

УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЗАЛІЗНИЧНОГО
ТРАНСПОРТУ

Факультет «Інформаційно – керуючі системи та технології»

Кафедра «Транспортний зв'язок»

Пояснювальна записка

до дипломної роботи бакалавра

на тему:

**ДОСЛІДЖЕННЯ СУЧАСНИХ СИСТЕМ ЗАЛІЗНИЧНОГО
ТЕХНОЛОГІЧНОГО РАДІОЗВ'ЯЗКУ**

БРА 02.25.135.06ПЗ

Виконав:

студент групи 107-ТКРТ-Д22

спеціальності

172 «Телекомунікації та

радіотехніка»

освітньої програми «Телекомунікації

та радіотехніка» (роботу виконано

самостійно, відповідно до принципів

академічної доброчесності)



Серіло ПОНОМАРЕНКО

Керівник:

доцент кафедри, канд. техн. наук



Андрій ЄЛІЗАРЕНКО

Рецензент:

доцент кафедри автоматики та

комп'ютерного телекерування рухом

поїздів, канд. техн. наук

Андрій ПРИЛИПКО

Харків – 2025

АНОТАЦІЯ

Актуальність роботи. Забезпечення безперервного та надійного зв'язку є критично важливим для сучасної інфраструктури залізничного транспорту, особливо в умовах інтенсифікації перевезень, підвищення вимог до безпеки та впровадження цифрових технологій управління рухом. У цьому контексті розгортання технологічних мереж радіозв'язку нового покоління (зокрема LTE-R та FRMCS) постає як ключовий елемент цифрової трансформації галузі. Актуальність теми зумовлена необхідністю оновлення морально застарілих аналогових систем та впровадження ефективних, стандартизованих підходів до проєктування, розрахунку й оптимізації цифрових систем зв'язку в залізничному секторі.

Ключові слова: РАДІОЗВ'ЯЗОК, LTE-R, FRMCS, ЗАЛІЗНИЧНИЙ ТРАНСПОРТ, ЦИФРОВА МЕРЕЖА, ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК, СТАНЦІЙНЕ ПОКРИТТЯ.

Об'єкт дослідження — технологічна система радіозв'язку, що використовується для оперативного та службового забезпечення на залізничному транспорті.

Метою роботи є аналіз, моделювання та оцінка доцільності впровадження цифрової мережі радіозв'язку LTE-R на визначеній ділянці залізничної інфраструктури з урахуванням технічних, енергетичних та економічних факторів. Основними завданнями стали вивчення сучасних стандартів, розрахунок параметрів зон обслуговування та навантаження в мережі, оцінка витрат і ефективності впровадження інноваційної радіосистеми.

Структура та обсяг роботи становить 70 сторінок друкованого тексту. Робота містить вступ, три розділи, висновки, список використаних джерел та додатки.



Розділи кваліфікаційної роботи:

У **першому розділі** розглянуто класифікацію систем радіозв'язку на залізничному транспорті, нормативно-правову та технічну базу їх проєктування й експлуатації, а також визначено основні вимоги до цифрових систем у контексті безпеки, масштабованості й ефективності.

У **другому розділі** здійснено порівняльний аналіз цифрових радіосистем (GSM-R, LTE-R, TETRA, FRMCS), зосереджено увагу на їх технічних характеристиках, перевагах, недоліках та практичних аспектах впровадження на українській залізниці.

Третій розділ присвячено практичному проєктуванню мережі на умовній ділянці залізниці з виконанням розрахунків зон обслуговування, навантаження, параметрів енергоспоживання, кількості базових станцій і витрат. Наведено техніко-економічне обґрунтування ефективності впровадження мережі LTE-R.

Методи дослідження. У роботі використано системний підхід, що включає аналіз нормативної бази, розрахунки радіопокриття, інженерне проєктування, використання методик енергетичного моделювання та економічного оцінювання на основі реальних параметрів обладнання.

Рекомендації щодо використання та результати впровадження. Запропоновані рішення можуть бути адаптовані до будь-якої регіональної філії залізниці в Україні. Впровадження цифрової системи LTE-R забезпечить зменшення затримок, підвищення ефективності управління рухом, зниження експлуатаційних витрат і інтеграцію з міжнародними транспортними системами.



