

Український державний університет залізничного транспорту

Кафедра «Управління експлуатаційною роботою»

**УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОЇЗДІВ
ЛОКОМОТИВАМИ В УМОВАХ МІЖНАРОДНИХ ВАНТАЖНИХ
ПЕРЕВЕЗЕНЬ**

**Пояснювальна записка та розрахунки
до кваліфікаційної роботи**

УПЗПЛ.300.00.00.000 ПЗ

Розробив здобувач групи 214 – ОМП – Д24
спеціальності 275/275.02 – Транспортні
технології (на залізничному транспорті)
(роботу виконано самостійно, відповідно до
принципів академічної доброчесності)

(підпис)  Микита РІСУНОВ

Керівник: доцент, канд. техн. наук

Лілія РИБАЛЬЧЕНКО

Рецензент: доцент, канд. техн. наук

Ганна ШАПОВАЛ

Український державний університет залізничного транспорту

Освітній рівень: магістр

Спеціальність 275 Транспортні технології

275.02 Транспортні технології (на залізничному транспорті)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри,
професор, д-р техн. наук

 Тетяна БУТЬКО

« 27 » жовтня 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Рісунову Микиті Віталійовичу

1. Тема проекту (роботи) «Удосконалення процесу забезпечення поїздів локомотивами в умовах міжнародних вантажних перевезень»

Керівник Рибальченко Лілія Ігорівна, канд. техн. наук, доцент
затверджена розпорядженням по факультету управління процесами перевезень
від 24 жовтня 2025 року №19/25

2 Строк подання здобувачем роботи 12 січня 2026 року

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Техніко-експлуатаційна характеристика напрямку Дарниця –Мостиська ІІ, норми маси поїздів по дільницях, статистичні дані з роботи дільниць, економічні показники, схеми обслуговування локомотивами дільниць, схеми роботи локомотивних бригад.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ. 1 Планування та управління роботою залізничного полігону з використанням міжнародного досвіду 2 Аналіз динаміки перевезення вантажів залізничним транспортом в Україні та Європі 3 Удосконалення технології прикріплення тягових ресурсів до ниток при просуванні поїздів у напрямку Україна - Європа 4 Визначення економічної доцільності експлуатаційної роботи дирекції залізничних перевезень при маршрутизації перевезень на напрямку Україна - Європа Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
1 Мета та задачі дослідження 2 Схематичне представлення глибини інформації для прогнозування 3 Аналіз динаміки перевезення вантажів залізничним транспортом в Україні 4 Аналіз динаміки перевезення вантажів залізницями ЄС 5 Постановка задачі удосконалення обслуговування локомотивами та поїздів 6 Визначення характеристики статистичних величин при плануванні

6 Консультанти окремих розділів

Розділ	Прізвище, ініціали, посада та науковий ступінь консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Економічне обґрунтування запропонованого проектного рішення	Євгеній БАЛАКА, доцент, канд. економ. наук		

7 Дата видачі завдання 30 вересня 2024р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів	Строк виконання етапів	Примітка
Вступ	10.10.2025	виконано
1 Планування та управління роботою залізничного полігону з використанням міжнародного досвіду	12.11.2025	виконано
2 Аналіз динаміки перевезення вантажів залізничним транспортом в Україні та Європі	22.11.2025	виконано
3 Удосконалення технології прикріплення тягових ресурсів до ниток при просуванні поїздів у напрямку Україна - Європа	15.12.2025	виконано
4 Визначення економічної доцільності експлуатаційної роботи дирекції залізничних перевезень при маршрутизації перевезень на напрямку Україна - Європа	29.12.2025	виконано
Висновки	02.01.2026	виконано
Оформлення роботи	12.01.2026	виконано

Здобувач


(підпис)

Микита РІСУНОВ
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)


(підпис)

Лілія РИБАЛЬЧЕНКО
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Дана кваліфікаційна робота включає в себе 15 слайдів презентації, 91 аркушів пояснювальної записки формату А4, що включає 26 рисунків, 4 таблиці, 27 літературних джерел.

