

Український державний університет залізничного транспорту

Кафедра «Управління експлуатаційною роботою»

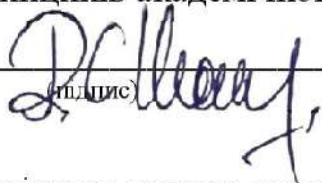
УДОСКОНАЛЕННЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОЇЗДІВ ЛОКОМОТИВАМИ ПРИ ОРГАНІЗАЦІЇ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ВАНТАЖІВ У МІЖНАРОДНОМУ СПОЛУЧЕННІ

Пояснювальна записка та розрахунки

до кваліфікаційної роботи

УЗПЛО.300.00.00.000 ПЗ

Розробив здобувач групи 211 – ТТ – 323
спеціальності 275/275.02 – Транспортні
технології (на залізничному транспорті)
(роботу виконано самостійно, відповідно до
принципів академічної доброчесності)


Ростислав ШАКІН

Керівник: доцент, канд. техн. наук

Олена МАЛАХОВА

Рецензент: доцент, канд. техн. наук

Максим КУЦЕНКО

АНОТАЦІЯ

Дана кваліфікаційна робота включає в себе 14 слайдів презентації, 84 аркушів пояснювальної записки формату А4, що включає 18 рисунків, 4 таблиці, 26 літературних джерел.

Ключові слова: вантажні поїзди, тягові ресурси, графік руху поїздів, маршрутизація перевезень, норми маси поїздів.

Об'єктом дослідження є виробничий процес управління локомотивними парками та бригадами для забезпечення нормальної роботи з вантажоперевезень на залізничному транспорті.

Метою дослідження є удосконалення забезпечення поїздів локомотивами при організації перевезень вантажів у міжнародному сполученні шляхом забезпечення поїздів тяговими ресурсами та їх застосування для побудови системи управління вагонопотоками, що прямують у міжнародному сполученні.

У кваліфікаційній роботі було розроблено дві окремі системи управління перевізним процесом, а також запропоновано підхід до моделювання транспортних потоків, який дозволяє прогнозувати необхідну кількість ресурсів для забезпечення перевізного процесу, зокрема локомотивів і локомотивних бригад.

Для побудови ефективного графіку руху поїздів та закріплення за ним тягових ресурсів було розроблено методи формалізації задачі з урахування обмежень, пов'язаних зі специфікою залізничної інфраструктури.

Крім того, було розроблено систему квартального планування утримання тягових ресурсів. Побудова цієї системи включала аналіз складної структури вимог та обмежень підзавдань утримання тягово-перевізних засобів (ТПС) та локомотивних бригад (ЛБ), їх формалізацію, розробку алгоритму вирішення з урахуванням обмежень і технологічних регламентів.

ABSTRACT

This qualification work includes 14 slides of presentation, 84 sheets of A4 explanatory note, including 18 figures, 4 tables, 26 references.

Keywords: freight trains, traction resources, train schedule, traffic routing, train weight standards.

The object of study is the production process of managing locomotive fleets and crews to ensure the normal operation of freight transport by rail.

The aim of the study is to improve the provision of trains with locomotives in the organisation of international freight traffic by providing trains with traction resources and using them to build a system for managing carriage flows in international traffic.

In the qualification work, two separate systems for managing the transportation process were developed, and an approach to modelling traffic flows was proposed, which allows forecasting the required amount of resources to ensure the transportation process, including locomotives and locomotive crews.

To build an effective train schedule and assign traction resources to it, methods of formalising the problem were developed, taking into account the constraints associated with the specifics of the railway infrastructure.

In addition, a system of quarterly planning for the maintenance of traction resources was developed. The development of this system involved analysing the complex structure of requirements and constraints of the subtasks of maintaining traction vehicles and locomotive crews, formalising them, and developing a solution algorithm based on the constraints and technological regulations.

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 » грудня 2024 р.

