощает интеграцию и эксплуатацию системы.

Модуль уплотнения TDM функционирует от источника питания с напряжением 5 В и током 1 А, что

полностью соответствует современным стандартам энергоэффективности и безопасности [6].



Рис.3. Модуль уплотнения TDM

На Рис. 4 представлен CWDM мультиплексор. CWDM – это технология грубого спектрального мультиплексирования (уплотнения) (сокращенно от англ. Coarse Wavelength Division Multiplexing), позволяющая одновременно передавать до 18 длин волн, при помощи которых можно организовать девять дуплексных каналов передачи данных в рамках одного оптического волокна. Принцип технологии CWDM заключается в том, что несколько каналов данных передаются по одному ОВ (оптическому волокну) на разных длинах волн, не взаимодействуя с другими оптическими сигналами в данном ОВ. Длины волн, используемые для передачи в CWDM, лежат в диапазоне 1270-1610 нм, который охватывает несколько спектральных диапазонов, используемых в телекоммуникациях:

- O-band (original band, основной диапазон) 1270-1370 нм;
- E-band (extensive band, расширенный диапазон) 1371-1470 нм;
- S-band (short band, коротковолновый диапазон) 1471-1530 нм;
- C-band (compromise band, компромиссный диапазон) 1531-1570 нм;
- L-band (long band, длинноволновый диапазон) 1571-1611 нм.

Оптические мультиплексоры и демультиплексоры CWDM – это пассивные волоконно-оптическое устройства, предназначенные для мультиплексирования (суммирования) и демультиплексирования (разделения) оптических сигналов, разделенных по длине волны (частоте). В системах спектрального уплотнения CWDM применяются мультиплексоры, построенные на основе тонкопленочных фильтров – TFF (от англ. Thin Film Filter), которые последовательно соединены друг с другом.

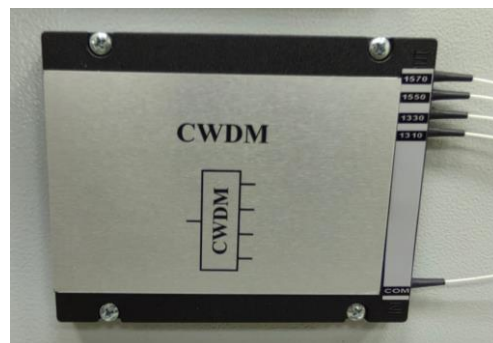


Рис. 4. CWDM мультиплексор

На Рис. 5 представлен WDM мультиплексор 1310/1550. Уплотнение WDM (Wavelength-division multiplexing, мультиплексирование с разделением по длине волны). В основе данного способа лежит явление дисперсии света.

Для некоторых материалов показатель преломления для разных длин волн разный, что позволяет с помощью призмы разложить свет на составляющие. Исторически изначально использовалось разделение на две длины волны: 1310 и 1550 нм, соответствующее окнам прозрачности оптоволокну. Уплотнение на сплиттерах (мультиплексорах) 1310/1550 является весьма дешевым способом, так как не предъявляет высоких требований к прямо-передатчикам.



Рис. 5. WDM мультиплексор

Оптоволоконные WDM мультиплексоры представляют собой пассивные, протоколо-независимые устройства, выполняющие функцию объединения-разделения несколько сигналов, которые поступают на их входы в оптическом формате. Уплотнение каналов реализуется специальными методами за счет передачи каждого канала на определенной длине волны. Суммарный информационный поток передается по одному или двум волокнам.

На Рис.6 представлен оптический циркулятор (уплотнитель по направлению Rx/Tx).



Рис. 6. Оптический циркулятор

Для портов А, В, С данные могут передаваться только в следующих направлениях: из А в В, из В с С, из С в А. Работает данное устройство на двух

физических явлениях: поляризация света и вращение плоскости поляризации.

Такая система с поляризационными фильтрами теряет как минимум половину мощности, если изначально световой поток не был поляризован. Это происходит из-за отсечения мощности светового потока с плоскостью поляризации, не совпадающей с поляризационным фильтром.

На Рис. 7 представлен OAOM модуль 1550ADD/1517Drop. Модуль OAOM 1550ADD/1570DROP (оптический мультиплексор ввода-вывода, OADM) нужен для организации каналов передачи данных в системах волоконно-оптической связи (ВОЛС) на сетях со спектральным уплотнением CWDM.

