

Український державний університет залізничного транспорту

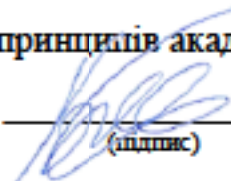
Кафедра управління експлуатаційною роботою

УДОСКОНАЛЕННЯ ОРГАНІЗАЦІЇ РОБОТИ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ПІДРОЗДІЛУ
ШЛЯХОМ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОПУСКНОЇ СПРОМОЖНОСТІ

Пояснювальна записка та розрахунки
до кваліфікаційної роботи

УОРЗП.300.00.00.000 ПЗ

Розробив студент групи 211– ОПУТ– Д24
спеціальність 275 / 275.02 — Транспортні
технології (на залізничному транспорті)
(роботу виконано самостійно, відповідно до
принципів академічної доброчесності)

 Олександр Боровець
(підпис)

Керівник: доцент, канд. техн. наук

Тетяна КАЛАШНІКОВА

Рецензент: професор, докт. техн. наук

Олександр Огар

АНОТАЦІЯ

Дана кваліфікаційна робота включає в себе 15 слайдів презентації, 89 аркушів пояснювальної записки формату А4, що включає 21 рисуноків, 10 таблиць, 31 літературних джерел.

Ключові слова: ЗАЛІЗНИЧНІ ПЕРЕВЕЗЕННЯ, ОРГАНІЗАЦІЯ РУХУ, ГРАФІК РУХУ ПОЇЗДІВ, ПРОПУСКНА СПРОМОЖНІСТЬ НАПРЯМКУ.

Об'єктом дослідження є процес організації роботи залізничного підрозділу за рахунок оптимізації пропускної спроможності.

Метою дослідження є удосконалення організації роботи залізничного підрозділу за рахунок оптимізації пропускної спроможності.

У кваліфікаційній роботі проведено наступну роботу:

- аналіз роботи залізничного транспорту України;
- дослідження техніко-експлуатаційної характеристики та технології роботи залізничного підрозділу;
- моделювання пропускної спроможності залізничних напрямків;
- аналіз технологічних напрямків підвищення пропускної спроможності та реорганізації структури управління рухом поїздів;
- визначення економічної доцільності створення регіональних диспетчерських центрів.

ABSTRACT

This qualification work includes 15 presentation slides, 89 pages of an explanatory note in A4 format, featuring 21 figures, 10 tables, and 31 literature references.

Keywords: RAILWAY TRANSPORTATION, TRAFFIC MANAGEMENT, TRAIN TIMETABLE, LINE CAPACITY.

The object of the study is the operation of a railway division through the optimization of line capacity.

The purpose of the research is to improve the organization of a railway division's operation through the optimization of line capacity.

The following work was carried out in the qualification thesis:

- analysis of the operation of Ukraine's railway transport system;
- study of the technical and operational characteristics and operating technology of a railway division;
- modeling of the capacity of railway lines;
- analysis of technological approaches to increasing line capacity and reorganizing the train traffic management structure;
- determination of the economic feasibility of establishing regional dispatching centers.

Український державний університет залізничного транспорту

Факультет управління процесами перевезень

Кафедра управління експлуатаційною роботою

Освітній рівень: магістр

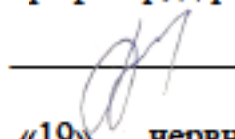
Спеціальність 275 Транспортні технології

275.02 Транспортні технології (на залізничному транспорті)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри,

професор, д-р техн. наук

 Тетяна БУТЬКО

«19» червня 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Боровцю Олександрову Федоровичу

1. Тема проекту (роботи) Удосконалення організації роботи залізничного підрозділу шляхом оптимізації пропускнуої спроможності
керівник Калашнікова Тетяна Юріївна, канд. техн. наук, доцент
затверджено розпорядженням факультету управління процесами перевезень від 23 лютого 2026 року №06/26.
2. Строк подання студентом роботи 19 червня 2026 року
3. Вихідні дані до проекту (роботи): статистичні дані по кількісних та якісних показниках роботи залізничного підрозділу, схема залізничного підрозділу, Технологічний процес роботи дирекції
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ. 1 Аналіз роботи залізничного транспорту України. 2 Техніко-експлуатаційна характеристика та технологія роботи підрозділу. 3 Моделювання пропускнуої спроможності залізничних напрямків. 4 Аналіз технологічних напрямків підвищення пропускнуої спроможності та реорганізації структури управління рухом поїздів. 5 Визначення економічної ефективності від створення регіональних диспетчерських центрів. Висновки.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) тема магістерської роботи, мета і задачі дослідження, об'єкт дослідження та предмет дослідження, елемент наукової новизни та практичне значення, схема підрозділу, динаміка зміни основних показників роботи підрозділу, результати моделювання, розрахунок економічного ефекту.

6. Консультанти окремих розділів

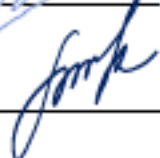
Розділ	Прізвище, ініціали, посада та науковий ступінь консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Економічне обґрунтування запропонованого проектного рішення	Наталія ГРИЦЕНКО, доцент, к.е.н.		

7. Дата видачі завдання 2 травня 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів	Срок виконання етапів роботи	Примітка
Вступ	05.04.2026	
Аналіз роботи залізничного транспорту України	10.04.2026	
Техніко-експлуатаційна характеристика та технологія роботи залізничного підрозділу	20.04.2026	
Моделювання пропускнуої спроможності залізничних напрямків	29.04.2026	
Аналіз технологічних напрямків підвищення пропускнуої спроможності та реорганізації структури управління рухом поїздів	20.04.2026	
Визначення економічної ефективності від створення регіональних диспетчерських центрів	15.04.2026	
Висновки	13.06.2026	

Студент  Олександр БОРОВЕЦЬ

Керівник  Тетяна КАЛАШНІКОВА

Зміст

Вступ	6
1 Аналіз роботи залізничного транспорту України	8
1.1 Аналіз роботи АТ «Укрзалізниця» по обсягах перевезень	9
1.2 Аналіз роботи АТ «Укрзалізниця» по обсягах пасажирських перевезень	13
1.3 Аналіз виконання графіку руху по напрямках АТ «Укрзалізниця»	14
1.4 Аналіз використання пропускної спроможності на ключових напрямках АТ «Укрзалізниця»	17
2 Техніко-експлуатаційна характеристика та технологія роботи підрозділу	21
2.1 Техніко- експлуатаційна характеристика ДН- К	21
2.2 Технологія роботи ДН-К з організації пасажирських перевезень	24
2.3 Технологія роботи ДН-К з організації вантажних перевезень	27
3 Моделювання пропускної спроможності залізничних напрямків	34
3.1 Огляд наукових досліджень щодо визначення пропускної здатності дільниць та перегонів	35
3.2 Методи дослідження пропускної спроможності. Сучасні підходи щодо розподілу транспортних потоків	39
3.3 Дослідження впливу непаралельності графіку руху поїздів на пропускну спроможність напрямків	46

					УОРЗП.300.00.00.000 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Удосконалення організації роботи залізничного підрозділу шляхом оптимізації пропускної спроможності	Літ.	Арк.	Аркухів
Розроб.		Боровець О.						
Перевір.		Калашнікова					4	89
Реценз.						УкрДУЗТ		
Н. Контр.		Калашнікова						
Затверд.		Бутько						

3.4 Вихідні дані для моделювання пропускної спроможності дільниць	60
3.5 Результати розрахунку пропускної спроможності на напрямках підрозділу через стійкість руху	66
4 Аналіз технологічних напрямків підвищення пропускної спроможності та реорганізації структури управління рухом поїздів	69
4.1 Технологія MagRail	69
4.2 Діджиталізація залізниці Deutsche Bahn	70
4.3 Концепція регіональних диспетчерських центрів на залізницях України	72
5 Визначення економічної доцільності створення регіональних диспетчерських центрів	74
Висновки	80
Список використаних джерел	86

Вступ

Актуальність теми. Залізничний транспорт відіграє ключову роль у забезпеченні ефективного функціонування економіки, оскільки є одним із основних видів транспорту для перевезення пасажирів і вантажів на значні відстані. Зростання обсягів перевезень, підвищення вимог до швидкості та надійності доставки, а також необхідність раціонального використання наявної інфраструктури обумовлюють потребу в удосконаленні організації роботи залізничних підрозділів.

Однією з важливих характеристик ефективності функціонування залізничної інфраструктури є пропускна спроможність. В умовах обмеженості технічних ресурсів, збільшення інтенсивності руху поїздів і необхідності забезпечення безпеки перевезень особливого значення набуває оптимізація використання пропускної спроможності. Неефективна організація роботи підрозділів може призводити до затримок поїздів, перевантаження окремих ділянок колії, збільшення експлуатаційних витрат і зниження загальної ефективності транспортного процесу.

У зв'язку з цим актуальним є дослідження та розробка заходів, спрямованих на вдосконалення організації роботи залізничного підрозділу шляхом оптимізації пропускної спроможності. Реалізація таких заходів дозволяє підвищити ефективність використання наявної інфраструктури, забезпечити стабільність графіка руху поїздів, скоротити час їх обробки та підвищити якість транспортного обслуговування [1].

Таким чином, дослідження питань оптимізації пропускної спроможності та вдосконалення організації роботи залізничних підрозділів є важливим і актуальним завданням сучасної транспортної науки та практики.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є удосконалення організації роботи залізничного підрозділу за рахунок оптимізації пропускної спроможності.

Для досягнення зазначеної мети необхідне вирішення наступних завдань:

- аналіз роботи залізничного транспорту України;
- дослідження техніко-експлуатаційної характеристики та технології роботи залізничного підрозділу;
- моделювання пропускної спроможності залізничних напрямків;
- аналіз технологічних напрямків підвищення пропускної спроможності та реорганізації структури управління рухом поїздів;
- визначення економічної доцільності створення регіональних диспетчерських центрів.

Методи дослідження. Математична статистика, метод динаміки середніх (довгострокове прогнозування), теорія транспортних потоків.

Об'єкт дослідження. Процес організації роботи залізничного підрозділу за рахунок оптимізації пропускної спроможності.

Предмет дослідження. Технологія роботи залізничного підрозділу.

Елемент наукової новизни полягає у наступному.

Адаптовано модель пропускної спроможності напрямків залізничного підрозділу К за критерієм стійкості руху поїздів.

Практичне значення має розробка технологічних напрямків підвищення пропускної спроможності та реорганізації структури управління рухом поїздів.

В ході підготовки та виконання роботи автором була використана інформація, у тому числі вихідні дані, текст, методики проведення аналізу досліджень, визначення певних характеристик, параметрів, розрахунків тощо, які містяться у джерелах, наведених у списку використаних джерел.

Публікації. За результатами магістерської роботи надруковано тези доповіді у науковому фаховому виданні [2, 3].

1 Аналіз роботи залізничного транспорту України

Робота будь-якого залізничного підрозділу може бути оцінена за декількома основними показниками, які вказують на ефективність і продуктивність його роботи. Основні показники роботи дирекції включають кількісні та якісні показники [4-6].

З метою дослідження обрано наступні кількісні показники по АТ УЗ: обсяги вантажних та пасажирських перевезень. На підставі значного обсягу зібраного статистичного матеріалу [7] проведено дослідження зазначених показників по місяцях, по роках з визначенням загального та середньодобового значення.

1.1 Аналіз роботи АТ «Укрзалізниця» по обсягах перевезень

Аналіз статистичних даних щодо обсягів вантажних перевезень (млн т) АТ «Укрзалізниця» (таблиця 1.1), а також загального стану національної економіки у 2022 році свідчить про різке та суттєве скорочення ключових показників функціонування галузі. Зокрема, обсяг вантажних перевезень у 2022 році зменшився на 51,2 % порівняно з 2021 роком, що є критичним спадом та відображає системний вплив кризових факторів на транспортну інфраструктуру.

Таблиця 1.1 – Динаміка обсягів вантажних перевезень АТ «Укрзалізниця»

Рік	Обсяг перевезень, млн т	Зміна до попереднього року, %
2021	314,0	–
2022	151,0	–51,9 %
2023	148,4	–1,7 %
2024	174,9	+17,9 %
2025	161,3	–7,8 %

Упродовж 2023 року спостерігалось часткове відновлення обсягів перевезень: за підсумками року вони становили близько 88 % від рівня 2022 року, що свідчить про поступову адаптацію галузі до нових умов функціонування. Водночас повного відновлення довоєнних показників досягнуто не було [9].