ЗАВДАННЯ НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Шакіну Ростиславу Сергійовичу

1. Тема проекту (роботи) «Удосконалення забезпечення поїздів локомотивами при організації перевезень вантажів у міжнародному сполученні»

Керівник Малахова Олена Анатоліївна, канд. техн. наук, доцент
затверджена розпорядженням по факультету управління процесами перевезень від 30 вересня 2024 року №12/24

2 Строк подання здобувачем роботи 30 грудня 2024 року



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

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ. 1 Теорія і практика розвитку системи тягового забезпечення вантажних поїздів на полігоні (напрямку) мережі залізниць 2 Основні положення щодо уніфікації норми маси поїздів 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 Завдання системи тягового забезпечення вантажних поїздів 3 Норми маси і довжини поїздів 4 Умови застосування вагових норм 5 Аналіз динаміки перевезення вантажів залізницями ЄС 6 Постановка задачі удосконалення обслуговування локомотивами та поїздів 7 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	Наталія ГРИЦЕНКО, доцент, канд. економ. наук		

7 Дата видачі завдання 30 вересня 2024р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів	Строк виконання етапів	Примітка
Вступ	10.10.2024	виконано
1 Теорія і практика розвитку системи тягового забезпечення вантажних поїздів на полігоні (напрямку) мережі залізниць	10.11.2024	виконано
2 Основні положення щодо уніфікації норми маси поїздів	18.11.2024	виконано
3 Удосконалення технології прикріплення тягових ресурсів до ниток при просуванні поїздів у напрямку Україна - Європа	25.11.2024	виконано
4 Визначення економічної доцільності експлуатаційної роботи дирекції залізничних перевезень при маршрутизації перевезень на напрямку Україна - Європа	10.12.2024	виконано
Висновки	27.12.2024	виконано
Оформлення роботи	30.12.2024	виконано

Здобувач


(підпис)

Ростислав ШАКІН
(прізвище та ініціали)

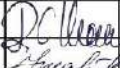
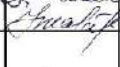


Керівник проекту (роботи)


(підпис)

Олена МАЛАХОВА
(прізвище та ініціали)

Зміст

Вступ	8
1 Теорія і практика розвитку системи тягового забезпечення вантажних поїздів на полігоні (напрямку) мережі залізниць	11
1.1 Основні положення	11
1.2 Теорія розвитку системи тягового забезпечення вантажних поїздів на полігоні (напрямку) мережі залізниць	11
2 Основні положення щодо уніфікації норми маси поїздів	17
2.1 Переваги та недоліки уніфікації вагової норми вантажних поїздів	17
2.2 Аналіз динаміки вантажних залізничних перевезень в країнах ЄС	27
2.3 Аналіз динаміки перевезень вантажів в Україні	37
3 Удосконалення технології прикріплення тягових ресурсів до ниток при просуванні поїздів у напрямку Україна - Європа	40
3.1 Планування розкладу поїздів, управління наявним тяговим ресурсом відповідно до встановленої потреби	40
3.2 Застосування методу оптимального сітьового потоку для рішення задачі підбирання локомотивів для вантажних поїздів	48
3.3 Автоматизація планування утримання тягових ресурсів на встановлену потребу для забезпечення перевізного процесу	61
4 Визначення економічної доцільності експлуатаційної роботи дирекції залізничних перевезень при маршрутизації перевезень на напрямку Україна – Європа	73
4.1 Вихідні дані для визначення економічного ефекту	73
4.2 Визначення експлуатаційних витрат запропонованих заходів	74

УЗІЛЮ.300.00.00.000 ПЗ								
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Удосконалення забезпечення поїздів локомотивами при організації перевезень вантажів у міжнародному сполученні	Літ.	Арк.	Акрупів
Розроб.		Шакін		27.12		i		
Перевір.		Малахова		27.12			6	84
Н. Контр.		Малахова		27.12		УкрДУЗТ		
Затв.		Буцько		27.12				

4.3 Визначення економічного ефекту від раціоналізації вантажних поїздів з використанням штовхача	75
Висновки	80
Список використаних джерел	82