Функции модуля:

- Добавление каналов – модуль позволяет подключать новые оптические каналы (длины волн) к существующей линии связи в промежуточных пунктах. Это важно для масштабирования сети или предоставления дополнительных услуг без необходимости полного демультимплексирования системы.

- Извлечение каналов – модуль извлекает из линии канал на определённой длине волны.

Технические параметры модуля OAOM 1550ADD/1570DROP:

- Диапазон длин волн: 1260-1620 нм.
- Расстояние между каналами: 20 нм.
- Центральная длина волны: 1550 нм ($1350 \pm 6,5$), 1570 нм ($1430 \pm 6,5$).
- Вносимые потери: COM→Add 1550 нм – ≤ 1 дБ, COM→Drop 1550 нм – ≤ 1 дБ.
- Тип коннекторов: LC/UPC.



Рис. 7. OAOM модуль 1550ADD/1517Drop

На Рис. 8 представлен OAOM модуль 1310ADD/13330DROP. Модуль OAOM 1310ADD/1330DROP (OADM – Optical Add Drop Multiplexor) нужен для ввода-вывода оптических

каналов в сетях CWDM. Это пассивное устройство, которое устанавливается в разрыв оптической линии и обеспечивает отбор из общего тракта двух длин волн (1310 и 1330 нм) и добавление их, при этом другие несущие проходят прозрачно далее в выходной канал.



Рис. 8. OAOM модуль 1310ADD/13330DROP

Использование модулей OAOM 1310ADD/1330DROP целесообразно, когда нужно передавать данные на скорости 10 Гбит/с на максимальное расстояние по одному волокну. Это связано с тем, что оптическое волокно имеет минимальное значение дисперсии и наименьшее затухание в окне прозрачности на длинах волн 1310/1330 нм.

Для сборки оптической линии и соединения оптических разъемов установленного оборудования, а также для сборки оптического канала связи для работоспособности компонентов стенда используется патч-корд оптический модели LC-LC/UPC SM (9/125мкм) simplex (3.0мм) 1м, как показано на Рис. 4 [7].



Рис. 9. Патч-корд оптический LC-LC/UPC SM (9/125мкм) simplex (3.0мм) 1м

Технические характеристики данного кабеля представлены в Табл. I.

ТАБЛИЦА I
ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПАТЧ-КОРДА

Параметр	Значение
Тип коннектора	LC-LC/UPC
Длина патч-корда, м	1
Диаметр оболочки волокна, мм	3
Тип волокна	Одномодовое SM 9/125 G.652
Материал оболочки/цвет	LSZH, жёлтый
Прямые потери, дБ	<0,3
Обратные потери, дБ	<-60
Рабочая температура, °C	-20...+70
Температура хранения, °C	-40...+70
Количество циклов соединений	1000

IV. ПРИМЕРЫ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Методическое обеспечение раздела дисциплины «Направляющие системы электросвязи» - Волоконно-оптические линии связи содержит пять лабораторных работ. Лабораторные работы были разработаны авторами статьи на кафедре «Связь» под руководством к.т.н., доц. А.В. Осовского.

В лабораторной работе №1 «Оптические сети без уплотнения каналов», ориентированной на изучение оптических сетей без использования технологий спектрального уплотнения каналов (CWDM и DWDM), студенты ознакомятся с операционной системой GNU/Linux и специализированным программным обеспечением, позволяющим взаимодействовать с системой через интерфейс командной строки терминала.

Особенностью данной лабораторной работы является знакомство с лабораторным комплексом. В процессе работы студенты приобретают практические навыки сборки и тестирования оптического канала связи с применением оптических кабелей, патч-кордов и других компонентов.

Дополнительно студенты детально изучают функциональные компоненты лабораторного комплекса, включая оптические мультиплексоры, усилители и коммутаторы. Это позволяет им глубже понять принципы работы оптических сетей, а также особенности их применения в современных телекоммуникационных системах.

Таким образом, данная лабораторная работа предоставляет студентам уникальную возможность не только изучить теоретические аспекты оптических сетей, но и получить практические навыки работы с современным оборудованием. Это является важным элементом подготовки высококвалифицированных специалистов в области телекоммуникаций, способных эффективно решать задачи, связанные с обслуживанием оптических сетей [3].

В лабораторной работе №2 «Сети с уплотнением TDM» студенты знакомятся с этапами построения маршрутов, ключевыми компонентами и механизмами верификации корректности передачи данных между вычислительными узлами. Особое внимание уделяется

принципам работы маршрутизаторов и их алгоритмам работы.