У 2024 році тенденція до відновлення збереглася та набула більш вираженого характеру. За оцінками, обсяги вантажних перевезень зросли ще на 15–20 % порівняно з 2023 роком, що обумовлено частковою стабілізацією логістичних ланцюгів, розширенням можливостей експорту через західні прикордонні переходи та поступовим відновленням роботи морських портів. Водночас ключовими обмежуючими факторами залишаються недостатня пропускна спроможність прикордонної інфраструктури, нерівномірність вантажопотоків та ризики, пов'язані з безпековою ситуацією.

У 2025 році прогнозується подальше зростання обсягів перевезень на рівні 10–12 % порівняно з 2024 роком. Основними драйверами такого зростання є поступове відновлення промислового виробництва, розвиток альтернативних логістичних маршрутів, а також інтеграція транспортної системи України до європейської мережі перевезень. Проте навіть за таких умов очікується, що рівень вантажних перевезень залишатиметься нижчим за показники 2021 року, що свідчить про довготривалий характер відновлення галузі.

Найбільш значне падіння обсягів перевезень було зафіксовано у березні 2022 року, що безпосередньо пов'язано з початком повномасштабної агресії. У цей період відбулося різке порушення логістичних ланцюгів, зниження доступності

інфраструктури та зміна напрямків перевезень. У подальшому, протягом квітня–грудня 2022 року, ситуація поступово стабілізувалася: середньомісячний обсяг перевезень становив близько 10,5 млн. т, що, однак, суттєво поступається відповідним показникам 2021 року (рисунок 1.1).

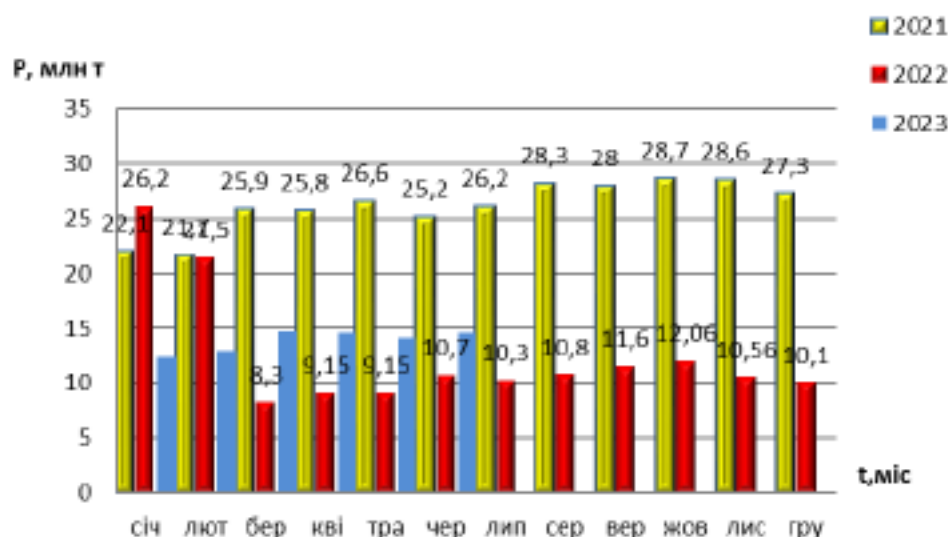


Рисунок 1.1- Динаміка залізничних вантажних перевезень УЗ по місяцях

Аналіз наведених даних свідчить про різку зміну тенденцій розвитку вантажних перевезень залізничним транспортом України у 2021–2025 роках.

У 2022 році відбулося критичне падіння обсягів перевезень — майже вдвічі (–51,9 %), що зумовлено повномасштабною війною, руйнуванням інфраструктури та розривом логістичних ланцюгів. У 2023 році спад уповільнився (–1,7 %), що свідчить про часткову стабілізацію роботи галузі.

У 2024 році зафіксовано суттєве відновлення — обсяг перевезень зріс до 174,9 млн т (+17,9 %), що пояснюється відновленням експорту через морські порти, збільшенням перевезень аграрної продукції, покращенням роботи прикордонної інфраструктури.

Однак у 2025 році знову спостерігається спад (–7,8 %), і обсяг перевезень знизився до 161,3 млн т, що пов'язано з: обмеженнями інфраструктури, зниженням промислового виробництва, збереженням воєнних ризиків.

Загалом за період 2021–2025 років обсяги перевезень скоротилися майже на 49 %, що підтверджує довготривалий характер кризових процесів у галузі.

Для оцінки загальної тенденції зміни обсягів перевезень побудуємо лінійну модель тренду $N(t) = -28,15 \cdot t + 274,27$, млн т. (рис.1.2).

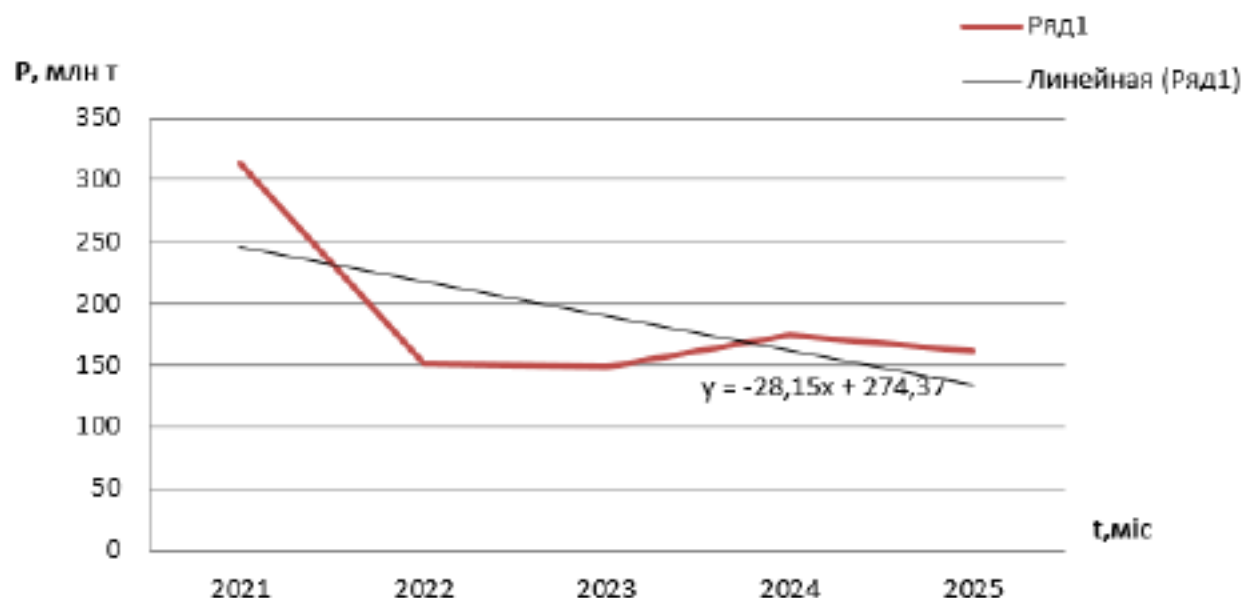


Рисунок 1.2- Динаміка обсягів вантажних перевезень АТ «Укрзалізниця»

Аналіз графіка свідчить про різке падіння обсягів перевезень у 2022 році, після чого у 2023 році спостерігається стабілізація показника на низькому рівні. У 2024 році відбувається часткове відновлення обсягів перевезень, однак у 2025 році знову фіксується незначне зниження.

Загальна тенденція має нестійкий характер із переважанням спадного тренду, що вказує на вплив зовнішніх дестабілізуючих факторів та наявність системних обмежень у функціонуванні залізничного транспорту.

Аналіз структури перевезень за період 2019–2025 років (рисунок 1.3) свідчить, що найбільша частка вантажообігу припадала на 2019 рік — близько 41% загального обсягу за досліджуваний період, що характеризує його як базовий рівень ефективного функціонування галузі.

Частка вантажних перевезень по роках, млн т, наведено на рисунку 1.3.

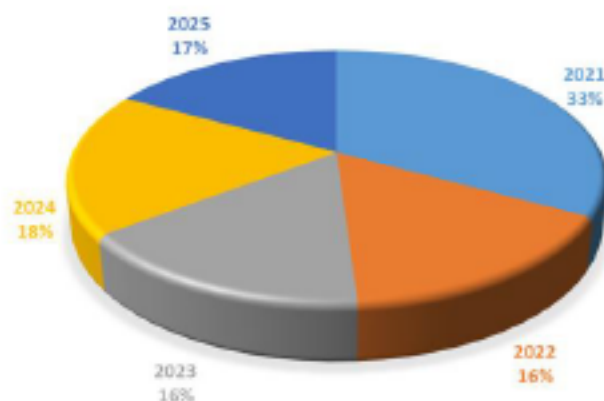


Рисунок 1. 3 –Частка вантажних перевезень по роках, млн т

Суттєвих змін зазнала і номенклатура вантажів. Найбільшого скорочення зазнали перевезення залізних та марганцевих руд — на 59,1 %, що пояснюється втратою частини металургійних потужностей, а також зниженням зовнішнього попиту. Аналогічні тенденції спостерігаються у перевезеннях кам'яного вугілля (–41,2 %) та чорних металів (–57,6 %). Значне скорочення також зафіксовано у перевезеннях будівельних матеріалів (–65,3 %), що є наслідком зниження ділової активності у будівельному секторі.

У 2024–2025 роках структура вантажів зазнає поступової трансформації: зростає частка аграрної продукції, контейнерних перевезень та експортно-орієнтованих вантажів, тоді як частка традиційних промислових вантажів відновлюється повільніше.

За видами сполучення найбільшого скорочення у 2022 році зазнали транзитні перевезення — на 76,5 % (рисунок 1.3), що обумовлено блокуванням морських портів та припиненням сполучення з країнами-агресорами. Внутрішні перевезення скоротилися на 49,2 %, експортні — на 47,1 %, імпорتنі — на 69,5 %.

У 2024–2025 роках спостерігається поступове відновлення експортних перевезень, зокрема за рахунок розвитку «сухих портів» і логістичних хабів на західному кордоні. Водночас транзитне сполучення залишається обмеженим, що стримує повноцінне використання потенціалу залізничної мережі.

За підсумками 2025 року залізницею в Україні було перевезено 161,3 мільйона тон вантажів, що на 13,6 мільйона, або на 7,8% менше, ніж в 2024 році [8].

Обсяги перевезення руди досягли 42,8 млн т, що на 1,3% поступається рівню 2024 року. Водночас сегмент мінеральних будівельних матеріалів уперше перевищив зернові перевезення, сягнувши 31,2 млн т (+3%). Обсяг транспортування зерна становив 28,8 млн т, продемонструвавши істотне скорочення на 27,3%.

За інформацією Укрзалізниця, експортні перевезення склали 74 млн т, що відповідає 45,9% загального вантажообігу. Імпорт досяг 12,3 млн т (7,6%), транзит— 0,5 млн т (0,3%), тоді як внутрішні перевезення сформували 74,5 млн т, або 46,2% від загального обсягу.

Ключовими чинниками зниження вантажної бази стали спад у сегментах вугілля та зерна. Зокрема, у випадку вугільних перевезень вирішальний вплив мали системні атаки країни-агресора на об'єкти теплової енергетики, що призвело до падіння виробництва електроенергії та накопичення запасів вугілля на складах.

Ситуація із зерновими перевезеннями мала більш комплексний характер. Скорочення обсягів пояснюється, зокрема, піковими показниками транспортування зерна, спричиненими перенесенням експорту врожаю 2023 року після запуску морського коридору, а також зміщенням строків збирання кукурудзи врожаю 2025 року майже на місяць, через що аграрії не змогли своєчасно забезпечити експортні поставки восени.

Додатковим фактором стали логістичні труднощі наприкінці 2025 року, зокрема у листопаді–грудні, спричинені ударами по залізничній та портовій інфраструктурі.

Для порівняння: у 2023 році залізничним транспортом було перевезено 148 млн т вантажів, у 2022 році — 151 млн т, тоді як у 2021 році (до початку повномасштабного вторгнення) цей показник сягав 314 млн т.

Раніше прогнозувалося, що у 2025 році Укрзалізниця скоротить обсяг перевезень приблизно на 7% — зі 173 млн т до 160 млн т. У подальшій перспективі очікується лише незначне відновлення: до 161 млн т і 162 млн т відповідно.

Загалом за підсумками 12 місяців 2025 року перевезення зернових залізничним транспортом становили 28 млн 856 тис. т, що на 27,3% менше порівняно з попереднім роком.