Ключові слова: планування руху поїздів; оборот локомотивів; локомотивні бригади; автоматизовані системи управління; прогнозна аналітика; маршрутні поїзди.

У представленій роботі здійснено комплексне дослідження сучасних підходів до планування руху поїздів, організації роботи локомотивів та локомотивних бригад, а також управління транспортними потоками в умовах трансформації європейської залізничної логістики. Особлива увага приділена аналізу світового досвіду, оцінці впливу геополітичних подій на вантажні перевезення та обґрунтуванню ефективності впровадження нових організаційно-технологічних рішень для напрямку Україна – Європа.

Встановлено, що провідною тенденцією міжнародних залізничних систем є глибока автоматизація, інтеграція інформаційних платформ, використання прогновної аналітики та створення єдиного цифрового простору управління перевізним процесом. Показано, що з 2022 року обсяги залізничних перевезень в Україні скоротилися приблизно удвічі, тоді як країни-сусіди — Польща, Словаччина, Румунія — посилили роль ключових транзитних хабів. У роботі сформульовано висновок, що європейська логістична система, зберігаючи загальну стійкість, зазнала суттєвого перерозподілу маршрутів, що матиме довгострокові наслідки для транспортної політики країн регіону.

У практичній частині дослідження розроблено дві моделі управління перевізним процесом, а також запропоновано підхід до моделювання транспортних потоків, який дає змогу прогнозувати потребу в ресурсах — зокрема в локомотивах і локомотивних бригадах — залежно від зміни інтенсивності перевезень. Окрему увагу приділено оптимізації процесів планування роботи бригад шляхом упровадження гнучких та адаптивних алгоритмів, що враховують сезонність, нерівномірність навантаження та технічний стан локомотивного парку.

ABSTRACT

This qualification work includes 15 presentation slides, 91 pages of explanatory notes in A4 format, including 26 figures, 4 tables, and 27 references.

Keywords: train traffic planning; locomotive turnover; locomotive crews; automated control systems; predictive analytics; route trains.

This work presents a comprehensive study of modern approaches to train traffic planning, the organisation of the work of locomotives and locomotive crews, and the management of transport flows in the context of the transformation of European railway logistics. Particular attention is paid to the analysis of global experience, the assessment of the impact of geopolitical events on freight transport, and the justification of the effectiveness of implementing new organisational and technological solutions for the Ukraine-Europe route.

It has been established that the leading trend in international railway systems is deep automation, integration of information platforms, use of predictive analytics, and creation of a unified digital space for transport process management. It has been shown that since 2022, the volume of rail transport in Ukraine has decreased by about half, while neighbouring countries — Poland, Slovakia, Romania — have strengthened their role as key transit hubs. The paper concludes that the European logistics system, while remaining generally stable, has undergone a significant redistribution of routes, which will have long-term consequences for the transport policies of countries in the region.

The practical part of the study develops two models for managing the transport process and proposes an approach to modelling transport flows that makes it possible to forecast resource requirements — in particular, locomotives and locomotive crews — depending on changes in transport intensity. Particular attention is paid to optimising crew planning processes by introducing flexible and adaptive algorithms that take into account seasonality, uneven loads and the technical condition of the locomotive fleet.

Зміст

Вступ	8
1 Планування та управління роботою залізничного полігону з використанням міжнародного досвіду	11
1.1 Значення планування у роботі залізниць	11
1.2 Рівні планування руху поїздів	13
1.3 Процес забезпечення поїздів локомотивами	18
1.4 Організаційна структура управління	22
1.5 Автоматизація та цифрові технології у плануванні	24
1.6 Закордонний досвід планування перевізного процесу на залізницях	26
1.7 Проблеми та виклики сучасного планування	29
2 Аналіз динаміки перевезення вантажів залізничним транспортом в Україні та Європі	32
3 Удосконалення технології прикріплення тягових ресурсів до ниток при просуванні поїздів у напрямку Україна - Європа	47
3.1 Планування розкладу поїздів, управління наявним тяговим ресурсом відповідно до встановленої потреби	47
3.2 Застосування методу оптимального сітьового потоку для рішення задачі підбирання локомотивів для вантажних поїздів	55
3.3 Автоматизація планування утримання тягових ресурсів на встановлену потребу для забезпечення перевізного процесу	68
4 Визначення економічної доцільності експлуатаційної роботи залізничного полігону при маршрутизації перевезень на напрямку Україна – Європа	80

