

УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Факультет «Інформаційно-керуючі системи та технології»

Кафедра «Транспортний зв'язок»

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломної роботи бакалавра

на тему:

**ПРОЕКТУВАННЯ ОПТИЧНОГО ТРАКТУ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ НА ОСНОВІ
ТЕХНОЛОГІЇ WDM**

БРА 02.25.01.134.ПЗ

Виконав:

студент 3 курсу, групи 135-ТКРТ-322

спеціальності

172 «Телекомунікації та радіотехніка»

(роботу виконано самостійно відповідно
до принципів академічної доброчесності)

Юрій ІВАНЧЕНКО

Керівник:

доцент кафедри, канд. техн. наук

Наталія КОРОЛЬОВА

Рецензент:

доцент кафедри АТ, к.т.н., доцент

Сергій ЗМІЙ

Харків – 2025 р.

УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Факультет «Інформаційно-керуючі системи та технології»

Кафедра «Транспортний зв'язок»

Освітній рівень: бакалавр

Спеціальність: 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В. о. завідувача кафедри, доцент

_____ С.В. Індик
(підпис)

« 07 » _____ квітня 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Іванченко Юрію Васильовичу

1. Тема роботи:

«Проектування оптичного тракту передачі даних на основі технології WDM»,
керівник роботи: доцент кафедри, канд. техн. наук Корольова Наталія Анатоліївна,
затверджені розпорядженням декана факультету інформаційно-керуючих систем
та технологій від 24.02.2025 р. № 11.

2. Строк подання студентом роботи: 06.06.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи:

- ВБН В.2.2-33-2007. Проектування телекомунікацій;
- ITU-T Recommendation G.694.1 – Spectral grids for WDM applications:
DWDM frequency grid;
- IEEE 802.3ah. Standard for Ethernet in the First Mile.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): розглянути основні характеристики оптичних систем зв'язку; визначити компоненти оптичного тракту в системах WDM, провести аналіз технічних рішень та вимог до проектування оптичного тракту; провести моделювання оптичного тракту передачі даних та аналіз результатів моделювання.

5. Презентаційний матеріал: 11 слайдів.

7. Дата видачі завдання: 07.04.2025 р.

№ з/п	Назва етапів	Строк виконання етапів	Примітка
1	Підготовка матеріалів до оглядово-аналітичної частини дипломної роботи	21.04.2025 р	виконано
2	Розробка розділу оглядово-аналітичного характеру	12.05.2025 р	виконано
3	Розробка розділів спеціальної частини дипломної роботи з елементами моделювання	26.05.2025 р	виконано
4	Підготовка графічного матеріалу, доповіді, подання роботи на рецензію та затвердження	2.06.2025 р.	виконано

Здобувач

(підпис)

Юрій ІВАНЧЕНКО

Керівник роботи

доцент кафедри, канд. техн. наук,

(підпис)

Наталія КОРОЛЬОВА

Відповідальний за нормоконтроль

доцент кафедри, канд. техн. наук, доцент

(підпис)

Ірина КОВТУН

АНОТАЦІЯ

Актуальність роботи. У сучасних телекомунікаційних системах забезпечення високої пропускної здатності та надійної передачі даних є ключовою задачею, особливо в умовах зростаючих обсягів інформації. Технологія мультиплексування з розподілом за довжиною хвилі (WDM) дозволяє суттєво підвищити ефективність використання волоконно-оптичних ліній, що робить її надзвичайно актуальною для побудови сучасних оптичних мереж передачі даних. Моделювання оптичних трактів з використанням WDM у спеціалізованих програмних середовищах дає змогу оптимізувати параметри системи та оцінити якість передачі.

Ключові слова: WDM, DWDM, оптичний тракт, мультиплексування, BER, глаз-діаграма, OptiSystem, оптичне волокно, підсилювач EDFA, спектральний аналіз.

Об'єкт дослідження: процес передачі даних в оптичних мережах з використанням технології WDM.

Мета роботи: розробити та змодельовати оптичний тракт передачі даних з технологією WDM, дослідити його характеристики при різній довжині оптичного волокна.

Структура та обсяг роботи: робота викладена на 48 сторінках друкованого тексту, містить 18 рисунків, 5 таблиць, 19 джерел літератури. Робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, переліку умовних позначень та списку використаних джерел.

У першому розділі подано теоретичні основи оптичних систем передачі даних, принципи мультиплексування за довжиною хвилі та характеристику основних компонентів WDM-систем.

Другий розділ містить аналіз технічних рішень при проектуванні оптичного тракту, включно з вибором типів волоконно-оптичного кабелю, джерел випромінювання, підсилювачів та мультиплексорів.

У третьому розділі здійснено моделювання оптичного тракту в середовищі OptiSystem, проведено спектральний та якісний аналіз сигналів, оцінено параметри BER і Q-фактори для різних довжин волокна.