Порівняльний аналіз перевезень 2025 р. до попереднього періоду наведено до таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Порівняльний аналіз зміни перевезень вантажів 2025 р. до попереднього періоду

Показник	Обсяг, млн т	Зміна до попер. періоду	Частка у загальному обсязі
Руда	42,8	-1,3%	—
Мінбудматеріали	31,2	+3%	—
Зернові вантажі	28,8	-27,3%	—
Експорт	74,0	—	45,9%
Імпорт	12,3	—	7,6%
Транзит	0,5	—	0,3%
Внутрішні перевезення	74,5	—	46,2%

1.2 Аналіз роботи АТ «Укрзалізниця» по обсягах пасажирських перевезень

На основі зібраного статистичного матеріалу визначено узагальнену динаміку пасажирських перевезень та зовнішні обставини, які сприяли нестабільності даного показника (таблиця 1.3.).

У 2022 році їх обсяг становив 60,3 % від рівня 2021 року. У 2023 році відбулося суттєве зростання — до 120 % від рівня 2022 року. У 2024 році тенденція збереглася: обсяги перевезень наблизилися до довоєнного рівня (близько 85–90 % від показників 2021 року). У 2025 році прогнозується подальше відновлення

пасажиропотоку, зокрема за рахунок розвитку міжнародного сполучення з країнами ЄС.

Загалом, результати аналізу свідчать про те, що, незважаючи на позитивні тенденції відновлення у 2023–2025 роках, функціонування залізничного транспорту України залишається обмеженим низкою системних проблем, ключовими серед яких є недостатня пропускна спроможність інфраструктури, нерівномірність вантажопотоків та необхідність адаптації до нових логістичних умов. Це обумовлює актуальність розробки ефективних організаційно-технологічних рішень щодо оптимізації роботи залізничних підрозділів.

Таблиця 1.3 - Узагальнена динаміка пасажирських перевезень

Рік	Пасажири, млн	Зміна показника, %	Зовнішні обставини
2019	154,9		
2020	19,4	-700	~19 (ковід)
2021	57,0	+66	~57 (оцінка відновлення)
2022	48,5	-18	різке падіння (війна)
2023	64,9	+25	64,9
2024	65,7	+1	65,7
2025	61,7	-6	61,7

Частку обсягів перевезень пасажирів УЗ, млн.пас, по роках за період 2019-2025рр. наведено на рисунку 1.4.

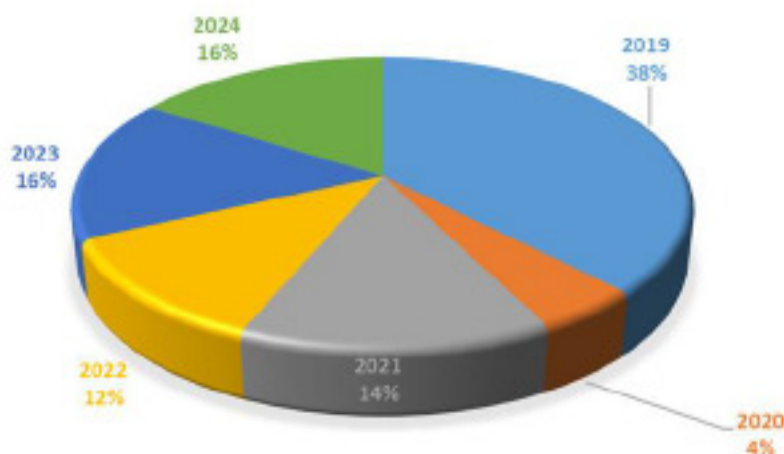


Рисунок 1.4 -Частка обсягів перевезень пасажирів УЗ, млн.пас, по роках за період 2019-2025рр.

Прогнозна тенденція обсягів перевезень пасажирів по залізниці (рисунок 1.5) має тренд спаду, що може бути описаний лінійною залежністю вигляду $N = -6,39t + 92,99$.

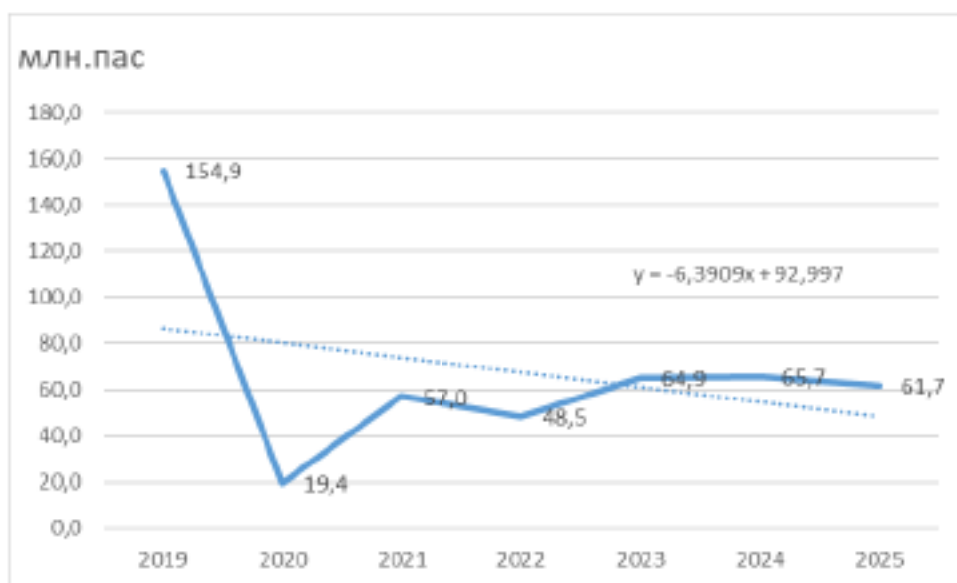


Рисунок 1. 5- Прогнозна тенденція обсягів перевезень пасажирів УЗ

Типова річна динаміка пасажирських перевезень у Укрзалізниця має виражений сезонний характер, який формується святковими періодами, відпустками та діловою активністю (таблиця 1.4).

На початку року, у січні, спостерігається один із пікових рівнів через новорічні та різдвяні поїздки. У лютому пасажиропотік знижується, оскільки святковий фактор зникає, і попит стабілізується на середньому рівні.

У березні зазвичай триває поступове зниження, а квітень часто є одним із найслабших місяців року (за винятком років, коли Великдень припадає саме на цей період). У травні починається поживлення завдяки святкам і коротким подорожам.

Із червня стартує літній сезон: пасажиропотік помітно зростає. Липень і серпень — це абсолютний пік року, коли фіксуються максимальні обсяги перевезень через відпустки, туризм і масові поїздки до місць відпочинку.

У вересні відбувається різке зниження після завершення сезону відпусток, але водночас зберігається ділова та навчальна активність. Жовтень характеризується відносною стабільністю на середньому рівні.

У листопаді зазвичай спостерігається найнижчий попит протягом року — це «мертвий сезон» без значних факторів зростання. Наприкінці року, у грудні, пасажиропотік знову різко збільшується завдяки передсвятковим поїздам і формує другий виражений пік.

Таблиця 1. 4 - Типова динаміка УЗ щодо сезонності пасажирських перевезень

Місяць	Типова динаміка УЗ
Січень	високий (свята)
Лютий	середній
Березень	спад
Квітень	низький
Травень	зростання
Червень	початок сезону
Липень	пік
Серпень	пік
Вересень	спад
Жовтень	стабільний
Листопад	низький
Грудень	різкий ріст

Таким чином, визначено чітку сезонність пасажирських перевезень, яка характеризується двома піками: січень та липень–серпень, та двома просіданнями : квітень і листопад.

1.3 Аналіз виконання графіку руху по напрямках АТ «Укрзалізниця»

Виконання графіку руху поїздів є одним із ключових показників ефективності функціонування залізничного транспорту, оскільки відображає рівень організації перевізного процесу, ступінь використання пропускнуої спроможності інфраструктури та якість диспетчерського управління. У сучасних умовах діяльності АТ «Укрзалізниця», що характеризуються впливом зовнішніх дестабілізуючих факторів, виконання графіку руху набуває особливої значущості як індикатор стійкості транспортної системи.

Проведений аналіз свідчить, що у 2022–2025 роках спостерігається суттєва диференціація рівня виконання графіку руху поїздів залежно від напрямку перевезень, що зумовлено нерівномірним розподілом вантажопотоків, обмеженнями інфраструктури та зміною логістичних маршрутів.

Найбільш напруженим є західний напрямок, який забезпечує основні експортно-імпортні перевезення в умовах обмеженого доступу до морських портів. Високий рівень завантаження прикордонних переходів, що у ряді випадків перевищує їх пропускну спроможність, призводить до зниження рівня виконання графіку руху, особливо для вантажних поїздів. Основними причинами відхилень є тривалі технологічні операції на прикордонних станціях, необхідність перевантаження вантажів або зміни візків через різну ширину колії, а також пріоритетність пропуску пасажирських поїздів. У результаті цього виникають затримки на підходах до прикордонних переходів, що негативно впливає на ритмічність перевізного процесу.

Південний напрямок, орієнтований на обслуговування морських портів, характеризується нестабільністю виконання графіку руху. У 2022 році через блокування портової інфраструктури відбулося різке зниження обсягів перевезень, що частково зменшило навантаження на інфраструктуру, однак водночас призвело до порушення усталених технологічних процесів. У 2023–2025 роках, із частковим відновленням роботи портів, спостерігається покращення виконання графіку, проте його рівень залишається залежним від зовнішніх факторів, зокрема безпекової ситуації та нерівномірності надходження вантажів.

Центральний напрямок, який включає найбільші транспортні вузли, зокрема Київський та Дніпровський, характеризується відносно стабільним рівнем виконання графіку руху. Це пояснюється більш розвиненою інфраструктурою, наявністю альтернативних маршрутів та ефективною організацією диспетчерського управління. Водночас навіть у цих умовах спостерігаються періодичні відхилення, пов'язані з перевантаженням окремих вузлових станцій та необхідністю перерозподілу потоків.

Східний напрямок зазнав найбільшого негативного впливу внаслідок бойових дій. Пошкодження інфраструктури, обмеження руху та зниження обсягів перевезень призвели до суттєвого погіршення показників виконання графіку. Окрім технічних факторів, значний вплив має також нестабільність формування вантажопотоків, що ускладнює планування руху поїздів і знижує ефективність використання пропускної спроможності.

Узагальнюючи результати аналізу, можна зробити висновок, що рівень виконання графіку руху поїздів безпосередньо залежить від ступеня завантаження інфраструктури та збалансованості транспортних потоків. Перевантаження окремих напрямків, зокрема західного, призводить до зниження ритмічності руху та зростання затримок, тоді як недовантаження інших напрямків не дозволяє повною мірою реалізувати наявний потенціал залізничної мережі.

Таким чином, основною проблемою є дисбаланс у використанні пропускної спроможності, що негативно впливає на виконання графіку руху та загальну ефективність перевізного процесу. Вирішення цієї проблеми потребує впровадження комплексних заходів, зокрема оптимізації графіка руху поїздів, удосконалення технології обробки на вузлових станціях, підвищення пропускної спроможності прикордонних переходів та застосування сучасних методів математичного моделювання для управління транспортними потоками.

1.4 Аналіз використання пропускної спроможності на ключових напрямках АТ «Укрзалізниця»

Пропускна спроможність залізничної мережі є одним із найважливіших показників ефективності організації перевізного процесу, оскільки визначає максимальну кількість рухомого складу, яка може безперервно та безпечно функціонувати на окремих напрямках. Ефективне використання пропускної спроможності дозволяє забезпечити своєчасність перевезень, мінімізувати

затримки та оптимізувати розподіл вантажопотоків. Аналіз використання пропускної спроможності за основними напрямками АТ «Укрзалізниця» показує, що її реалізація є значно нерівномірною, що обумовлено як географічними особливостями, так і зовнішніми економічними та безпековими чинниками.

Західний напрямок, що включає прикордонні переходи з країнами ЄС, є критично важливим для забезпечення експортно-імпортних операцій, особливо після блокування морських портів у 2022 році. Фактичне завантаження інфраструктури на цьому напрямку часто перевищує номінальну пропускну спроможність станцій, що призводить до виникнення вузьких місць і перевантаження.

Коефіцієнт використання пропускної спроможності на ключових вузлах (Ягодин, Чоп, Мостиська) складає від 0,95 до 1,10, що свідчить про роботу на межі або навіть за межами допустимого рівня.

Основними факторами обмежень є технологічні операції на прикордонних станціях, перевантаження контейнерних та зернових поїздів, необхідність зміни колії або візків через різну ширину колії, а також пріоритет пасажирських перевезень.

Наслідком таких обмежень є збільшення часу простою вагонів на станціях та затримки на підходах до прикордонних переходів, що знижує загальну ефективність перевізного процесу.

Південний напрямок, орієнтований на обслуговування морських портів (Одеса, Чорноморськ, Південний), характеризується значною варіабельністю завантаження.

У 2022 році використання пропускної спроможності знизилося до 20–30 % через блокування портів та припинення регулярних вантажопотоків.