					УПЗПЛ.300.00.00.000 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Удосконалення процесу забезпечення поїздів локомотивами в умовах міжнародних вантажних перевезень	Літ.	Арк.	Акрушів
Розроб.	Рісунов			09.01		i		91
Перевір.	Рибальченко			09.01				
Н. Контр.	Малахова			09.01		УкрДУЗТ		
Затв.	Бутько			09.01				

4.1 Вихідні дані для визначення економічного ефекту	80
4.2 Визначення експлуатаційних витрат запропонованих заходів	81
4.3 Визначення економічного ефекту від раціоналізації вантажних поїздів з використанням штовхача	82
Висновки	87
Список використаних джерел	89

					УЗПЛО.300.00.00.000 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вступ

Актуальність дослідження. Система тягового забезпечення — це складна структура, що поєднує вибір вагових норм поїздів, типів локомотивів, планів формування поїздів, схем роботи локомотивних бригад та технічного обслуговування.

Зміна будь-якого параметра (наприклад, маси поїзда) впливає на інші — кількість локомотивів, швидкість руху, використання бригад, пропускну спроможність та інше. Тому оптимізацію потрібно проводити комплексно, враховуючи техніко-економічні показники. Оптимальні параметри — це такі, що забезпечують виконання перевезень із мінімальними витратами за умов наявного технічного рівня.

Проблема оптимізації є багатопараметричною: враховуються серії локомотивів, вагові норми, системи тяги (одиначна, подвійна, кратна), схеми роботи бригад, технології пропуску поїздів, розташування депо й пунктів обслуговування. Через велику кількість варіантів завдання розв'язують методом декомпозиції — послідовного вирішення підзадач:

- вибір меж і довжин дільниць обертання локомотивів;
- встановлення маси поїздів;
- вибір плану формування поїздів;
- оптимізація дільниць роботи локомотивних бригад;
- розвиток вагонного господарства;
- розвиток локомотивного господарства.

Основною метою моделювання є мінімізація сумарних річних витрат на перевезення, утримання локомотивів, бригад, станцій, ремонтних баз і паливо-енергетичні ресурси.

В останні роки у зв'язку з розвитком міжнародної торгівлі, а також закриттям (обмеженням у роботі) українських портів зросли розміри руху вантажних поїздів, що прямують на значну відстань між Україною і країнами Європи. З початком таких перевезень з'явилися рекомендації щодо впровадження в практику спеціально сформованих вантажних поїздів і здійснення прискореного

їх прокладання на великі відстані. Вантажні поїзди, що прямують в напрямку Європи, пропонується прокладати за спеціальними нитками графіка.

Таким чином, *метою даної роботи* є удосконалення системи планування забезпечення поїздів локомотивами при організації перевезень вантажів у міжнародному сполученні.

Реалізація цієї мети потребує постановки та вирішення таких основних задач:

- дослідження світового досвіду з питання оперативного планування роботою залізниць і управління перевезеннями;
- аналіз показників експлуатаційної роботи залізниць Європи та АТ «Укрзалізниця»;
- дослідження специфіки сфери залізничних перевезень та формування обмежень, пов'язаних із характерними особливостями перевізного процесу.
- розробка математичної моделі системи планування змісту тягових ресурсів на встановлену потребу;
- розробка алгоритмів пошуку ефективного розкладу руху та забезпечення поїздів локомотивами, а також їх адаптація відповідно до знайдених обмежень досліджуваного завдання;
- техніко – економічні розрахунки визначення тягових пліч та ділянок обслуговування локомотивів при зміні напрямку вагонопотоків.

Об'єктом дослідження є управління локомотивними парками та бригадами для забезпечення стійкої роботи залізничного транспорту з перевезень вантажів.