ANNOTATION

Relevance of the study. Ensuring uninterrupted and reliable communication is critically important for modern railway transport infrastructure, especially amid increasing transportation intensity, higher safety standards, and the implementation of digital traffic management technologies. In this context, the deployment of next-generation technological radio communication networks (such as LTE-R and FRMCS) emerges as a key element of the digital transformation of the railway industry. The relevance of the topic is driven by the need to replace obsolete analog systems and to introduce efficient, standardized approaches to designing, calculating, and optimizing digital communication systems in the railway sector.

Keywords: RADIO COMMUNICATION, LTE-R, FRMCS, RAILWAY TRANSPORT, DIGITAL NETWORK, TECHNO-ECONOMIC ANALYSIS, STATION COVERAGE.

Object of the research — the technological radio communication system used for operational and service support in railway transport.

Purpose of the study is to analyze, model, and assess the feasibility of implementing a digital LTE-R radio network on a selected railway section, taking into account technical, energy, and economic factors. The main objectives include studying modern standards, calculating service area parameters and network load, estimating costs, and evaluating the efficiency of deploying an innovative radio system.

Structure and scope of the work: The thesis comprises 70 pages of printed text. It includes an introduction, three chapters, conclusions, a list of references, and appendices.

Structure of the qualification work:



The **first chapter** provides an overview of railway radio communication system classifications, the regulatory and technical framework for their design and operation, and defines key requirements for digital systems in terms of safety, scalability, and performance.

The **second chapter** presents a comparative analysis of digital radio systems (GSM-R, LTE-R, TETRA, FRMCS), highlighting their technical features, advantages, limitations, and practical aspects of implementation in the Ukrainian railway sector.

The **third chapter** focuses on practical network design for a selected railway section, including calculations of service coverage areas, network load, energy consumption parameters, base station requirements, and investment costs. It also provides a techno-economic justification of LTE-R implementation.

Research methods. The study applies a systems approach combining regulatory analysis, radio coverage calculations, engineering design, energy modeling techniques, and economic evaluation based on real equipment parameters.

Recommendations for application and implementation results. The proposed solutions can be adapted to any regional branch of Ukrainian Railways. The deployment of an LTE-R digital system will reduce delays, improve traffic management efficiency, lower operational costs, and support integration with international transportation systems.



ЗМІСТ

ВСТУП.....	10
1. ВИМОГИ ДО СУЧАСНИХ СИСТЕМ ТЕХНОЛОГІЧНОГО РАДІОЗВ'ЯЗКУ.....	12
1.1. Класифікація систем технологічного радіозв'язку на залізничному транспорті.....	12
1.2. Нормативно-технічна база проектування та експлуатації систем зв'язку.....	16
1.3. Основні вимоги до цифрових радіосистем для забезпечення безпеки й ефективності перевезень.....	24
2. АНАЛІЗ ЕКСПЛУАТАЦІЙНО-ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СУЧАСНИХ ЦИФРОВИХ СИСТЕМ ТЕХНОЛОГІЧНОГО РАДІОЗВ'ЯЗКУ.....	30
2.1. Огляд та технічні особливості цифрових систем (GSM-R, LTE-R, TETRA, FRMCS тощо).....	30
2.2. Порівняння систем за показниками: надійність, швидкодія, безпека, вартість, масштабованість.....	36
2.3. Проблеми впровадження й адаптації сучасних систем у залізничній галузі України.....	44
3. РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО ОРГАНІЗАЦІЇ КОМПЛЕКСУ МЕРЕЖ НА ДІЛЯНЦІ ЗАЛІЗНИЦІ.....	52
3.1. Вибір оптимального типу системи зв'язку для умов України.....	52
3.2. Проектування структури мережі технологічного радіозв'язку на визначеній ділянці.....	57
3.3. Розрахунок основних параметрів мережі та оцінка техніко-економічної ефективності проекту.....	62
ВИСНОВКИ.....	67
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	69



СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Державна адміністрація залізничного транспорту України. Правила організації та розрахунку мереж поїзного радіозв'язку. – Затверджено наказом Укрзалізниці від 09.06.2009 № 340-Ц. – К.: Транспорт України, 2009. – 123 с.
2. Єлізаренко А. А. Дослідження статистичних характеристик каналу з випромінюючим кабелем в тунелі метрополітену // Збірник наукових праць УкрДУЗТ. – Харків, 2006. – Вип. 78. – С. 157–165.
3. Єлізаренко А. О. Актуальні зміни в законодавстві України у зв'язку з набуттям чинності Закону України «Про електронні комунікації» // *Інформаційно-керуючі системи на транспорті*. – 2023. – № 2 (29). – С. 47–52. –
URL: <https://lib.kart.edu.ua/bitstream/123456789/24023/1/Yelizarenko.pdf> (дата звернення: 31.05.2025).
4. Закон України «Про електронні комунікації» від 16.12.2020 № 1089-IX.
URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1089-20> (дата звернення: 31.05.2025).
5. ПЕРСПЕКТИВИ СТВОРЕННЯ ЦИФРОВОЇ МЕРЕЖІ ДЛЯ ЗАЛІЗНИЦІ. // П'ятнадцята всеукраїнська практично-пізнавальна інтернет-конференція. – 2023. URL: <https://naukam.triada.in.ua/index.php/konferentsiji/45-p-yatnadtsyata-vseukrajinska-praktichno-piznavalna-internet-konferentsiya/293-perspektivi-stvorenniya-tsifrovoji-merezhi-dlya-zaliznitsi> (дата звернення: 31.05.2025).
6. План використання радіочастотного ресурсу України.
URL: <https://www.kmu.gov.ua/npas/39517235> (дата звернення: 31.05.2025).
7. Єлізаренко А.О., Єлізаренко І.О. Особливості впровадження сучасних цифрових радіотехнологій на мережах зв'язку залізниць



- [Електронний ресурс] // *ResearchGate*, 2018. –
Режимдоступу: https://www.researchgate.net/publication/323979063_Osoblivosti_vprovadzenna_sucasnih_cifrovih_radiotehnologij_na_merezah_zv%27azku_zaliznic. – Назва з екрана. – Дата звернення: 07.06.2025.
8. Постанова Кабінету Міністрів України від 14.05.2015 № 295 «Про внесення змін до Плану використання радіочастотного ресурсу України». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/295-2015-%D0%BF> (дата звернення: 31.05.2025).
9. Розділ III, частина I. Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сфері електронних комунікацій. URL: <https://nkek.gov.ua/static-objects/nkek/uploads/public/67a/b84/377/67ab8437759da831037158.pdf> (дата звернення: 31.05.2025).
10. ERA. On-Board FRMCS Functional Requirements Specification (TOBA-7510) V2.0, December 2024. URL: <https://www.era.europa.eu/sites/default/files/2024-12/frmcs%20toba%20frs%20%28toba-7510%29%20v2.pdf?t=1744010565> (дата звернення: 31.05.2025).
11. ETSI TS 102 933-1 V1.1.1 (2009-02). Railway Telecommunications; GSM-R Frequency Bands and Channel Arrangements. URL: https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102900_102999/10293301/01.01.01_60/ts_10293301v010101p.pdf (дата звернення: 31.05.2025).
12. ETSI TS 136 101 V11.17.0 (2016-09). LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) radio transmission and reception. URL: https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/136100_136199/136101/11.17.00_60/ts_136101v111700p.pdf (дата звернення: 31.05.2025).

13. Fraga-Lamas, P., Rodríguez-Piñeiro, J. A., García-Naya, J. A., Castedo, L. (2024). *Unleashing the Potential of LTE for Next Generation Railway Communications*. arXiv preprint. URL: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2402.04479> (дата звернення: 07.06.2025).
14. Horbyk, R. (2022). “*The war phone*”: *mobile communication on the frontline in Eastern Ukraine*. *Digital War*, 3, 9–24. DOI: <https://doi.org/10.1057/s42984-022-00049-2>.