У 2023–2024 роках завантаження зросло до 60–75 %, що обумовлено поступовим відновленням роботи портів та нарощуванням вантажопотоків, особливо аграрної продукції.

Проте рівень завантаження лишається нестійким і залежить від безпекової ситуації, нерівномірності надходження вантажів та технологічних обмежень обробки поїздів на станціях портових вузлів.

Центральні вузли, включаючи Київський, Дніпровський та Полтавський, виконують функцію перерозподілу вантажопотоків між північними, південними та західними маршрутами.

Рівень використання пропускної спроможності на цих напрямках коливається від 0,70 до 0,85.

Такий рівень дозволяє забезпечити стабільність виконання графіку руху, підтримувати ритмічність перевезень та створює резерви для перерозподілу вантажопотоків у разі виникнення перевантаження на інших напрямках.

Центральні напрямки характеризуються відносно високою ефективністю управління рухом, що забезпечується розвинутою інфраструктурою та наявністю альтернативних маршрутів.

Східний напрямок, що включає Харківський, Донецький та Луганський напрямки, зазнав найсильнішого впливу бойових дій.

Фактичне використання пропускної спроможності на цих напрямках складає лише 0,10–0,25, що значно нижче від номінальної.

Основними причинами низького завантаження є руйнування інфраструктури, обмеження руху через бойові дії та зниження обсягів промислового виробництва в регіоні.

Недовантаження інфраструктури разом із нестабільністю формування вантажопотоків створює додаткові логістичні проблеми та знижує загальну ефективність залізничної мережі.

На внутрішніх регіональних напрямках спостерігається нерівномірне завантаження залізничної інфраструктури.

Центральні та магістральні вузли завантажені на 70–85 %, тоді як периферійні ділянки використовуються на 40–60 %.

Така диспропорція свідчить про наявність резервів для перенаправлення вантажопотоків та підвищення ефективності використання всієї мережі.

Аналіз використання пропускної спроможності показав, що її розподіл між ключовими напрямками АТ «Укрзалізниця» є нерівномірним.

Західні напрямки працюють на межі пропускної спроможності або навіть перевантажені. Південні напрямки мають потенціал для більш ефективного використання, але завантаження обмежене зовнішніми факторами. Східні напрямки недовантажені, що обумовлює нерівномірність роботи мережі.

Зведені дані щодо використання пропускної спроможності за напрямками наведено у таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 – Використання пропускної спроможності за напрямками

Напрямок	Основні ділянки/вузли	Пропускна спроможність, пар поїздів на добу	Навантаження, пар поїздів на добу	Коефіцієнт використання	Характеристики стану
Західний (ЄС)	Ягодин, Чоп, Мостиська	90-110	95-120	0,95- 1,10	перевантажений
Південний (порти)	Одеса, Чорноморськ, Південний	120- 140	80- 100	0,60- 0,75	частково-завантажений
Східний	Харків, Донецький напрямок	100- 130	15- 30	0,10- 0,25	недонавантажений
Центральний	Київський вузол, Дніпро	110- 130	80- 105	0,70- 0,85	стабільний
Внутрішні регіональні	Полтавський, Вінницький вузли	70- 100	40-70	0,50- 0,70	нерівномірне використання

Цей дисбаланс призводить до зниження загальної ефективності перевізного процесу, подовження часу доставки та збільшення витрат ресурсів. Для оптимізації роботи залізничного транспорту необхідно:

- 1 перерозподілити вантажопотоки між напрямками з урахуванням реальної пропускної спроможності;
- 2 підвищити технологічну ефективність обробки поїздів у вузлових станціях;
- 3 збільшити пропускну спроможність прикордонних переходів та ключових магістралей;
- 4 використати математичне моделювання для планування та управління рухом поїздів у реальному часі.

Застосування цих заходів дозволить покращити ритмічність перевезень, підвищити ефективність використання інфраструктури та мінімізувати логістичні втрати.

2 Техніко-експлуатаційна характеристика та технологія роботи залізничного підрозділу

2.1 Техніко- експлуатаційна характеристика ДН- К

Дирекція залізничних перевезень (ДН-К)— виробничий підрозділ Регіональної філії «П-З залізниця» ПАТ «Українська залізниця». ДН-К є однією з п'ятих дирекцій П-З залізниці [9].

Дирекція забезпечує обслуговування столиці України, міста Києва, а також значної частини Київської області (крім південної частини), західної частини Чернігівської області та обмежених ділянок Черкаської та Полтавської областей. Приблизно 4,5 мільйони осіб проживають на території, яку обслуговує ця дирекція.

Основні послуги, що надаються, включають перевезення пасажирів та багажу, а також завантаження-розвантаження вантажів та інші послуги [3].

За обсягом робіт ця дирекція віднесена до першої групи і є транзитною з невеликим обсягом навантаження та значними обсягами вивантаження. Понад 50% загального обсягу пасажирських перевезень залізниці забезпечується відокремленим підрозділом ДН-К.

Основні галузі промисловості, що присутні на цій території, включають металообробку, харчову, легку, лісову та деревообробну, целюлозно-папірну промисловості та виробництво будівельних матеріалів.

Зважаючи на те, що ця дирекція обслуговує столицю, більшість залізниць пов'язані саме з Києвом. П'ять основних магістралей виходять з Києва, і всі, крім однієї, мають по дві колії та є електрифікованими. Лише лінія у напрямку Мир є одноколійною, хоча вона є досить напруженою за обсягами вантажів. Цю лінію побудували на початку 1980-х років з метою переведення частини поїздів (як приміських, так і далекого сполучення) з двоколійної лінії Мир—Фастів—Київ.

Північно-західний напрямок представлений двома коліями електрифікованої залізниці, яка з'єднує Київ та Коростень. Ця лінія обслуговує поїзди до Польщі,

Німеччини, Болгарії, Білорусі та значну частину поїздів до Західної України, включаючи Львів, Тернопіль, Івано-Франківськ, Чернівці, Ужгород, Рівне, Луцьк та Ковель.

Південно-західний напрямок також має дві колії електрифікованої залізниці, яка з'єднує Київ та Фастів. Ця лінія обслуговує більшість поїздів до Молдови, Західної України, Одеси та Миколаєва. Ділянка є однією з найбільш навантажених.

Південний напрямок представлений електрифікованою залізницею, що з'єднує Київ та Мир. У години пік поїзди курсують через лінію Мир — Фастів — Київ, яка має більшу пропускну здатність, хоча є довшою (пряма лінія — 102 км, а через Фастів — 160 км). Через цю ділянку курсують поїзди з Львова та частина поїздів з Києва до Дніпра, Запоріжжя, Кривого Рогу, Маріуполя, Миколаєва, Херсона та до інших міст на півдні та сході.

Східний напрямок представлений двома коліями електрифікованої залізниці, яка з'єднує Київ та Гребінку. Ця лінія обслуговує поїзди до Харкова, Костянтинівки та до інших міст сходу України, Полтавщини та навіть Одеси.

Північно-східний напрямок також має дві колії електрифікованої залізниці, яка з'єднує Київ та Ніжин. Більшість поїздів з Києва до Росії, зокрема до Москви та Санкт-Петербурга, та Білорусі курсують саме цією лінією. Частина поїздів до Харкова також прямує через цей напрямок.

Серед ділянок, що не прямують безпосередньо до Києва, варто відзначити однокільну електрифіковану ділянку Ніжин—Чернігів—Семиходи та гілку від неї— однокільну неелектрифіковану ділянку Чернігів—Гомель. Лінія до Семиходів забезпечує доступ робітників до ЧАЕС у Прип'яті, а лінія до Гомеля забезпечувала зв'язок з білоруссю та рф.

Від станції Почайна до Вишгорода йде залізниця, якою у 2010 році запустили приміський дизель-поїзд. Це єдина ділянка серед тих, що з'єднані з Київом, яка не є електрифікованою. Причина криється у тому що ця ділянка є немагістральною, занадто короткою, не підпорядковується "Укрзалізниці" , а знаходиться у власності ПрАТ «К – Дніпровське МППЗТ»[3] (за Вишгородом, що є передмістям Києва лінія тягнеться лише до Київської ГЕС) та була збудована для вантажних потреб,

але наразі, в зв'язку з поганим технічним станом ділянки пасажирський рух на ній відсутній.

Найбільший промисловий вузол – місто К, яке являється залізничним вузлом, вузлом автомобільних доріг, річковим портом. Серед інших важливих станцій слід зазначити обласний центр Чернігів та вузлову станцію Ніжин.

Експлуатаційна довжина колій дирекції складає 847,1 км, в тому числі двоколійних – 422,7 км, одноколійних – 413,9 км, електрифікованих колій змінного струму – 768,8 км. Територіально дирекція знаходиться в 4 областях, при цьому область К обслуговує 13 районів повністю, 2 частково, область П – станцію Ма, область Ч – станцію Ко.

Дирекція налічує 69 роздільних пунктів, які класифікуються в різні групи (класи) відповідно до основного призначення та виду виконуваних робіт, враховуючи характер та обсяги цих робіт у контексті виробничої діяльності. Кількість стикових станцій у складі дирекції складає 6.

Крім станцій, до складу дирекції входить один відбудовний поїзд станції Да. В оперативному керівництві дирекції працюють підрозділи залізниці, розташовані на території обслуговування дирекції. Це включає в себе дистанції колії, вагонні депо, локомотивні депо, дистанції сигналізації та зв'язку, дистанції енергопостачання, а також будівельне монтажне експлуатаційне управління БМЕУ-1. Останнє займається підтримкою всіх будівель та споруд на території дирекції в належному стані та проведенням капітальних ремонтів.

Робота ДН-К включає в себе кілька особливостей: це операції міждержавного пункту передачі вантажних вагонів і контейнерів до прикордонної транспортно-експедиційної контори (ТЕК) на станції Че. Також, вона включає контрольні процедури прикордонного та митного огляду на пунктах пропуску для пасажирських поїздів на станції Го. До особливостей входить також робота технічної пасажирської станції, розташованої в центральній горловині станції Да, яка обслуговує прискорені пасажирські поїзди. Додатково передбачається рух міських електропоїздів в межах залізничного вузла відповідно до проекту "Міська електричка".

2.2 Технологія роботи ДН-К з організації пасажирських перевезень

2.2.1 Організація пасажирської роботи на дирекції

Завданням пасажирського відділу дирекції [10] є:

- розробка наряду з фінансово-планово-економічним відділом перспективних і річних планів пасажирських перевезень, планів капітальних вкладень по об'єктах пасажирського господарства, заходів і забезпечення дирекції всіма плановими завданнями по пасажирських перевезеннях; розробка разом з іншими відділами дирекції графіку руху приміських поїздів; забезпечення виконання плану доходів від пасажирських перевезень, місцевих доходів, поліпшення використання рухомого складу в приміському сполученні, збереження схоронності бланків проїзних та перевізних документів в квиткових касах, перевірки правильності застосування тарифів, зниження собівартості і підвищення рентабельності пасажирських перевезень;

- забезпечення чіткої та безперебійної роботи вокзалів, квиткових кас, кімнат відпочинку, автоматичних пристроїв по обслуговуванню пасажирів, касирів квиткових (роз'їзних);

- розробка пропозиції щодо удосконалення «Правил перевезень пасажирів, вантажу, вантажобагажу та пошти України»;

- проводить аналіз пасажиропотоку на пасажирські, регіональні та приміські поїзди по станціям та зупиночним платформам підрозділу, по результатам якого готуються заходи по вдосконаленню організації перевезення;

- взаємодія з місцевими органами державної виконавчої влади з питань компенсації збитків від пільгових перевезень та інших операцій з обслуговування пасажирів відповідно до норм чинного законодавства;

- підготовка матеріалів та участь в розробці графіка руху приміських поїздів, видавництво службового розкладу приміських поїздів та необхідних матеріалів.

Своєчасне розроблення розкладу руху та внесення подальших змін в інформаційні стенди для пасажирів. Внесення розкладу руху регіональних та приміських поїздів в АРМ «Розклад руху»;

- підготовка матеріалів та участь в розробці графіка руху міських поїздів згідно проекту «Міська електричка» на станціях залізничного вузла К;
- здійснення впровадження послуг з продажу електронно- пропускних карток, що використовуються в приміському господарстві для проходження через турнікетні системи, на станціях та зупиночних платформах, які забезпеченні турнікетними системами.

Дирекція залізничних перевезень К забезпечує оборот пасажирських составів; передачу інформації про запізнення поїзда; взаємодію роботи у вузлі по передачі класних вагонів; постановку класних составів на станціях вузла К; організацію курсування міських згідно розробленого та затвердженого графіку руху поїздів.