Предметом дослідження - планування руху поїздів та прикріплення до них тягових ресурсів на полігоні у напрямку західних кордонів України.

Елементами наукової новизни у роботі є:

- визначення особливостей організації тягового забезпечення на полігоні мережі залізниць, розроблення процедури формалізації завдань планування утримання тягових ресурсів на встановлену потребу для забезпечення перевізного процесу необхідною кількістю тягового рухомого складу (ТПС) та локомотивних бригад (ЛБ) та побудови ефективного розкладу руху поїздів та прикріплених до них тягових ресурсів;

- формалізація завдання оптимізації планування розкладу вантажоперевезень як завдання пошуку екстремуму цільової функції;
- пропозиції щодо методу пошуку найкращого розкладу руху та забезпечення поїздів тяговими ресурсами відповідно до обмежень поставленого завдання.

Теоретична значимість роботи полягає в: дослідженні обмежень та адаптації алгоритмів оптимізації до особливостей колійної інфраструктури та специфіки залізничної області; теоретичному обґрунтуванні надійності розробленої системи прогнозу утримання тягових ресурсів; вирішення проблеми побудови СППР у сфері управління транспортними системами, здатної враховувати обмеження даної галузі та видавати ефективне рішення щодо управління тяговими ресурсами в режимі реального часу.

Публікації. За темою роботи опубліковано тези на 85-ій студентській науково – технічній конференції УкрДУЗТ [1].

Висновки

Проведена робота дозволяє зробити такі висновки.

1 У роботі розглянуто світовий досвід організації планування руху поїздів і видачі локомотивів, який демонструє різні підходи залежно від технічного рівня залізничної інфраструктури, національних пріоритетів і специфіки перевезень. Проаналізовано моделі Японії, Німеччини, США, Франції та України. Показано, що ключовою тенденцією розвинених залізниць є глибока автоматизація, інтеграція інформаційних систем, використання прогнозної аналітики та комплексне моделювання перевізного процесу. У Японії повна цифровізація забезпечує рекордну точність руху, у Німеччині — багаторівневе планування та оптимізація обороту локомотивів, у США — логістично орієнтовані системи TMS і концепція *precision scheduled railroading*, у Франції — гнучке тактико-оперативне управління в системі SIRIUS. Україна перебуває в процесі переходу до сучасних автоматизованих платформ і цифровізації планування. Узагальнення міжнародної практики свідчить, що ефективність залізничного управління визначається створенням єдиного інформаційного простору та впровадженням технологій реального часу, які підвищують точність, надійність і економічність перевізного процесу.

2 Війна в Україні з 2022 року стала ключовим фактором, який радикально змінив напрямки залізничних вантажопотоків у Європі. Обсяги перевезень в Україні скоротилися приблизно удвічі, тоді як сусідні держави змогли частково компенсувати ці втрати за рахунок зростання транзиту. Польща, Словаччина та Румунія зміцнили позиції головних логістичних центрів Східної Європи. У країнах Західної та Центральної Європи ситуація залишалася відносно стабільною, а Німеччина зберегла статус лідера за обсягами вантажоперевезень.

У 2023–2024 роках у більшості держав ЄС спостерігалось падіння обсягів залізничних перевезень. Найбільше скорочення зафіксовано в Латвії, Естонії, Люксембурзі, Румунії та Ірландії. Для балтійських країн спад переважно пов'язаний із припиненням перевезень з Росією після початку її агресії проти України.

Отже, в період 2018–2024 років європейська залізнична логістика продемонструвала загальну стійкість, але водночас зазнала помітної трансформації маршрутів. Події в Україні стали поштовхом до перерозподілу вантажних потоків, що, ймовірно, впливатиме на транспортну політику та інфраструктурне планування ще тривалий час.

3 У ході роботи було розроблено дві різні системи управління перевізним процесом та запропоновано підхід моделювання транспортних потоків, що дозволяє прогнозувати необхідну для перевізного процесу кількість ресурсів (локомотивів і локомотивних бригад).

