

УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Факультет «Інформаційно-керуючі системи та технології»

Кафедра «Транспортний зв'язок»

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломної роботи магістра

на тему:

**ДОСЛІДЖЕННЯ ТРАНСПОРТНОГО СЕГМЕНТУ МОБІЛЬНИХ МЕРЕЖ 5
ПОКОЛІННЯ (5G)**

МРА 02.26.214.01.ПЗ

Виконав:

студент групи 214-КМТ-Д24

спеціальності 273 «Залізничний транспорт»

Освітньої програми «Комп'ютерні

мережеві технології» (роботу виконано

самостійно відповідно до принципів

академічної доброчесності)



Владислав ГОРБАНЬ

Керівник:

доцент кафедри, канд. техн. наук

Сергій ІНДИК

Рецензент:

доцент кафедри АТ, PhD, доцент

Олена ЩЕБЛИКІНА

Харків – 2026 р.

АНОТАЦІЯ

Актуальність роботи. Стрімкий розвиток мобільних мереж п'ятого покоління (5G) зумовлює зростання вимог до транспортного сегменту мереж зв'язку, який забезпечує передавання даних між радіодоступом та ядром мережі. Підтримка високих швидкостей передавання даних, наднизьких затримок, високої надійності та масштабованості робить транспортний сегмент одним із ключових елементів архітектури 5G. Особливої актуальності набуває застосування оптичних технологій передачі, які здатні забезпечити необхідні технічні характеристики для реалізації сервісів eMBB, URLLC та mMTC. У зв'язку з цим дослідження принципів побудови, структури та параметрів транспортного сегменту мобільних мереж 5G є важливим науково-практичним завданням.

Ключові слова: 5G, транспортний сегмент, оптичні мережі, fronthaul, midhaul, backhaul, волоконно-оптичні лінії зв'язку, пропускна здатність, затримка, мобільні мережі.

Об'єкт дослідження: транспортний сегмент мобільних мереж п'ятого покоління.

Мета роботи: дослідження архітектури та характеристик транспортного сегменту мобільних мереж 5G з урахуванням вимог до пропускної здатності, затримки та надійності, а також аналіз можливостей застосування оптичної інфраструктури для його реалізації.

Структура та обсяг роботи: робота викладена у вигляді пояснювальної записки, складається зі вступу, трьох розділів, висновків, переліку умовних позначень та списку використаних джерел. У роботі наведено 13 рисунків, 11 таблиць та 19 джерел літератури.

У першому розділі розглянуто теоретичні основи оптичних комунікаційних систем, принципи побудови волоконно-оптичних ліній зв'язку та їх основні параметри.



У **другому розділі** проаналізовано архітектуру мобільних мереж п'ятого покоління з акцентом на транспортний сегмент, розглянуто структури fronthaul, midhaul та backhaul, а також вимоги, що висуваються до них у мережах 5G.

У **третьому розділі** виконано дослідження параметрів транспортної мережі 5G, проведено аналіз пропускну здатності та затримок, а також обґрунтовано доцільність використання оптичної інфраструктури для забезпечення вимог стандарту 5G.

Методи дослідження: теоретичний аналіз, системний підхід, аналіз технічних характеристик, узагальнення нормативної та науково-технічної інформації.

Рекомендації щодо використання та результати впровадження. Отримані результати можуть бути використані під час проєктування та модернізації транспортних сегментів мобільних мереж 5G, а також у навчальному процесі при підготовці фахівців у галузі телекомунікацій та мобільних мереж.



ABSTRACT

Relevance of the work. The rapid development of fifth-generation (5G) mobile networks leads to increasing requirements for the transport segment of communication networks, which ensures data transmission between the radio access network and the core network. Support for high data rates, ultra-low latency, high reliability, and scalability makes the transport segment one of the key elements of the 5G architecture. Of particular relevance is the use of optical transmission technologies, which are capable of providing the technical characteristics required for the implementation of eMBB, URLLC, and mMTC services. In this context, the study of the principles of construction, structure, and parameters of the transport segment of 5G mobile networks is an important scientific and practical task.

Keywords: 5G, TRANSPORT SEGMENT, OPTICAL NETWORKS, FRONTHAUL, MIDHAUL, BACKHAUL, FIBER-OPTIC COMMUNICATION LINES, BANDWIDTH, LATENCY, MOBILE NETWORKS.

Object of the study the transport segment of fifth-generation mobile networks.

The purpose of the research: to investigate the architecture and characteristics of the transport segment of 5G mobile networks, taking into account requirements for bandwidth, latency, and reliability, as well as to analyze the possibilities of using optical infrastructure for its implementation.

Structure and scope of the work: the work is presented in the form of an explanatory report and consists of an introduction, three chapters, conclusions, a list of abbreviations, and a list of references. The work contains 13 figures, 11 tables, and 19 literature sources.

In the **first chapter**, the theoretical foundations of optical communication systems, the principles of constructing fiber-optic communication lines, and their main parameters are considered.

In the **second chapter**, the architecture of fifth-generation mobile networks is analyzed with an emphasis on the transport segment; the fronthaul, midhaul, and



backhaul structures are examined, as well as the requirements imposed on them in 5G networks.