В межах дирекції залізничних перевезень К, розташовано два вокзали (2-го класу), 54 станції, 99 зупиночних платформ та 4 роз'їзди. Це вокзали Че, Ні, що здійснюють продаж проїзних документів на всі пасажирські та приміські поїзди; 32 станції, що здійснюють продаж проїзних документів на всі пасажирські та приміські поїзди (без прийому та видачі багажу); 9 зупиночних пунктів, що здійснюють продаж квитків тільки на приміські поїзди без прийому багажу, на інших 90 проводиться тільки посадка і висадка пасажирів без продажу квитків та прийому багажу.

2.2.2 Організація пропуску прискорених пасажирських поїздів

На ділянках ДН-К використовуються швидкі електропоїзди "Intercity+" від Хюндай HRSC2.

Проходження швидких пасажирських поїздів основними та альтернативними маршрутами, у спеціальних умовах прийому, відправлення або при черговому русі, здійснюється по конкретних коліях визначених Технічно-розпорядчих актів (ТРА) станцій [10].

Пасажири сідають та виходять з швидких поїздів на станціях Київ-Пасажирський та Дарниця.

Операції, пов'язані з технічним обслуговуванням електропоїздів "Intercity+", проводяться на Технічній пасажирській станції (ТПС) станції Дарниця, яка належить до Української залізничної швидкісної компанії (ДП УЗШК) та є підрозділом Укрзалізниці.

Операції з електропоїздами "Інтерсіті+" відповідно до "Технології роботи з електропоїздами виробництва Хюндай при прибутті на станцію Київ-Пасажирський та їх обробці на ТПС Дарниця" та "Інструкції про порядок проведення маневрових робіт на коліях технічної пасажирської станції (ТПС) станції Дарниця".

Під час руху швидких поїздів по коліях станцій дирекції, співробітники, пов'язані з рухом поїздів, повинні керуватися "Інструкцією з організації швидкого руху пасажирських поїздів на залізницях України з урахуванням вимог до інфраструктури та рухомого складу".

2.2.3 Організація руху пасажирських поїздів на дирекції

Перевезення пасажирів на великі відстані залізничними лініями організовано за допомогою різних категорій пасажирських поїздів, враховуючи їх швидкість руху, відстань, тип сполучення та комфортні умови.

Категорії поїздів та вагонів і вимоги до них встановлені Правилами перевезень пасажирів, багажу, вантажобагажу та пошти залізничним транспортом,

а також Правилами технічної експлуатації залізниць України, схваленими Міністерством інфраструктури України [11].

Розклад руху пасажирських поїздів у межах однієї залізниці встановлює начальник залізниці, в межах двох і більше залізниць – Укрзалізниця, а в межах двох або більше країн – міжнародні угоди.

Для забезпечення перевезень пасажирів в далеких сполученнях на дирекції заплановано кілька категорій пасажирських поїздів: швидкі цілорічні поїзди, звичайні цілорічні поїзди, поїзди підвищеного комфорту протягом року, прискорені поїзди цілорічного курсування, швидкі поїзди у сезонні періоди, звичайні сезонні поїзди та поїзди, які курсують разово.

Постійно проводиться облік та аналіз потоку пасажирів та використання пасажирських поїздів у далеких сполученнях.

Відповідно до законодавства України, транспортні засоби та вантаж, що перетинають державний кордон, підлягають прикордонному та митному контролю з метою забезпечення відповідності вимогам державних установ, підприємств та громадян щодо пересування через кордон.

На дільницях ДН-К здійснюється митний та прикордонний контроль пасажирських поїздів, вантажів, багажу та пасажирів. Посадка пасажирів, що подорожують через кордон, та їх висадка, а також завантаження/вивантаження багажу та вантажів, відбувається лише з дозволу митниці та прикордонних військ.

2.3 Технологія роботи ДН-К з організації вантажних перевезень

2.3.1 Організація пропуску транзитного вагонопотоку

Транзитними є поїзда, що проходять через станцію без переробки або з частковою переробкою, такою як зміна ваги і довжини поїзда, відчеплення технічно несправних вагонів, комерційні несправності та інші аспекти [6].

Визначення розмірів прийому навантажених вагонів на плановану добу керується очікуваною на початок доби наявністю транзитних вагонів, запланованим навантаженням в прямому сполученні, і прийманням навантажених вагонів через стикові пункти від сусідніх дирекцій залізниць.

Транзитні вагони, що подаються від сусідніх дирекцій через стикові пункти даної дирекції, розподіляються на основі статистичних коефіцієнтів, установлених між дирекціями та залізницями України.

Кількість вагонів, які здаються через кожний стиковий пункт з навантажених на виході, визначається за допомогою статистичних коефіцієнтів, встановлених начальником служби перевезень. Кількість порожніх вагонів, що приймаються для вивантаження, визначається згідно з нормами графіка руху та розташуванням стикових пунктів, які визначені технічним планом.

Завдання на здачу порожніх вагонів з урахуванням рухомого складу встановлюється на підставі завдань залізниці, місячного технічного плану, інформації про попередні дні місяця та наявності порожніх вагонів до початку запланованої доби, а також очікуваного прибуття вагонів з сусідніх дирекцій та запланованого вивантаження.

План включає собі процедури збору, формування, пропуску по ділянках і здачі своїх поїздів на сусідні дирекції із порожніх вагонів, що надходять під навантаження.

Обробка транзитного поїзда включає:

- технічне обслуговування та опробування автогальм;
- комерційний огляд составів та ліквідацію комерційних несправностей;
- зміну локомотивних бригад, а при потребі – локомотива.

Станція отримує інформацію про наближення поїзда до прибуття, його склад і інші дані від поїзного диспетчера до прибуття поїзда.

Під час технічного огляду состава виявляються вагони, які потребують відчіпного ремонту, а також виявляються технічні несправності, які можуть бути усунені без відчеплення вагонів від состава за час стоянки поїзда згідно графіка. Під час технічного обслуговування вагонів також проводиться комерційний огляд.

Підготовка вагонів для причіпки до наступного поїзда здійснюється на основі інформації, наданої поїзним диспетчером про прибуття наступного поїзда для наповнення. Завдання щодо складання поїзда надається станційним диспетчером, вказуючи вагу групи вагонів, яка має бути додана (чи до голови, чи до хвоста поїзда).

2.3.2 Організація місцевої роботи на дирекції

Після завершення звітної дня начальник відділу перевезень, його заступник або старший диспетчер, користуючись інформацією про наявність порожніх вагонів на дирекції, вантажів для станцій дирекції та вантажів для передачі іншим дирекціям (за допомогою звітної форми ДО-15), а також очікуваною появою місцевих вантажів та порожніх вагонів від сусідніх дирекцій (інформація отримується з АСКВП УЗ), враховуючи заданий час обороту місцевих вагонів, складає план роботи на наступний день.

У плануванні і організації вантажних операцій особлива увага приділяється максимізації подвоєних операцій - навантаження вагонів у пунктах вивантаження. Це сприяє не лише зменшенню порожнього ходу вагонів, але й скороченню часу простою вагонів під час обороту.

Правильний розподіл порожніх вагонів по станціях, скорочення порожнього ходу та усунення нераціональних переміщень порожніх вагонів мають велике значення для раціональної організації вантажних операцій.

Організація прибуття вагонів для вивантаження, тобто розподіл місцевих вантажів, є ключовою для діяльності дирекції. Це завдання підлягає постійному контролю з боку команди відділу перевезень дирекції.

Під час складання плану необхідно враховувати набір вагонів з місцевим вантажем, які утворюються переважно з вагонів, що надходять на дирекцію для вивантаження з інших дирекцій, залізниць. Тому поїзні диспетчери періодично,

залежно від оперативної ситуації, отримують інформацію від станцій дільниці щодо наявності місцевих вантажів на станціях дирекції та на «виході». Черговий по дирекції, у свою чергу, отримує інформацію від сусідніх дирекцій щодо передбачуваної передачі місцевих вантажів із вказівкою номерів поїздів, кількості вагонів та пунктів призначення місцевих вантажів.

Ефективне планування розвозу місцевих вантажів є гарантом рівномірної вантажної роботи протягом доби, що сприяє прискоренню вивантаження місцевих вантажів до пунктів призначення.

З метою забезпечення рівномірної вантажної роботи протягом доби, важливе значення має регулярне прибуття порожніх вагонів на станції для навантаження, їхнє використання для завантаження та вивантаження вантажів на станціях. Регулярний розподіл місцевого вантажу забезпечує постійність процесу вивантаження та своєчасне направлення порожніх вагонів на завантаження. Прискорення переміщення місцевих вантажів, якщо вивантаження відбувається успішно, допомагає отримати порожні вагони вчасно для виконання плану навантаження.

Розвіз місцевого вантажу до опорних станцій різних дільниць відбувається за допомогою дільничних, збірних та вивізних поїздів.

Щодо потреби вчасної підготовки станції до відчеплення або причіплення вагонів, поїзний диспетчер повідомляє чергового по станції заздалегідь.

3 Моделювання пропускної спроможності залізничних напрямків

3.1 Огляд наукових досліджень щодо визначення пропускної здатності дільниць та перегонів

Питання визначення пропускної здатності залізничних дільниць та перегонів є одним із ключових напрямів досліджень у галузі організації перевізного процесу. У науковій літературі значна увага приділяється як теоретичним аспектам визначення пропускної здатності, так і практичним методам її розрахунку та підвищення. Дослідження з цієї проблематики можна умовно поділити на дві великі групи: роботи українських учених, які сформували класичну методологію розрахунку пропускної здатності на залізницях пострадянського простору, та дослідження зарубіжних авторів, де активно застосовуються сучасні методи моделювання та оптимізації транспортних систем.

У працях українських науковців значний внесок у розвиток теорії пропускної здатності зробили такі дослідники, як Т. В. Бутько, Ю. С. Бараш, О. М. Папахов, А. В. Прохорченко [12, 13]. У роботах цих авторів пропускна здатність розглядається як один із основних показників експлуатаційної роботи залізниць, який характеризує максимальну кількість поїздів, що можуть бути пропущені по дільниці або перегону за визначений період часу за умови забезпечення безпеки руху та дотримання технології організації перевізного процесу. У навчальних та наукових працях Т. В. Бутько значна увага приділяється методам аналітичного розрахунку пропускної здатності, які базуються на визначенні мінімального міжпоїзного інтервалу та часу зайняття перегону. Подібні підходи розглядаються також у працях Ю. С. Бараша, де пропускна здатність аналізується в контексті управління експлуатаційною роботою залізниць та оптимізації графіків руху поїздів.

Вагомий внесок у дослідження цієї проблематики зробив А. В. Прохорченко, у роботах якого розглядаються сучасні підходи до аналізу пропускної

спроможності залізничної інфраструктури. У своїх дослідженнях автор приділяє значну увагу аналізу існуючих методів визначення пропускної спроможності та їх адаптації до сучасних умов функціонування транспортних систем. У працях, присвячених дослідженню пропускної спроможності з позицій теорії транспортних потоків, залізнична система розглядається як складна динамічна система, в якій взаємодіють різні потоки поїздів. Такий підхід дозволяє більш повно враховувати вплив нерівномірності руху поїздів, можливих затримок та інших факторів, що впливають на фактичну пропускну здатність інфраструктури. Крім того, у ряді робіт цього автора використовуються мережеві моделі транспортних систем та методи теорії графів, що дає можливість оцінювати функціонування залізничної мережі в умовах різних режимів навантаження та визначати критичні елементи інфраструктури.

В українській науковій школі традиційно застосовується графоаналітичний підхід до визначення пропускної здатності, який передбачає використання графіків руху поїздів для оцінки можливостей пропуску поїздопотоків на окремих дільницях. Такий підхід дозволяє враховувати особливості організації руху поїздів, взаємодію різних категорій поїздів та вплив станційної роботи на пропуску здатність дільниць. Разом із тим у сучасних дослідженнях зазначається, що традиційні методи розрахунку пропускної здатності мають певні обмеження, оскільки вони недостатньо враховують випадковий характер транспортних процесів та складність взаємодії елементів залізничної системи.

У зарубіжних дослідженнях підходи до визначення пропускної здатності залізничної інфраструктури дещо відрізняються. У працях таких авторів, як I. Hansen та J. Pachl, пропускну здатність розглядається у тісному зв'язку з процесами планування графіків руху поїздів та управління транспортними потоками. Значна увага приділяється питанням оптимізації розкладів руху та підвищення ефективності використання інфраструктури. У європейській практиці широкого застосування набув метод визначення пропускної здатності, запропонований Міжнародним союзом залізниць (UIC) у документі UIC 406 [14]. Цей метод базується на так званому принципі «стиснення графіка руху», коли існуючий

графік руху поїздів стискається до мінімально можливих інтервалів між поїздами. У результаті такого аналізу визначається фактичний рівень використання пропускної здатності інфраструктури та можливі резерви для збільшення обсягів перевезень.