4 З метою подальшого вдосконалення організації роботи локомотивних бригад доцільно впроваджувати гнучкі моделі планування, що враховують сезонні коливання обсягів перевезень і технічний стан локомотивного парку. Використання адаптивних алгоритмів управління, заснованих на прогнозуванні поточних навантажень, дозволить більш ефективно розподіляти персонал між ділянками руху. Крім того, інтеграція систем обліку робочого часу з кадровими базами даних і модулем нарахування заробітної плати забезпечить прозорість у визначенні продуктивності праці та стимулюватиме якісне виконання обов'язків.

5 У контексті цифровізації залізничного транспорту зростає роль аналітичних систем моніторингу роботи локомотивних бригад. Такі системи дозволяють відстежувати не лише фактичний час роботи, а й технічні показники керування локомотивом, витрати енергії, дотримання швидкісних режимів та ефективність гальмування.

6. Зроблені розрахунки доводять доцільність пропуску маршрутних поїздів на напрямку Україна - Європа. Економічний ефект від впровадження запропонованих заходів вже на перший рік експлуатації складе понад 22207 тис. грн. на рік.

Список використаних джерел

- 1 Пісунов М. Удосконалення процесу забезпечення поїздів локомотивами в умовах міжнародних вантажних перевезень. *Тези доповідей 85 Студентської науково-технічної конференції*. м. Харків, 10-11 грудня 2025 р. С. 409–410.
- 2 Pedro José et all. 50 years of OR in railway timetabling and rolling stock planning. / Pedro José Correia Duarte, Stéphane Dauzère-Pérès, Dennis Huisman, Carlo Mannino, Giorgio Sartor, Norman Weik, Philipp Widmann. *EURO Journal on Transportation and Logistics*. Volume 14, 2025, 100155. <https://doi.org/10.1016/j.ejtl.2025.100155>.
- 3 Valentina Cacchiani et all. Railway Rolling Stock Planning: Robustness Against Large Disruptions/ Valentina Cacchiani, Alberto Caprara, Laura Galli, Leo Kroon, Gábor Maróti, Paolo Toth. *Transportation Science*. Vol. 46, No. 2. 22 Dec 2011. <https://doi.org/10.1287/trsc.1110.0388>.
- 4 Wang, Y.; Zhu, S.; Li, S.; Yang, L.; De Schutter, B. Hierarchical model predictive control for on-line high-speed railway delay management and train control in a dynamic operations environment. *IEEE Trans. Control. Syst. Technol.* 2022, 30, 2344–2359. [doi: 10.1109/TCST.2022.3140805](https://doi.org/10.1109/TCST.2022.3140805).
- 5 Bernardo Martin-Iradi, Stefan Ropke. A column-generation-based matheuristic for periodic and symmetric train timetabling with integrated passenger routing. *European Journal of Operational Research*. Volume 297, Issue 2, 1 March 2022, Pages 511-531. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2021.04.041>.
- 6 Fang W. A Survey on Problem Models and Solution Approaches to Rescheduling in Railway Networks. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* ISSN: Volume: 16. Pages: 2997 – 3016. <https://doi.org/10.1109/TITS.2015.2446985>.
- 7 Alberto Caprara. Timetabling and assignment problems in railway planning and integer multicommodity flow. *Networks and an International journal*. Research article. April 2015. <https://doi.org/10.1002/net.21611>.
- 8 Shumpei Kubosawa et all. Railway Operation Rescheduling System via Dynamic Simulation and Reinforcement Learning / Shumpei Kubosawa, Takashi Onishi, Makoto Sakahara, Yoshimasa Tsuruoka. *Computer Science. Artificial Intelligence*. 17 Jan 2022. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2201.06276>.