Методи дослідження: теоретичний аналіз, проєктування, комп'ютерне моделювання, емпіричний аналіз результатів.

Рекомендації щодо використання та результати впровадження. Результати дослідження можуть бути використані для оптимізації проєктування оптичних телекомунікаційних систем із застосуванням технології WDM, покращення якості передачі даних у волоконно-оптичних мережах середньої довжини, а також у навчальному процесі при вивченні сучасних оптичних технологій.

ABSTRACT

Relevance of the work. In modern telecommunication systems, ensuring high bandwidth and reliable data transmission is a key task, especially given the increasing volumes of information. Wavelength Division Multiplexing (WDM) technology significantly enhances the efficiency of fiber-optic line utilization, making it extremely relevant for building modern optical data transmission networks. Modeling optical links using WDM in specialized software environments allows for optimizing system parameters and evaluating transmission quality.

Keywords: WDM, DWDM, optical link, multiplexing, BER, eye diagram, OptiSystem, optical fiber, EDFA amplifier, spectral analysis.

Object of the study the process of data transmission in optical networks using WDM technology.

The purpose of the research: to develop and model an optical data transmission link using WDM technology and to investigate its characteristics at different optical fiber lengths.

Structure and scope of the work: the work is presented on 48 pages of printed text, contains 18 figures, 5 tables, and 19 references. The work consists of an introduction, three chapters, conclusions, a list of abbreviations, and a bibliography.

The first chapter presents the theoretical foundations of optical data transmission systems, the principles of wavelength division multiplexing, and the characteristics of the main components of WDM systems.

The second chapter contains an analysis of technical solutions for designing the optical link, including the selection of fiber-optic cable types, light sources, amplifiers, and multiplexers.

The third chapter presents the modeling of the optical link in the OptiSystem environment, spectral and qualitative signal analysis, and evaluation of BER parameters and Q-factors for different fiber lengths.

Research methods: theoretical analysis, design, computer modeling, empirical

analysis of results.

Recommendations for use and implementation results. The research results can be used to optimize the design of optical telecommunication systems employing WDM technology, improve data transmission quality in medium-length fiber-optic networks, and serve as a basis for educational purposes in studying modern optical technologies.

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень	9
Вступ	10
1 Теоретичні основи передавання даних в оптичних мережах на основі технології WDM	11
1.1 Основні характеристики оптичних систем зв'язку	11
1.2 Принципи мультиплексування з розподілом за довжиною хвилі	14
1.3 Компоненти оптичного тракту в системах WDM	18
1.4. Переваги та недоліки технології WDM	20
2 Аналіз технічних рішень та вимог до проектування оптичного тракту	22
2.1 Вибір типу волоконно-оптичного кабелю	22
2.2 Характеристики джерел випромінювання та приймачів	24
2.3 Оптичні підсилювачі, фільтри та мультиплексори	26
3 Моделювання оптичного тракту передачі даних	29
3.1 Обґрунтування вибору середовища моделювання	29
3.2 Опис створеної моделі оптичного тракту	30
3.3 Аналіз результатів моделювання (спектри, BER, потужність, спотворення сигналу)	32
Висновки	45
Список використаних джерел	47

ВСТУП

У сучасному світі стрімкий розвиток інформаційних технологій та зростання обсягів передачі даних ставлять нові вимоги до телекомунікаційних мереж. Зокрема, забезпечення високої пропускної здатності, надійності та ефективності оптичних мереж є ключовим чинником для підтримки зростаючих потреб у швидкісному обміні інформацією в усіх сферах – від інтернет-провайдерів до промислових систем і хмарних сервісів.

Технологія мультиплексування з розподілом за довжиною хвилі (WDM) виступає одним із найперспективніших рішень, що дозволяє суттєво підвищити пропускну здатність волоконно-оптичних ліній за рахунок одночасної передачі багатьох каналів на різних довжинах хвиль. Водночас проектування ефективного оптичного тракту з використанням WDM потребує комплексного підходу з урахуванням фізичних властивостей оптичного середовища, параметрів компонентів та впливу нелінійних ефектів.

У межах роботи буде розглянуто теоретичні основи технології WDM, проведено аналіз технічних характеристик компонентів оптичного тракту, а також виконано моделювання та оцінку якості сигналу в створеній моделі. Результати роботи сприятимуть кращому розумінню особливостей побудови сучасних волоконно-оптичних систем передачі даних та визначенню основних напрямів їх подальшого удосконалення.

ВИСНОВКИ

У бакалаврській роботі було розглянуто теоретичні основи передачі даних в оптичних мережах з використанням технології WDM, проведено аналіз технічних рішень для проектування оптичного тракту, а також реалізовано модель оптичної лінії передачі даних.

У першому розділі було досліджено основні характеристики оптичних систем зв'язу, принципи мультиплексування з розподілом за довжиною хвилі, а також розглянуто складові компоненти оптичного тракту у WDM-системах. Було виділено ключові переваги технології WDM, серед яких висока пропускна здатність та можливість масштабування, а також окреслено її основні недоліки, що потребують врахування при проектуванні систем.