У сучасних зарубіжних дослідженнях значна увага приділяється використанню математичних та комп'ютерних моделей для оцінки пропускної здатності. Так, у роботах M. Carey, D. Lockwood та інших дослідників застосовуються методи математичного програмування, теорії масового обслуговування та імітаційного моделювання. Використання таких методів дозволяє враховувати випадкові фактори, що впливають на роботу транспортної системи, а також аналізувати різні сценарії розвитку транспортної мережі. У багатьох дослідженнях пропускна здатність розглядається не лише як технічна характеристика інфраструктури, а й як результат взаємодії інфраструктурних, технологічних та організаційних факторів.

Основною відмінністю між підходами, що застосовуються українськими та зарубіжними дослідниками, є методологія розрахунку пропускної здатності. У вітчизняній науковій школі переважають аналітичні та графоаналітичні методи, які базуються на розрахунку мінімальних інтервалів між поїздами та аналізі графіків руху [15, 16]. Ці методи добре пристосовані до практичних умов експлуатації залізниць і широко використовуються при плануванні перевізного процесу. Водночас у зарубіжних дослідженнях більш поширеними є методи оптимізаційного та імітаційного моделювання, які дозволяють аналізувати складні транспортні системи та оцінювати вплив різних факторів на пропускну здатність інфраструктури.

Таким чином, аналіз наукових досліджень показує, що визначення пропускної здатності залізничних дільниць і перегонів є складною багатофакторною задачею, яка потребує комплексного підходу. Поєднання традиційних аналітичних методів, що застосовуються у вітчизняній практиці, з сучасними методами математичного та імітаційного моделювання, які широко

використовуються у зарубіжних дослідженнях, дозволяє підвищити точність оцінки пропускної здатності та ефективність управління перевізним процесом.

3.2 Методи дослідження пропускної спроможності. Сучасні підходи щодо розподілу транспортних потоків

Наукові роботи в цій сфері можна умовно поділити на кілька напрямів:

- аналітичні методи визначення пропускної здатності;
- методи графічного та графоаналітичного аналізу;
- оптимізаційні методи;
- імітаційне моделювання роботи залізничних систем.

Значний внесок у розвиток теорії пропускної здатності зробили дослідження, присвячені аналітичним методам оцінки пропускної здатності ліній. У таких роботах пропускна здатність визначається через мінімальний інтервал між поїздами, довжину перегону, систему сигналізації та швидкість руху.

У класичних дослідженнях пропускна здатність розглядається як функція технічних параметрів інфраструктури та режиму організації руху. Вона визначається на основі математичних моделей або емпіричних залежностей, які дозволяють оцінити максимально можливу інтенсивність руху поїздів.

Такі підходи широко застосовуються на практиці, однак вони мають обмеження, оскільки не враховують випадкові затримки, нерівномірність руху та складні взаємодії між поїздами.

Аналітичні методи є найстарішими та найпоширенішими у практиці залізничного транспорту. Вони базуються на розрахунку мінімального інтервалу між поїздами та часу зайняття перегону.

Сучасні дослідження показують, що аналітичні методи дозволяють отримати базову оцінку пропускної здатності, але потребують доповнення іншими методами аналізу.

Аналітичні підходи використовуються при плануванні розвитку інфраструктури; при розробці графіків руху; при оцінці резервів пропускної здатності.

У ряді досліджень також пропонуються математичні моделі, що дозволяють визначити пропускну здатність залізничної лінії залежно від умов експлуатації та структури руху поїздів.

У європейській практиці широко застосовується методика UIC 406, яка базується на принципі “стиснення графіка руху”.

Суть методу полягає у тому, що існуючий графік руху поїздів стискається до мінімально можливого інтервалу між поїздами. Отриманий результат дозволяє визначити фактичне використання пропускної здатності та резерви для додаткових поїздів.

Дослідження показують, що цей метод дозволяє ефективно оцінювати завантаженість залізничних ліній і використовуватися при плануванні розвитку транспортної інфраструктури.

З розвитком математичного програмування почали застосовуватися оптимізаційні методи дослідження пропускної здатності.

У таких моделях формується математична модель залізничної мережі; задається цільова функція (наприклад, мінімізація часу руху або затримок); враховуються обмеження інфраструктури та безпеки.

Оптимізаційні моделі дозволяють знаходити найбільш ефективні варіанти організації руху поїздів та визначати максимальну пропускну здатність мережі [17].

Такі моделі особливо ефективні при плануванні складних транспортних систем та багатоколіїних ділянок.

Останніми роками значного розвитку набули методи імітаційного моделювання. Імітаційні моделі дозволяють враховувати випадкові затримки; аналізувати різні сценарії руху; оцінювати вплив інфраструктурних змін.

У наукових роботах зазначається, що імітаційне моделювання є одним із найбільш точних інструментів оцінки пропускної здатності, оскільки воно відтворює реальні умови функціонування залізничної системи.

У сучасних дослідженнях все частіше застосовується комплексний підхід, який поєднує аналітичні, оптимізаційні та імітаційні методи.

Такий підхід дозволяє отримати більш точну оцінку пропускної здатності; визначити “вузькі місця” інфраструктури; розробити заходи щодо підвищення ефективності роботи залізничної мережі.

Порівняльні дослідження показують, що поєднання різних методів аналізу дозволяє значно підвищити точність оцінки пропускної здатності ділянок та вузлів залізничної мережі.

У сучасних роботах особлива увага приділяється впливу систем сигналізації на пропуску здатність; використанню цифрових систем управління рухом; оптимізації графіків руху поїздів.

Зокрема, дослідження показують, що впровадження сучасних систем сигналізації, таких як ETCS, може значно підвищити пропуску здатність залізничних ліній.

Крім того, активно розвиваються методи використання великих даних та алгоритмів оптимізації для планування перевезень і підвищення ефективності використання інфраструктури.

Пропуску спроможність кожного окремого елемента ділянки на УЗ аналітично визначають за його добовою або годинною продуктивністю і потужністю, що витрачається на обслуговування одного поїзда або пари поїздів.

Пропуску спроможність ділянки визначається за обмеженим перегоном

$$N = 1440k/T \quad (3.1)$$

де T – період графіка на обмежувальному перегоні, год;

k – число пар поїздів або поїздів даного напрямку, що пропускаються за один період графіка.

Наведена формула дає значення N при відсутності технологічних втрат і повної надійності технічних засобів. Якщо ця умова не виконується, то значення чисельника у формулі відповідно зменшується.

Пропускна спроможність ділянок залізничних ліній розраховується по перегонах спочатку для паралельного графіка і визначається в поїздах тільки однієї категорії, зазвичай вантажних [16]. Потім враховується вплив на пропускну спроможність поїздів, що прямують з іншими швидкостями, тобто розраховується пропускна спроможність непаралельності графіка.

Пропускна спроможність при паралельному графіку залежить від перегінного часу ходу, станційних інтервалів і інтервалів в пакеті, а також від колійного розвитку роздільних пунктів.

У загальному вигляді пропускна спроможність (пар поїздів) перегону виражається залежністю:

$$N = \frac{1440 - t_{\text{техн}}}{T_{\text{пер}}} \alpha_n \quad (3.2)$$

де $T_{\text{пер}}$ – період графіка, хв;

$t_{\text{техн}}$ – тривалість технологічного вікна, хв;

α_n – коефіцієнт надійності роботи технічних пристроїв.

При непаралельному графіку пропускна спроможність для вантажного руху виражається числом вантажних поїздів заданої маси і швидкості, які можуть бути пропущені по ділянці або лінії при обертанні заданого числа пасажирських, прискорених вантажних і збірних поїздів. Частина часу доби, яка через проходження зазначених поїздів не може бути використана для пропуску вантажних поїздів, називається часом знімання.

Пропускна спроможність для переважно вантажного руху, пар поїздів виражається залежністю:

$$N_{gr} = N - \epsilon_{ps} N_{ps} - \epsilon_{sb} N_{sb} - \epsilon_{usk} N_{usk} \quad (3.3)$$

де N – пропускна спроможність лінії по вантажному руху при паралельному графіку;

N_{ps}, N_{sb}, N_{usk} – число відповідно пасажирських, збірних і прискорених вантажних поїздів;

$\epsilon_{ps}, \epsilon_{sb}, \epsilon_{usk}$ – відповідно коефіцієнти знімання вантажних поїздів пасажирськими, збірними і прискореними вантажними поїздами.

Теорії транспортного потоку і математичні моделі, які домінують в даний час в наукових журналах і навчальних курсах більшості університетів, не можуть пояснити ні сам перехід від вільного до щільного потоку (traffic breakdown), ні основні властивості, які виникають в результаті цього переходу структур транспортного потоку.

Тому Кернером запропоновано і розроблено альтернативну теорію транспортних потоків, названу теорією трьох фаз, яка може передбачити і пояснити емпіричні властивості переходу до щільного потоку (traffic breakdown) і результуючих просторово-часових структур в транспортному потоці. Як досягнення, так і критика попередніх класичних підходів до теорії транспортних потоків представлені в главі 10 книги Кернера [18, 19].

Метою даного дослідження виступає формування моделі пропускної спроможності ділянки напрямку високошвидкісного руху з урахуванням побудови окремої колії із застосуванням теорії Кернера. На основі сформованої мети необхідно виконати наступні завдання:

- описати механізми модернізації з розширення пропускної спроможності та підвищення якості обслуговування;
- охарактеризувати пропускну спроможність;
- навести діаграму розподілу теорії трьох фаз Кернера та діаграму розподілу потоку поїздів;

– знайти пропускну спроможність ділянки напрямку високошвидкісного руху з урахуванням теорії Кернера.

Теорія трьох фаз Кернера є емпіричною теорією. Теорії транспортних потоків відокремлювали потік на вільний та ускладнений. Відповідно до теорії Кернера, у щільному потоці виділяють додаткові дві фази: синхронізований потік та широкий кластер об'єктів, що рухаються. Таким чином, відповідно до цього, існує три фази транспортного потоку (рисунок 3.1):

- 1) вільний потік;
- 2) синхронізований потік;
- 3) широкий кластер об'єктів, що рухаються.

Враховуючи теорію Кернера будемо вважати, що вантажопотік є безперервним середовищем. Тоді середня швидкість потоку прямо залежить від щільності поїздів, з урахуванням величини потоку (рисунок 3.2).



Рисунок 3.1 – Діаграма розподілу теорії трьох фаз Кернера

Приймаємо, що

$$Q(p) = v(p)p \quad (3.4)$$

Відповідно до наведеної діаграми на рисунку 3.2 є можливість стверджувати, що чим більше швидкість руху поїзду, тим нижче щільність потоку, за рахунок зниження середнього часу руху.

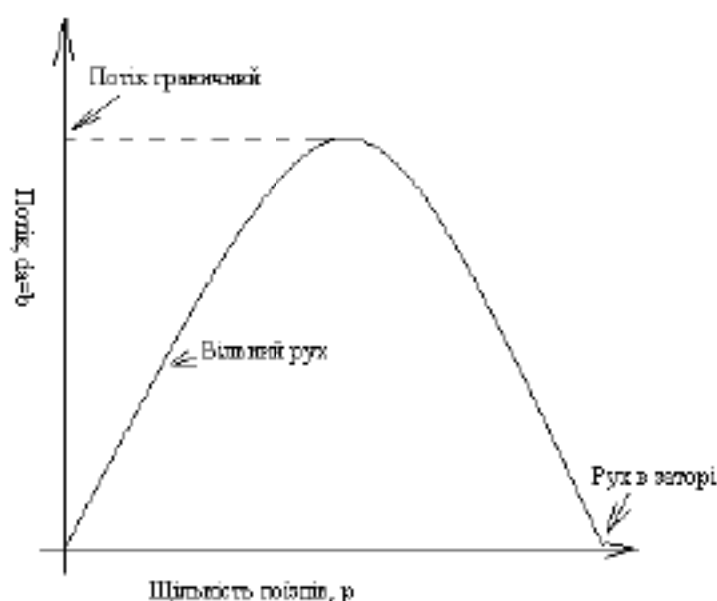


Рисунок 3.2 – Діаграма розподілу потоку поїздів

Таким чином, спираючись на модель Кернера є можливість сформулювати модель пропускнує спроможності ділянки напрямку високошвидкісного руху. Суть даної моделі базується на твердженні, що є нескінченна кількість значень пропускнує спроможності у вільному просторі, тобто:

$$q_{th} \leq q \leq q_{max} \quad (3.5)$$

Виходячи з вищенаведеного варто зазначити, що у разі якщо величина потоку високошвидкісних поїздів близька до q_{max} (максимального значення пропускнує спроможності), то найменше збурення призводить до фазового переходу. У протилежному випадку для реалізації фазового переходу необхідне збурення дуже великої амплітуди.