Особое значение имеет изучение режима суперпользователя (root), который предоставляет расширенные возможности администрирования операционной системы и управления системными ресурсами. Данный режим позволяет осуществлять тонкую настройку сетевых параметров, мониторинг производительности и обеспечение безопасности критически важных сетевых сервисов.

Дополнительно студенты исследуют особенности маршрутизации в операционной системе GNU/Linux, а также принципы временного уплотнения каналов (TDM). Особое внимание уделяется анализу преимуществ TDM, таких как эффективное использование пропускной способности канала и минимизация задержек при передаче данных.

В рамках лабораторной работы проводится детальный анализ новых элементов при сборке оптических каналов связи. Это обусловлено необходимостью работы с сложными конфигурациями, включающими взаимодействие множества сетевых устройств и обеспечение синхронизации потоков данных. Данный анализ способствует развитию навыков, необходимых для управления и оптимизации сетевых ресурсов в условиях высокой сложности и динамичности сетевой среды [5].

В рамках лабораторной работы №3 «Сети с WDM уплотнением на базе сплиттеров 1310/1550» студенты ознакомятся с технологией мультиплексирования с разделением по длине волны (WDM). Основное внимание уделено оптоволоконным WDM-мультиплексорам. В ходе выполнения лабораторной работы студенты осваивают широкий спектр специализированных инструментов для работы с сетевыми системами на базе операционной системы GNU/Linux. Это обеспечит им развитие практических навыков администрирования сетевого оборудования и углубленное понимание принципов пакетной коммутации каналов. Особое внимание уделено эффективному взаимодействию с командной строкой терминала, что является неотъемлемым компонентом управления сетевыми ресурсами. Лабораторная работа предусматривает использование специализированных утилит с терминалом, что значительно расширяет его функциональные возможности и обеспечивает гибкую настройку и мониторинг параметров сети. Это способствует формированию у студентов более глубокого понимания принципов функционирования сетевых систем и их эффективного применения в практической деятельности [1].

Лабораторная работа №4 «Сети с уплотнением Rx/Tx», посвящена исследованию сетей с уплотнением каналов приема и передачи данных (Rx/Tx) и протоколом Telnet. Студентам предлагается провести детальный анализ особенностей уплотнения сигналов циклических элементов Rx/Tx, а также изучить

технические характеристики и функциональные возможности этих устройств. Особое внимание уделено протоколу Telnet, являющемуся промышленным стандартом для реализации текстового интерфейса через сетевые соединения. Студенты знакомятся с фундаментальными принципами функционирования протокола, его архитектурной структурой и синтаксическими особенностями, а также рассмотрят различные сценарии применения в разнообразных сетевых конфигурациях. Практический аспект работы с протоколом Telnet будет играть ключевую роль. Студенты самостоятельно реализуют протокол в сети, состоящей из двух персональных компьютеров, организуя подключение к командной строке удаленного узла, что позволит им установить виртуальное соединение с удаленным сетевым устройством и осуществлять его управление с локального компьютера. Таким образом, выполнение данной лабораторной работы способствует углубленному пониманию принципов функционирования сетевых протоколов и устройств, а также развитию практических навыков в области сетевых технологий [3], 5, 8].

В рамках выполнения лабораторной работы №5 «Сети с уплотнением CWDM в топологии CWDM-CWDM» студентам предоставлен анализ метода грубого спектрального уплотнения оптических сигналов — CWDM. Кроме того, студенты ознакомятся с протоколом динамической маршрутизации RIP, который широко применяется в компьютерных сетях для обмена данными о маршрутах между маршрутизаторами. RIP функционирует на основе алгоритма вектора расстояния, который обеспечивает автоматическое обновление таблиц маршрутизации, учитывая данные о доступности и стоимости маршрутов. Этот протокол является одним из базовых в области маршрутизации и играет важную роль в обеспечении надежности и эффективности сетевых коммуникаций. Для активации протокола RIP на операционной системе GNU/Linux студенты должны использовать редактор командной строки Nano, который обладает широкими возможностями для редактирования и просмотра файлов через терминал. Nano предоставляет высокую гибкость и удобство работы с конфигурационными файлами системы, что делает его незаменимым инструментом для специалистов в области сетевых технологий. Для практической реализации протокола RIP в среде операционной системы GNU/Linux задействована утилита интернет-маршрутизации BIRD (Bird Internet Routing Daemon). BIRD является мощным и гибким инструментом маршрутизации с широким функционалом, включающим фильтрацию маршрутов, управление таблицами маршрутизации, поддержку протоколов IPv4 и IPv6, а также мониторинг и управление состоянием маршрутизационного домена.