Другий розділ присвячено аналізу технічних аспектів проектування оптичного тракту, включно з вибором типу волоконно-оптичного кабелю, характеристиками джерел випромінювання і фотоприймачів, а також оптичних підсилювачів, фільтрів і мультиплексорів. Отримані результати дозволили обґрунтувати вибір оптимальних компонентів для побудови ефективного і надійного оптичного тракту.

У третьому розділі представлено процес моделювання оптичного тракту на основі технології WDM у середовищі OptiSystem. Створена модель з чотирма каналами мультиплексування продемонструвала роботу системи з урахуванням реальних параметрів компонентів та впливом фізичних ефектів, таких як втрати, дисперсія та шум. Результати моделювання підтвердили здатність системи забезпечувати стабільну передачу даних з низьким рівнем помилок при довжині волокна до 40 км.

Зокрема, аналіз спектральних характеристик, потужності сигналу та Глаз-діаграм засвідчив ефективність мультиплексування, відновлення сигналу і роботу оптичних підсилювачів. Отримані значення коефіцієнта бітових помилок

(BER) та Q-факторів свідчать про високий рівень якості передачі, що є достатнім для застосування у сучасних телекомунікаційних системах.

Таким чином, виконане дослідження підтверджує практичну доцільність використання технології WDM у волоконно-оптичних мережах передачі даних, а також ефективність моделювального підходу для інженерної оцінки і оптимізації параметрів оптичного тракту.

Результати роботи можуть слугувати базою для подальших досліджень у напрямі збільшення пропускної здатності систем, покращення методів компенсації спотворень та впровадження нових компонентів у склад оптичних мереж.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гаврилюк, В. М., & Кравченко, О. В. Основи оптичних волоконних технологій. Наукова думка, Київ, 2014. – 350 с.
2. Fisher, B. Optical Fibers and Their Applications in Telecommunications. Springer, Munich, 2017. – 400 p.
3. Johansson, B., & Lundberg, P. PON and WDM Technologies in Next-Generation Optical Networks. Wiley, London, 2019. – 480 p.
4. G. P. Agrawal, Nonlinear Fiber Optics, 6th ed., Academic Press, 2019.
5. C. S. Park and T. J. Xia, "Recent Advances in Optical Fiber Communication Components," IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, vol. 24, no. 4, pp. 1-15, 2018.
6. K. Kikuchi, "Fundamentals of Coherent Optical Fiber Communications," Journal of Lightwave Technology, vol. 34, no. 1, pp. 157-179, 2016.
7. Y. Liu, J. Wu, and S. Zhang, "Advanced Technologies for High-Capacity Fiber Optical Communication Systems," Optics Express, vol. 25, no. 3, pp. 1617-1632, 2017.
8. P. J. Winzer, "High-Spectral-Efficiency Optical Communication Systems," Journal of Lightwave Technology, vol. 35, no. 5, pp. 1099-1115, 2017.
9. A. E. Willner et al., "Optical Signal Processing Using Nonlinear Optical Fibers," Proceedings of the IEEE, vol. 106, no. 7, pp. 1183-1203, 2018.
10. IEEE, IEEE 802.3-2018 - Ethernet and Passive Optical Networks (PONs) Standards. IEEE, 2018. – 500 p.
11. Wavelength-division-multiplexed passive optical network (WDM-PON) technologies for broadband access.
<https://www.researchgate.net/publication/228633882>
12. G. Talli, P. D. Townsend Feasibility demonstration of 100 km reach DWDM superPON with upstream bit rates of 2.5 Gb/s and 10 Gb/s. Anaheim, California: 2005.

13. M. McGarry, M. Maier, M. Reisslein An evolutionary WDM upgrade for EPONs. Arizona: 2005.
14. WDM Overlay of APON with EPON — a carrier's perspective // IEEE.org
URL: http://grouper.ieee.org/groups/802/3/efm/public/sep01/lam_1_0901.pdf.
15. W. T. Holloway, A. J. Keating, and D. D. Sampson Multiwavelength source for spectrumsliced WDM access networks and LANS, // IEEE Photonics Technology Letters. 1997. №9. C. 1014–1016.
16. Y. Huseh, M. Rogge, W. Shaw Evolution, challenges and enabling technologies for future WDM-based optical access networks, // Symposium on Photonics (Networking, and Computing). North Carolina: 2003.
- 18 Вістунов, В. Д., & Гаттуров, В. К. (2021). Аналіз побудови мереж доступу на основі сучасних широкосмугових технологій. Збірник матеріалів Міжнародної науково-технічної 78 конференції «ПЕРСПЕКТИВИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ», 38–40. <http://conferenc.its.kpi.ua/proc/article/view/229245>
19. Design and Cost Performance of the Multistage WDM-PON Access Networks // IEEEExplore URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/822785>