Пропускна спроможність ділянки напрямку високошвидкісного руху з урахуванням теорії Кернера знаходиться за формулою:

$$Q_{\text{випр}} = Q_{\text{пр.сп.існ.}} - \varepsilon * n \quad (3.6)$$

$Q_{\text{випр}}$ - пропускна спроможність ділянки напрямку високошвидкісного руху;

$Q_{\text{пр.сп.існ.}}$ - існуюча пропускна спроможність;

ε - коефіцієнт зняття;

n - загальна кількість поїздів.

3.3 Дослідження впливу непаралельності графіку руху поїздів на пропускну спроможність напрямків

Європейський підхід до організації руху поїздів на лініях високошвидкісного сполучення (ВШМ) передбачає кілька базових моделей, які дозволяють оптимально поєднувати швидкість, безпеку та пропускну спроможність інфраструктури. У класичній інтерпретації виділяють п'ять основних варіантів організації руху, кожен із яких застосовується залежно від технічних характеристик лінії та структури пасажиропотоку [20].

Найпростішим і водночас найбільш ефективним з точки зору використання пропускну спроможності є перший варіант — так званий змішаний рух типу 0. Його сутність полягає в тому, що всі поїзди, які курсують певною ділянкою, рухаються з однаковою швидкістю. У такому випадку графік руху має вигляд паралельних «ниток», що означає рівномірне та узгоджене просування складів без необхідності їх обгону чи додаткового регулювання інтервалів.

Саме така однорідність швидкісного режиму дозволяє досягти максимально можливої пропускну спроможності лінії. Відсутність різниці у швидкостях усуває конфлікти між поїздами, мінімізує потребу у складних диспетчерських рішеннях і знижує ризики затримок. Крім того, це позитивно впливає на енергоефективність та стабільність розкладу.

Позначення «0» у цій моделі означає, що в заданий проміжок часу на розглянутій ділянці відсутні поїзди, які рухаються з вищою швидкістю V_2 порівняно з базовою швидкістю V_1 (де $V_2 > V_1$). Іншими словами, у потоці немає швидкісної диференціації — усі поїзди працюють у єдиному швидкісному режимі, що і визначає ключову особливість цього варіанту організації руху (рис. 3.3).

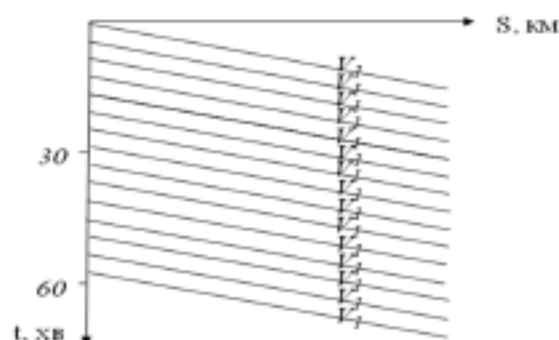


Рисунок 3.3- Графік змішаного руху за типом 0 (приклад - лінія LN1, Франція, Мілан - Рим, Італія)

Вітчизняним аналогом змішаного руху за типом 0 є організація руху поїздів за паралельним графіком.

Одноколійний графік руху, попри свою зовнішню простоту, є доволі специфічним інструментом організації перевезень. Його застосовують переважно на багатоколійних лініях із непарною кількістю колій, де виникає необхідність гнучко розподіляти потоки поїздів між напрямками. Такий підхід дозволяє ефективніше використовувати інфраструктуру, особливо в умовах нерівномірного попиту або при виконанні ремонтних робіт.

Водночас теоретично допускається використання одноколійних вставок і на лініях високошвидкісного руху. Хоча на сьогодні це майже не практикується на основних магістралях ВШМ, подібні рішення інколи застосовуються на з'єднувальних або допоміжних ділянках. У перспективі це може стати актуальним для оптимізації витрат на будівництво або в складних географічних умовах, однак потребує надзвичайно точного планування графіка та високого рівня диспетчерського управління.

Другий варіант організації руху — змішаний рух типу 1 — є вже більш складною моделлю, яка передбачає наявність у потоці поїздів із різними швидкостями. У цьому випадку протягом розглянутого інтервалу часу по ділянці проходить один поїзд із підвищеною швидкістю V_2 , де V_2 перевищує базову швидкість V_1 , характерну для решти складів (рисунок 3.4).

Така диференціація швидкостей неминуче ускладнює структуру графіка руху. На відміну від повністю паралельних ниток у типі 0, тут виникає необхідність враховувати взаємодію швидкісного поїзда з повільнішими, що може потребувати організації обгонів або збільшення інтервалів між поїздами. Це, у свою чергу, дещо знижує загальну пропускну спроможність ділянки, але дозволяє інтегрувати швидкісні сервіси в існуючий рух без повного його розділення.

Числове позначення «1» у даній моделі відображає саме факт присутності одного поїзда, який рухається з більшою швидкістю V_2 у межах заданого періоду часу. Таким чином, структура потоку вже не є однорідною, і система організації руху переходить від максимальної простоти до більш гнучкої, але водночас і більш складної в управлінні конфігурації.

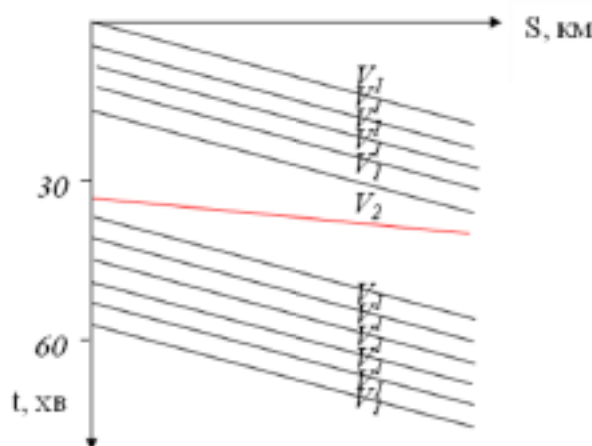


Рисунок 3.4- Графік змішаного руху за типом 1 (приклад - лінія Мангейм - Штутгарт, Німеччина)

Вітчизняним аналогом змішаного руху за типом 1 є організація руху поїздів за непаралельним графіком.

Третій варіант організації руху — змішаний рух типу 2, або так званий пакетний режим — відображає подальший розвиток і ускладнення структури поїзного потоку. Його застосування доцільне у випадках, коли на ділянці необхідно пропустити не один, а вже два швидкісні поїзди, що рухаються зі швидкістю V_2 , причому V_2 перевищує базову швидкість V_1 інших поїздів.

Ключовою особливістю цього варіанту є те, що обидва швидкісні поїзди прямують послідовно один за одним із мінімально допустимим інтервалом, який визначається вимогами безпеки, характеристиками сигналізації та рівнем автоматизації керування рухом. Фактично вони формують «пакет» — компактну групу поїздів із однаковими параметрами руху, що проходить ділянку як єдине ціле.

Такий підхід дозволяє частково компенсувати негативний вплив різниці швидкостей у змішаному потоці. Замість рівномірного розподілу швидкісних поїздів у графіку їх концентрують у часі, що зменшує кількість конфліктних ситуацій із повільнішими поїздами. Після проходження пакета з'являється «вікно», яке може бути використане для руху складів зі швидкістю V_1 без необхідності складних обгонів.

Разом із тим пакетний режим висуває підвищені вимоги до точності дотримання графіка. Будь-яке відхилення одного з поїздів у пакеті може спричинити ланцюгові затримки, оскільки інтервали між ними є мінімальними. Тому ефективна реалізація цього варіанту можлива лише за наявності сучасних систем управління рухом, високого рівня автоматизації та надійної інфраструктури.

Числове позначення «2» у даному випадку вказує на те, що протягом розглянутого періоду часу по ділянці проходять два поїзди зі швидкістю V_2 , які організовані у щільну групу. Це робить графік більш структурованим і водночас більш складним, оскільки поєднує елементи інтенсивного швидкісного руху з необхідністю узгодження його з іншими категоріями поїздів (рис. 3.5).

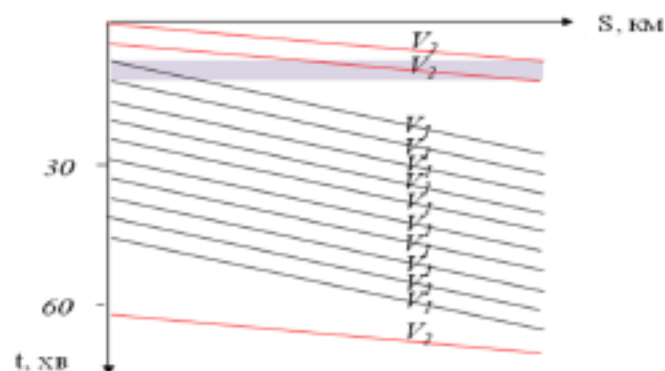


Рисунок 3.5- Графік змішаного руху за типом 2-пакетний (приклад - Мадрид - Барселона, Іспанія)

На вітчизняних залізницях розрізняють пачечний і пакетний графіки.

Четвертий варіант організації руху — змішаний рух типу 2 у режимі «врозкид» — є альтернативною формою реалізації двох швидкісних поїздів у межах одного розрахункового періоду. На відміну від пакетного підходу, де поїзди V_2 рухаються максимально щільно, у цьому випадку між ними навмисно витримується збільшений часовий інтервал.

Сутність такого режиму полягає в тому, що два поїзди зі швидкістю V_2 слідують послідовно, але з таким інтервалом t , який є гранично можливим із точки зору ущільнення графіка: він ще недостатній для того, щоб між цими поїздами можна було вставити додаткову «нитку» для поїзда зі швидкістю V_1 . Іншими словами, інтервал уже не є мінімальним, як у пакетному режимі, але й не досягає величини, що дозволяє ефективно використати його для пропуску повільнішого рухомого складу.

Такий підхід формує своєрідну «розріджену» структуру швидкісного потоку. З одного боку, це може підвищити стійкість графіка до незначних відхилень, оскільки збільшений інтервал між швидкісними поїздами створює певний резерв часу. З іншого боку, використання пропускнуої спроможності виявляється менш ефективним порівняно з пакетним варіантом, адже між швидкісними поїздами фактично виникає «мертвий простір», який не може бути заповнений іншими поїздами.

З організаційної точки зору цей варіант може застосовуватися у випадках, коли необхідно забезпечити більшу надійність руху або врахувати обмеження інфраструктури, наприклад, на ділянках із складним профілем чи при неоднорідних умовах експлуатації. Водночас він вимагає ретельного балансування між резервами часу та втратами пропускної спроможності.

Позначення «2» у цій моделі, як і в пакетному варіанті, означає наявність двох поїздів зі швидкістю V_2 у межах заданого інтервалу часу. Проте характер їх розташування у графіку принципово інший: замість компактного «пакета» формується розосереджена структура, яка відображає компроміс між інтенсивністю швидкісного руху та гнучкістю експлуатації (рис. 3.6).

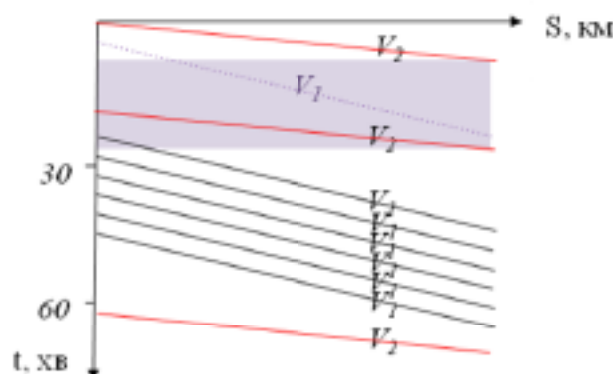


Рисунок 3.6- Графік змішаного руху за типом 2- врозкид

Вітчизняним аналогом змішаного руху за типом 2- врозкид є організація руху поїздів за непаралельним графіком.

П'ятий варіант організації руху — змішаний рух типу 2 у так званому «середньому» режимі — є компромісною моделлю між двома попередніми підходами: пакетним і «врозкид». Його застосування передбачає більш збалансоване розміщення швидкісних поїздів у часовому інтервалі, що розглядається.

У цьому випадку два поїзди зі швидкістю V_2 прямують послідовно, але інтервал між ними встановлюється на рівні приблизно половини заданого періоду часу. Таким чином, швидкісні поїзди не концентруються надто щільно, як у пакетному режимі, і водночас не розміщуються надто розріджено, як у варіанті

«врозкид». Вони займають проміжне положення, формуючи більш рівномірну структуру руху.