Использование BIRD позволяет студентам глубже понять механизмы функционирования сетевых протоколов и их взаимодействия в сложных сетевых инфраструктурах, что является важным аспектом подготовки квалифицированных специалистов в области телекоммуникаций и информационных технологий [5].

V. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе выполнения лабораторных работ студенты учатся взаимодействовать с различными компонентами комплекса, изучая теоретические и практические аспекты методов мультиплексирования каналов. Это позволяет им детально понять влияние различных методов мультиплексирования на качество и надежность передачи данных по волоконно-оптическим линиям. Кроме того, студенты ознакомятся с протоколами динамической маршрутизации, что является ключевым элементом для обеспечения эффективной и надежной передачи данных в сложных телекоммуникационных сетях. В рамках практических занятий они приобретают базовые навыки работы с терминалом для организации и управления коммуникационными процессами. Это позволит им глубже понять принципы функционирования и оптимизации сложных телекоммуникационных систем. Таким образом, выполнение лабораторных работ способствует формированию у студентов комплексного представления о современных технологиях и методах, используемых в области волоконно-оптической связи, что является важным шагом в их профессиональной подготовке.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают особую благодарность научному руководителю Осовскому Алексею Викторовичу за его неоценимый вклад в предоставлении материалов и документации, ценные советы при планировании и подготовке лабораторных работ и рекомендаций по оформлению статьи

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Иванов, В. И. Проектирование транспортных систем передачи: учебное пособие / В. И. Иванов. — Самара: ПГУТИ, 2021. — 148 с. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/301094>
- [2] Перин, А. С. Оптические цифровые телекоммуникационные системы: технологии мультиплексирования и синхронизации: учебное пособие / А. С. Перин. — Москва: ТУСУР, 2021. — ISBN 978-5-86889-928-7. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/31313>
- [3] Бобровский, В. И. Расширенное администрирование сетевой операционной системы GNU/Linux. Администрирование сетевых служб: учебное пособие / В. И. Бобровский, А. В. Дагаев, Е. П. Журавель. — Санкт-Петербург: СПбГУТ им. М.А. Бонч-Бруевича, 2022. — ISBN 978-5-89160-253-3. — Текст:

- электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/279179>
- [4] Карабцев, С. Н. Операционные системы: учебное пособие / С. Н. Карабцев, В. В. Торгулькин. — Кемерово: КеМГУ, 2025. — Часть 2: Операционные системы семейства Linux — 2025. — ISBN 978-5-8353-3118-5. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/485072>
- [5] Васин, Н. Н. Технологии пакетной коммутации: учебник / Н. Н. Васин. — Санкт-Петербург: Лань, 2022. — ISBN 978-5-8114-3866-2. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/207083>
- [6] Типовой комплект учебного оборудования «Волоконно-оптические системы передачи данных с временным и волновым уплотнением» ВОЛС-03 [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://labstand.ru/catalog/volonno-opticheskie-linii-svyazi/laboratornyj-kompleks-volonno-opticheskie-sistemy-peredachi-dannyh-s-vremennym-i-volnovym-uplotneniem-kanalov-vols-03>
- [7] Патч-корд оптический LC-LC/UPC SM (9/125мкм) simplex (3.0мм) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://componentltd.ru/catalog/patch-kordy-opticheskie/patch-kord-opticheskiy-lc-lc-upc-sm-9-125mkm-simplex-3-0mm-1m/>
- [8] Басыня, Е. А. Сетевая информационная безопасность: учебник / Е. А. Басыня. — Москва: НИЯУ МИФИ, 2023. — ISBN 978-5-7262-2949-2. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/355511>
- [9] Демон интернет-маршрутизации BIRD [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://bird.network.cz/>
- [10] Текстовый редактор Nano [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.nano-editor.org/docs.php>

Информация об авторах

Логинов Алексей Сергеевич бакалавр по направлению «Инфокоммуникационные технологии и системы связи», техник лаборатории «Сети связи» Астраханского государственного технического университета, г. Астрахань, Россия, e-mail: aleksej.loginov.03@bk.ru

Призенцов Андрей Дмитриевич, бакалавр по направлению «Инфокоммуникационные технологии и системы связи», техник лаборатории «Сети связи» Астраханского государственного технического университета, г. Астрахань, Россия, e-mail: prizentsov.andrey@mail.ru