					УЗІЛЮ.300.00.00.000 ІІЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

Вступ

Актуальність дослідження. Уже протягом багатьох років одним із заходів поліпшення економічних показників роботи залізничного транспорту є подовження діляниць обороту локомотивів і ділянок роботи локомотивних бригад. На сучасному етапі, з метою підвищення рівня експлуатаційної роботи, діляниці обслуговування локомотивів збільшуються до полігонів, що включають в себе одну або кілька регіональних філій. Поїзди свого формування на технічних станціях утворюються через великі і нерівні інтервали, поїзди в розформування, а з ними і локомотиви надходять також нерівномірно. За таких умов сформовані состави тривалий час простоюють через очікування локомотивів, що призводить до значних економічних втрат.

Крім того, на кожній станції кількість поїздів, що прибувають за зміну, рідко збігається з кількістю поїздів, що відправляються. У більшості випадків на одній станції за дану зміну утворюються надлишки локомотивів, а на іншій - їхній недолік.

Під час регулювання пересилання локомотивів з однієї станції на іншу виникає безліч варіантів, з яких необхідно вибирати найбільш раціональний.

В умовах добової нерівномірності руху неминуче виникають значні непродуктивні витрати часу роботи локомотивних бригад в очікуванні готовності составу. А також мають місце випадки перевищення встановленої тривалості робочого часу бригад.

На систему управління роботою залізничного транспорту значний вплив має нерівномірність у русі. Причини такої нерівномірності можуть бути різними. Так, наприклад, составоутворення на навантажувальних станціях залежить від низки чинників: економічна обстановка в країні та за кордоном; графік роботи підприємств та операторів приватного рухомого складу; відмови технічних засобів та ін. Для якісного управління експлуатаційною роботою необхідно знати

характер і закономірності кожного елементарного процесу, а також грамотно застосовувати їхні характеристики.

Актуальність досліджуваної проблеми визначається потребою всебічного зниження витрат залізниць, підвищення якості перевезень і конкурентоспроможності залізничного транспорту в ринкових умовах.

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 забезпечення поїздів локомотивами при організації перевезень вантажів у міжнародному сполученні шляхом забезпечення поїздів тяговими ресурсами та їх застосування для побудови системи управління вагонопотоками, що прямують у міжнародному сполученні.

Реалізація цієї мети потребує постановки та вирішення таких основних задач:

- визначення особливостей організації тягового забезпечення на полігоні мережі залізниць;
- 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.

Об'єктом дослідження є виробничий процес управління локомотивними парками та бригадами для забезпечення нормальної роботи з вантажоперевезень на залізничному транспорті.

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 міжнародній науково – практичній конференції «Інформаційно – керуючі системи на залізничному транспорті» [1].

Висновки

Проведена робота дозволяє зробити такі висновки.

1 Питання організації пропуску вагонопотоків та разом з тим технологія роботи станцій формування та розформування на теперішній час вирішена не повністю. Обсяги переробки вагонопотоків та маса поїздів не відповідають одне одному. І це свідчить про недоліки системи накопичення та формування составів. Одним із методів усунення таких проблемних місць є уніфікація вагових норм. Стратегічні напрямки роботи АТ «Укрзалізниця» відповідають Національній транспортній стратегії України на період до 2030 року.

2 Аналіз динаміки показників вантажних залізничних перевезень в ЄС в період з 2013 по 2023 рік показав, що з 2013 по 2018 рік рівень продуктивності вантажних залізничних перевезень постійно зростав. У 2019 році показники вантажних залізничних перевезень впали на 2,2%, а у 2020 році - на 8,4% порівняно з попереднім роком. У 2021 році спостерігається відновлення з ростом на 8,9% порівняно з 2020 роком, досягнувши майже рівня 2019 року. У 2022 році показники вантажних залізничних перевезень дещо знизилися на 0,5 % порівняно з 2021 роком. У 2023 році падіння продовжилось (-4,9 %). Українські залізниці також зазнали зменшення вантажопотоків, починаючи з 2019 року.