- 9 EUROSTAT. Statistics Explained. Web site. URL: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Railway freight transport statistics](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Railway_freight_transport_statistics) (data of access 10.10.2025).
- 10 Zhongyong C. Past, Present and Future Development of China's Railways // *Japan Railway & Transport Review*. No. 11. P.18–23.
- 11 Інструкція зі складання графіка руху поїздів на залізницях України: затв. наказом Укрзалізниці від 05.04.2002 № 170-Ц. Київ : Транспортю2001. 86 с.
- 12 Kuznetsov, N.A., Minashina, I.K., Paschenko, F.F. et al. Optimization Algorithms in Scheduling Problems of the Rail Transport. *Journal of Communications Technology and Electronics*. 2015. Vol. 60. No. 6. PP. 637–646.
- 13 Piu, F., Speranza, M.G. The locomotive assignment problem: a survey on optimization models. *Intern. Transactions in Operational Res.* 2014. Vol. 24, No. 3. P. 327–352.
- 14 Matyukhin, V.G., Shabunin, A.B., Nemtsov, E.F. Traction resources management at Eastern operating domain. *Locomotiv*. 2017. No. 1(721). P. 8–9.
- 15 Noori, S., Ghannadpour, S.F. Locomotive assignment problem with train precedence using genetic algorithm. // *Journal of Industrial Eng. Intern.* 2012. Vol. 8(9). <https://doi.org/10.1186/>. 2251-712. P 8-9.
- 16 Zhilyakova, LYu., Kuznetsov, N.A., Matyukhin, V.G. et al. Locomotive assignment graph model for freight traffic on linear section of railway. The problem of finding a maximal independent schedule coverage. *Control Sciences*. 2018. No 3. P. 65–75.
- 17 Gainanov, D.N., Kibzun, A.I., Rasskazova, V.A. Theoretical-graph algorithm in the problem on the assignments and transportations of locomotives. *Comput. and Inform. Technology Bullet.* 2017. No. 5. P. 51–56.
- 18 Forbes, M.A., Holt, J.N., Watts, A.M. Exact solution of locomotive scheduling problems. *Journal of the Operational Res. Soc.* 1991. Vol. 42, No. 10. P. 825—831.
- 19 Noble, D.H., Al-Amin, M., Mills, R.G.J. Production of locomotive rosters for a multi-class multi-locomotive problem // *Journal of the Operational Res. Soc.* 2001. Vol. 52, No 11. P. 1191–1200.
- 20 Ahuja, R.K., Liu, J., Orlin, J.B. et al. Solving real-life locomotive-scheduling problems. *Transportation Sci.* 2005. Vol. 36, No. 4. P. 503–517.

- 21 Vaidyanathan, B., Ahuja, R.K., Orlin, J.B. The locomotive routing problem. *Transportation Sci.* 2008. Vol. 42. P. 492—507.
- 22 Jaumard, B., Tian, H. Multi-column generation model for the locomotive assignment problem. *Proc. of 16th Workshop on Algorithmic Approaches for Transportation Modelling, Optimization, and Systems (ATMOS'16). Aarhus, Denmark*. Open-Access Ser. in Inform., 2016. P. 6:1—6:13. Available at: <http://www.dagstuhl.de/dagpub/978-3-95977-021-72016>.
- 23 Pacciarelli, D. Alternative graph formulation for solving complex factory-scheduling problems. *International Journal of Product. Res.* 2002. No. 40. P. 3641—3653. DOI:10.1080/00207540210136478.
- 24 Goldberg, A.V., Tarjan, R.E. A New approach to the maximum flow problem. *Proc. Of the 18th Annual ACM Symp. on Theory of Comput. New York, USA: ACM*. 1986. P. 136—146.
- 25 Goldberg, A.V., Tarjan, R.E. Solving minimum cost flow problems by successive approximation. *Proc. of the 19th Annual ACM Symp. on Theory of Computing. New York, USA: ACM*. 1987. P. 7—18. DOI:10.1145/28395.28397.
- 26 Bertsekas, D.P. Distributed asynchronous relaxation methods for linear network flow problems: Lab. for Inform. and Decision Syst. *Report LIDS-P-1606. Cambridge, MA, USA: Massachusetts Inst. of Technol.*. 1986. 26 p.
- 27 Балака Є.І., Зоріна О.І., Колесникова Н.М., Писаревський І.М. Оцінка економічної доцільності інвестицій в інноваційні проекти на транспорті : навч. посібник. Харків: УкрДАЗТ, 2005. 210 с.