In the **third chapter**, the parameters of the 5G transport network are investigated, an analysis of bandwidth and latency is carried out, and the feasibility of using optical infrastructure to meet the requirements of the 5G standard is substantiated. Research theoretical analysis, network modeling, network device configuration, and empirical testing.

Research methods: theoretical analysis, systems approach, analysis of technical characteristics, and generalization of regulatory and scientific-technical information.

Recommendations for use and implementation results. The obtained results can be used in the design and modernization of transport segments of 5G mobile networks, as well as in the educational process for training specialists in the field of telecommunications and mobile networks.



ЗМІСТ

Перелік умовних позначень	9
Вступ	11
1 Теоретичні основи оптичних комунікаційних систем	13
1.1 Оптичне волокно	13
1.2 Оптичні передавачі	15
1.3 Оптичні детектори	16
1.4 Передавальні властивості оптичних волокон	16
1.5 Довжини хвиль	18
1.6 Типи оптичних волокон	21
1.7 Формати модуляції	26
2 Особливості організації мереж 4G і 5G	32
2.1 Технології передавання	34
2.2 Архітектура базової станції	36
2.3 Базовий блок (BBU)	39
2.4 Віддалений радіоблок (RRU)	40
2.5 Оптична інфраструктура в 5G	40
2.6 eCPRI	42
2.7 Методи організації оптичної мережі	43
3 Проектування оптичної інфраструктури для 5G	47
3.1 Топологія	49
3.2 Методика моделювання	52
3.3 Моделювання	53
Висновки	62
Список використаних джерел	64



СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Filka, M. Optoelektronika pro telekomunikace a informatiku. 2nd ed. Brno: Prof. Ing. Miloslav Filka, CSc. a kol., 2017. ISBN 978-80-86785-14-1.
2. Bubník, L., Klajbl, J., Mazuch, P. Optoelektrotechnika. Code Creator, 2015. ISBN MSMT-7521/2015-40.
3. Turkiewicz, J. P. Cost-effective $n \times 25$ Gbit/s DWDM transmission in the 1310 nm wavelength domain. Optical Fiber Technology, 2011, pp. 179–184. ISSN 1068-5200.
4. Boiyo, D. K., Kipnoo, E. K. R., Gibbon, T. B. An integrated OADM based on Bragg trans-reflectance in 1550 nm VCSEL optical fibre access networks. Optics Communications, 2019, pp. 478–482. ISSN 0030-4026.
5. ITU-T. G.652: Characteristics of a single-mode optical fibre and cable. Geneva, 2006.
6. ITU-T. G.653: Characteristics of a single-mode optical fibre and cable. Geneva, 2010.
7. ITU-T. G.654: Characteristics of a single-mode optical fibre and cable. Geneva, 2020.
8. ITU-T. G.655: Characteristics of a single-mode optical fibre and cable. Geneva, 2010.
9. ITU-T. G.656: Characteristics of a single-mode optical fibre and cable. Geneva, 2011.
10. ITU-T. G.657: Characteristics of a single-mode optical fibre and cable. Geneva, 2017.
11. Kaur, A., Sheetal, A., Miglani, R. Impact of optical modulation formats on 10G/2.5G asymmetric XG-PON system. Optik, vol. 149, 2017, pp. 351–358. ISSN 0030-4026.



12. Kim, J.-W., Lee, C.-H. Modulation format identification of square and non-square M-QAM signals based on amplitude variance and OSNR. *Optics Communications*, vol. 474, 2020, 126084. ISSN 0030-4018.
13. Renaudier, J., Charlet, G., Bertran-Pardo, O., Mardoyan, H., Tran, P., Salsi, M., Bigo, S. Transmission of 100 Gb/s coherent PDM-QPSK over 16×100 km of standard fiber with erbium amplifiers. *Optics Express*, vol. 17, no. 7, 2009, pp. 5112–5117.
14. Quazi, A., Gupta, S. K., Rawat, P. Emerging trends in 5G telecommunications. *IUP Journal of Telecommunications*, vol. 12, no. 2, 2020, pp. 7–17. ISSN 0975-5551.
15. Giuntini, M., Grazioso, P., Matera, F., Valenti, A., Attanasio, V., Di Bartolo, S., Nastri, E. Enabling optical network test bed for 5G tests. *Fiber*, vol. 36, no. 1–2, 2017, pp. 3–24. ISSN 0146-8030.
16. Belkin, M. E., Bakhvalova, T. N., Sigov, A. S. Design principles of 5G NR RoF-based fiber-wireless access network. In: *Recent Trends in Communication Networks*, 2019.
17. Allen, J. What is 5G and is it for me? *IEEE Consumer Electronics Magazine*, vol. 34, no. 2, 2020, pp. 63–66. ISSN 0891-6330.
18. Lagkas, T., Klonidis, D., Sarigiannidis, P., Tomkos, I. 5G/NGPON evolution and convergence: developing on spatial multiplexing of optical fiber links for 5G infrastructures. *Fiber and Integrated Optics*, vol. 39, no. 1, 2020, pp. 4–23.
19. Hardesty, L. What is eCPRI, and why is it important for 5G and open vRAN, 2019.