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 Для вирішення задачі побудови ефективного розкладу та прикріплення до них тягових ресурсів було розроблено методи її формалізації та обліку обмежень, пов'язаних зі специфікою залізничної інфраструктури, а також модель управління вантажоперевезеннями, побудована на основі розроблених методів. Було сформульовано завдання оптимізації для пошуку найкращого розкладу вантажоперевезень. Для вирішення цього завдання запропоновано гібридний

варіант використання методів аукціону та імітації відпалу, який застосовує кожен з них відповідно до поставлених на даний момент вимог.

5 Розроблено систему квартального планування утримання тягових ресурсів. Процес побудови зазначеної системи включав: аналіз розгалуженої структури вимог та обмежень підзавдань змісту ТПС та ЛБ, їх формалізація, розробка алгоритму їх вирішення, що враховує обмеження та технологічні регламенти за змістом ТПС та ЛБ та його реалізація на мові Java з використанням багатопоточного підходу та мультиагентних технологій.

5. Зроблені розрахунки доводять доцільність пропуску маршрутних поїздів на напрямку Україна - Європа. Економічний ефект від впровадження запропонованих заходів вже на перший рік експлуатації складе понад 23650 тис. грн. на рік.

Список використаних джерел

- 1 Попов М.Д., Сіконенко Г.М., Шакін Р. С. Удосконалення системи показників графіку виконаного руху на основі досвіду компанії Network Rail. *Тези доповідей 37 Міжнародної науково-практичної конференції "Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті"*. м. Харків, 10-11 жовтня 2024 р. С. 89–90.
- 2 4 Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року: схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 30 травня 2018 р. № 430-р: веб-сайт. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80#Text>. (Дата звернення 31.08.2024).
- 3 Ейтутіс Г. Д. Стратегія реформування залізниць України на основі регіоналізації транспортного обслуговування : автореф. дис. ... д-ра екон. наук : 08.00.03 / НАН України, Рада по вивч. продукт. сил України. Київ, 2010. 38 с.
- 4 Eurostat: veb site. URL: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Railway_freight_transport_statistics. (Дата звернення 10.09.2024).
- 5 Державна служба статистики Уркаїни : веб-сайт. URL: <https://www.ukrstat.gov.ua/https://www.ukrstat.gov.ua/> (дата звернення 10.10.2024).
- 6 Zhongyong C. Past, Present and Future Development of China's Railways // *Japan Railway & Transport Review*. No. 11. P.18–23.
- 7 Інструкція зі складання графіка руху поїздів на залізницях України: затв. наказом Укрзалізничці від 05.04.2002 № 170-ІЦ. Київ : Транспортю2001. 86 с.
- 8 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.
- 9 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.

- 10 Matyukhin, V.G., Shabunin, A.B., Nemtsov, E.F. Traction resources management at Eastern operating domain. *Locomotiv*. 2017. No. 1(721). P. 8–9.
- 11 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.
- 12 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.
- 13 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.
- 14 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.
- 15 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.
- 16 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.
- 17 Vaidyanathan, B., Ahuja, R.K., Orlin, J.B. The locomotive routing problem. *Transportation Sci*. 2008. Vol. 42. P. 492—507.
- 18 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>.
- 19 Pacciarelli, D. Alternative graph formulation for solving complex factory-scheduling problems. *Interntional Journal of Product. Res*. 2002. No. 40. P. 3641–3653. DOI:10.1080/00207540210136478.

- 20 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.
- 21 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.
- 22 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.
- 23 Bertsekas, D.P., Castanon, D.A. The auction algorithm for the minimum cost network flow problem: Lab. for Inform. and Decision Syst. *Report LIDS-P-1925. Cambridge, MA, USA: Massachusetts Inst. of Technol.* 1989. 32 p.
- 24 Різник О.М. Динамічні рекурентні нейронні мережі. Веб сайт. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/dinamichni-rekurentni-neyronni-merezhi/viewer>. (Дата звернення 15.09.2022).
- 25 Аведьян Э.Д., Модифіковані алгоритми Качмажа для оцінки параметрів лінійних об'єктів. *Автоматика и телемеханика*, № 5, 1978, с. 64-72.
- 26 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.