Application of the laboratory complex "Fiber-optic data transmission systems with time and wave multiplexing of channels"

A.S. Loginov, A.D. Prizentsov

Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia

Abstract – The training laboratory complex "Fiber-optic data transmission systems with time and wave channel compression" is a multifunctional training complex for studying fiber-optic communication lines, the GNU/Linux operating system and channel multiplexing technologies. The

laboratory complex is used in the educational process at the Department of Communications of Astrakhan State Technical University as part of the study of the discipline "Telecommunication Guidance Systems" - the section Fiber-optic communication lines for bachelor's degree in Information Communication Technologies and Communication Systems. The complex provides an opportunity to conduct comprehensive studies of the effects of various multiplexing methods, such as time and wave, the performance of data transfer between computing devices. This allows students to study the principles of dynamic routing protocols, including the Routing Information Protocol (RIP) and Telnet, and their impact on the parameters of transmitted data. The integration of theoretical knowledge with practical skills in working with the GNU/Linux operating system, configuring and optimizing dynamic routing protocols, as well as assembling and configuring optical communication channels using various multiplexing methods, allows students to master the necessary competencies to solve complex problems in the design and operation of modern data transmission systems. Thus, this training complex contributes to the training of highly qualified specialists who are able to effectively solve problems related to the operation of modern data transmission systems.

Keywords - multiplexing, GNU/Linux, RIP, Telnet, training in telecommunications specialties.

References

- [1] Ivanov, V. I. Design of Methodological transmission systems: a tutorial / V. I. Ivanov. - Samara: PGUTI, 2021. - 148 p. - Text: electronic // Lan: electronic library system. - URL: <https://e.lanbook.com/book/301094>
- [2] Perin, A. S. Optical digital telecommunication systems: multiplexing and synchronization technologies: a tutorial / A. S. Perin. - Moscow: TUSUR, 2021. - ISBN 978-5-86889-928-7. - Text: electronic // Lan: electronic library system. - URL: <https://e.lanbook.com/book/313313>
- [3] Bobrovsky, V. I., Dagaev, A. V., and Zhuravel, E. P. Advanced Administration of the GNU/Linux Network Operating System. Administration of Network Services: A Tutorial. — Saint Petersburg: Bonch-Bruyevich Saint Petersburg State University of Telecommunications, 2022. — ISBN 978-5-89160-253-3. — Text: electronic // Lan: electronic library system. — URL: <https://e.lanbook.com/book/279179>
- [4] Karabtsev, S. N. Operating Systems: A Textbook / S. N. Karabtsev, V. V. Torgulkin. — Kemerovo: KemSU, 2025 — Part 2: Linux Family Operating Systems — 2025. — ISBN 978-5-8353-3118-5. — Text: electronic // Lan: electronic library system. — URL: <https://e.lanbook.com/book/485072>
- [5] Vasin, N. N. Packet Switching Technologies: Textbook / N. N. Vasin. — St. Petersburg: Lan, 2022. — ISBN 978-5-8114-3866-2. — Text: electronic // Lan: electronic library system. — URL: <https://e.lanbook.com/book/207083>
- [6] Standard set of educational equipment "Fiber-optic data transmission systems with time and wave-based multiplexing" VOLS-03 [Electronic resource]. — Access mode: <https://labstand.ru/catalog/volonno-opticheskie-linii-svyazi/laboratornyj-kompleks-volonno-opticheskie-sistemy-peredachi-dannyh-s-vremennym-i-volnovym-uplotneniem-kanalov-vols-03>
- [7] Optical patch cord LC-LC/UPC SM (9/125μm) simplex (3.0mm) [Electronic resource]. Access mode: <https://componentltd.ru/catalog/patch-kordy-opticheskie/patch-kord-opticheskiy-lc-lc-upc-sm-9-125mkm-simplex-3-0mm-1m/>
- [8] "Basynya, E. A. Network Information Security" (Basynya, E. A. Network Information Security: Textbook / E. A. Basynya. — Moscow: NRNU MEPhI, 2023. — ISBN 978-5-7262-2949-2. —

Text: electronic // Lan: electronic library system. — URL:
<https://e.lanbook.com/book/355511>

[9] BIRD Internet Routing Demon [Electronic resource]. Access mode:
<https://bird.network.cz/>

[10] Nano [Electronic resource]. Access mode: <https://www.nano-editor.org/docs.php>