Така організація дозволяє частково поєднати переваги обох підходів. З одного боку, зменшується пікове навантаження на інфраструктуру та системи керування, характерне для пакетного проходження. З іншого — підвищується ефективність використання пропускної спроможності порівняно з розрідженим варіантом, оскільки часові інтервали розподіляються більш раціонально.

Разом із тим, як і в інших змішаних моделях, наявність різних швидкостей у потоці потребує точного узгодження графіка. Інтервал, що дорівнює половині розрахункового періоду, зазвичай не дозволяє повноцінно вставити між швидкісними поїздами поїзд зі швидкістю V_1 без додаткових коригувань, але може створювати певні резерви для гнучкого диспетчерського регулювання.

Позначення «2» і в цьому випадку вказує на наявність двох швидкісних поїздів у межах одного інтервалу часу. Однак на відміну від інших варіантів типу 2, тут визначальною є не лише їх кількість, а й характер розташування в часі, що забезпечує більш рівномірний і збалансований режим руху на ділянці (рис. 3.7).

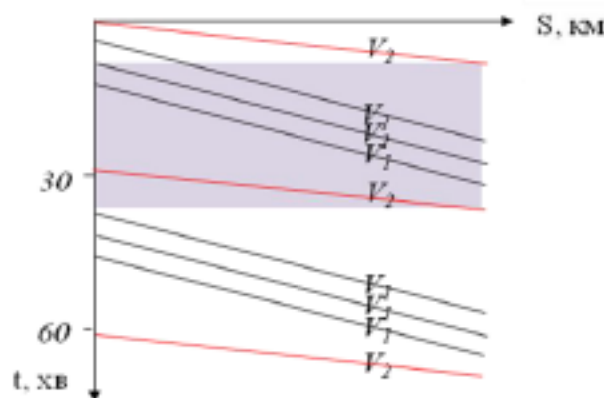


Рисунок 3.7- Графік змішаного руху за типом 2- середній

Вітчизняним аналогом змішаного руху за типом 2- середній є організація руху поїздів за непаралельним графіком.

Непаралельність руху є однією з ключових причин зниження пропускної спроможності залізничних напрямків, особливо на лініях із високою інтенсивністю

та змішаним характером перевезень. Вона виникає у випадках, коли поїзди рухаються з різними швидкостями, мають відмінні режими зупинок або різні експлуатаційні параметри. У такій ситуації графік руху втрачає свою впорядкованість: «нитки» поїздів перестають бути паралельними, що призводить до виникнення конфліктів між поїздами та ускладнення управління рухом. У теоретично оптимальному випадку всі поїзди рухаються з однаковою швидкістю, що забезпечує стабільні інтервали, відсутність обгонів і максимально можливе використання пропускнуої спроможності. Однак у реальних умовах така однорідність досягається рідко, особливо на напрямках, де одночасно курсують швидкісні, пасажирські та вантажні поїзди.

Одним із головних наслідків непаралельності є необхідність організації обгонів, коли швидші поїзди наздоганяють повільніші. Це вимагає використання додаткової інфраструктури, такої як обгінні колії або станції, а також складних диспетчерських рішень. Кожен обгін супроводжується витратами часу, збільшенням інтервалів і, як наслідок, зменшенням кількості поїздів, які можуть пройти ділянку за певний період. Крім того, для уникнення конфліктів між поїздами доводиться збільшувати міжпоїзні інтервали та закладати додаткові часові резерви, що безпосередньо знижує ефективність використання пропускнуої спроможності.

Ще одним важливим аспектом є поява так званих «мертвих зон» у графіку руху. Це інтервали часу, які не можуть бути ефективно використані: вони занадто короткі для пропуску повільного поїзда, але водночас залишаються незадіяними. Такі ситуації особливо характерні для неструктурованих режимів організації руху, коли швидкісні поїзди розподіляються нерівномірно. У результаті частина потенційної пропускнуої спроможності фактично втрачається. Водночас непаралельність негативно впливає і на стійкість графіка: будь-яке відхилення від розкладу одного поїзда може спричинити затримки інших, формуючи ланцюгову реакцію. Це особливо критично для ділянок із щільним рухом або для

високошвидкісних магістралей, де точність дотримання графіка має вирішальне значення.

З кількісної точки зору вплив непаралельності проявляється через збільшення ефективного інтервалу між поїздами, що безпосередньо зменшує їх можливу кількість у заданому часовому проміжку. Навіть незначна різниця швидкостей може призвести до відчутних втрат пропускної спроможності, а при інтенсивному змішаному русі ці втрати можуть досягати значних величин. Вплив різних типів організації руху також відрізняється: повністю паралельний рух забезпечує максимальну ефективність, тоді як варіанти з нерівномірним розташуванням швидкісних поїздів призводять до більших втрат. Найбільш збалансованими вважаються режими, що дозволяють частково впорядкувати швидкісний потік, наприклад, шляхом його групування.

Для високошвидкісних магістралей проблема непаралельності має ще більшу вагу, оскільки різниця швидкостей між поїздами є суттєвішою, а вимоги до безпеки та точності руху значно жорсткіші. У таких умовах навіть незначні порушення графіка можуть призводити до серйозних експлуатаційних ускладнень. Саме тому при проектуванні та експлуатації ВШМ прагнуть або забезпечити максимально однорідний рух, або застосовувати спеціальні методи організації, які дозволяють мінімізувати негативний вплив непаралельності [23, 24].

Таким чином, непаралельність руху є системним фактором, що обмежує ефективність використання залізничної інфраструктури. Вона впливає як на кількісні показники роботи, зокрема пропускну спроможність, так і на якісні характеристики, такі як надійність і стабільність графіка. Оптимізація цих процесів потребує комплексного підходу, що поєднує технічні рішення, удосконалення графіка руху та підвищення рівня автоматизації управління перевезеннями.

Таблиця 3.1 - Порівняння впливу різних типів організації руху

Тип руху	Рівень непаральності	Вплив на пропускну спроможність
Тип 0	відсутній	максимальна
Тип 1	низький	помірне зниження
Тип 2 (пакет)	середній	ефективне використання, але ризик нестабільності
Тип 2 (врозкид)	високий	значні втрати
Тип 2 (середній)	середній	компроміс

Таким чином, паралельний рух — еталон ефективності, але рідко досяжний у змішаних системах. Непаральність неминуче знижує пропускну спроможність, навіть при незначній різниці швидкостей. Найменші втрати дає пакетна організація, якщо забезпечена точність графіка. Найбільші втрати виникають при неструктурованому («врозкид») русі. Оптимізація графіка — це баланс між швидкістю, стабільністю і щільністю руху.

Коефіцієнт знімання поїздів є важливим теоретичним показником у теорії організації руху, який відображає втрати пропускну спроможності, що виникають унаслідок непаральності руху. Його сутність полягає у кількісній оцінці того, скільки «ниток» графіка (тобто потенційних поїздів) вилучається або не може бути реалізовано через введення в потік поїздів із відмінними швидкостями або режимами руху.

У базовому, ідеалізованому випадку, коли всі поїзди рухаються з однаковою швидкістю, графік є паралельним, а пропускну спроможність досягає свого максимуму. У такій ситуації кожен поїзд займає фіксований інтервал часу, і їх кількість у заданому періоді визначається лише мінімальним міжпоїзним інтервалом. Проте при введенні в потік поїздів, що рухаються швидше або повільніше, виникає необхідність у зміні структури графіка: збільшуються інтервали, з'являються обгони, утворюються нерівномірні часові проміжки. Усе це призводить до того, що частина можливих поїздів «випадає» з графіка.

Саме для кількісного опису цього ефекту вводиться коефіцієнт знімання. Він показує, скільки поїздів базового типу (наприклад, зі швидкістю V_1) необхідно

вилучити з графіка для пропуску одного поїзда з іншими характеристиками (наприклад, зі швидкістю V_2). Таким чином, цей коефіцієнт фактично відображає «вартість» включення одного поїзда іншої категорії з точки зору втрати пропускнуої спроможності.

Теоретично коефіцієнт знімання можна розглядати як відношення додаткового часу, який вноситься у графік через непаралельність, до базового інтервалу руху. Якщо позначити базовий інтервал між поїздами як (I_0) , а ефективний інтервал при змішаному русі як, то різниця між ними і визначає втрати часу, які еквівалентні «зняттю» певної кількості поїздів. У більш загальному вигляді коефіцієнт знімання можна інтерпретувати як відношення зменшення максимально можливої кількості поїздів до кількості введених поїздів іншої категорії.

Фізичний зміст цього показника полягає в тому, що кожен поїзд, який відрізняється за швидкістю або режимом руху, порушує рівномірність потоку і створює додаткові часові втрати. Чим більша різниця швидкостей між поїздами, тим більшим є цей ефект, а отже, тим вищим буде коефіцієнт знімання. У граничному випадку, коли швидкісний поїзд потребує значного випередження або створює великі інтервали, він може «знімати» декілька поїздів базового типу.

Важливою особливістю є те, що коефіцієнт знімання залежить не лише від швидкостей, а й від організації руху. Наприклад, при пакетному пропуску швидкісних поїздів їх вплив на пропускну спроможність зменшується, оскільки втрати концентруються в одному інтервалі часу. Натомість при нерівномірному розподілі поїздів ці втрати розсіюються по всьому графіку, що призводить до більшого сумарного ефекту.

Таким чином, коефіцієнт знімання є узагальнюючим параметром, який дозволяє оцінити вплив неоднорідності поїзного потоку на ефективність використання інфраструктури. Його теоретичне обґрунтування базується на порівнянні ідеального (паралельного) та реального (непаралельного) графіків руху і відображає ті втрати пропускнуої спроможності, які неминуче виникають при змішаному русі поїздів.

Пропускна спроможність непаралельного графіку, $N_{назв}^{непар}$, знижується за рахунок наявності поїздів різних категорій: пасажирських, приміських, збірних, швидкісних тощо та визначається через відповідні коефіцієнти знімання

$$N_{назв}^{напоз} = N_{назв} - N_{пс} \cdot \varepsilon_{пс} + N_{пр} + N_{зб} \cdot \varepsilon_{зб} + N_{шв} \cdot \varepsilon_{шв} \quad (3.7)$$

де $N_{пс}$, $N_{пр}$, $N_{зб}$, $N_{шв}$ – число (пар, одиниць) пасажирських та приміських, збірних, швидкісних поїздів з порожніх вагонів та договірних поїздів, які необхідно прокласти на графіку;

$\varepsilon_{пс}$, $\varepsilon_{пр}$, $\varepsilon_{зб}$, $\varepsilon_{шв}$ – коефіцієнти знімання вантажних поїздів загальної швидкості поїздами інших вказаних категорій.

Згідно з технічним оснащенням коефіцієнти знімання можна прийняти:

- для однокільної дільниці $\varepsilon_{пс} = 1,3$, $\varepsilon_{зб} = 1,6$, $\varepsilon_{шв} = 1,1$;
- для двокільної дільниці $\varepsilon_{пс} = 1,5$, $\varepsilon_{зб} = 2,5$, $\varepsilon_{шв} = 1,2$.

На двокільній дільниці коефіцієнти зняття можуть бути розраховані взаємності від швидкості курсування пасажирських поїздів наступним чином. Для пасажирських поїздів, які мають швидкість до 140 км/год

$$\varepsilon_{пс} = \frac{t_{ван} \cdot (1-\Delta) \cdot (0,8-0,005 \cdot n_{пс})}{I} + \frac{7,2}{n_{пс}} + 1, \quad (3.8)$$

Для пасажирських поїздів, які мають швидкість руху 140-200 км/год

$$\varepsilon_{пс} = \frac{t_{ван} \cdot (1-\Delta) \cdot (0,8-0,005 \cdot n_{пс})}{I} + \frac{15}{n_{пс}} + 1, \quad (3.9)$$

На одноколіїних ділянках з двоколіїними вставками, з організацією безупинкових схрещень поїздів, коефіцієнт зняття для пасажирських поїздів визначається як

$$\varepsilon_{\text{пс}} = 1 + (1,5 \cdot \Delta - 0,3) \cdot (1 - 0,03 \cdot n_{\text{пс}}), \quad (3.10)$$

де Δ – співвідношення чистого часу руху пари пасажирських поїздів до часу руху пари вантажних поїздів на розрахунковій дільниці, хв.;

$n_{\text{пс}}$ – загальна кількість пасажирських (у тому числі приміських) поїздів на розрахунковій дільниці;

I – міжпоїзний інтервал, хв.

Пропускна спроможність паралельного парного непакетного графіку (звичайного) визначається через кращу схему з мінімальним періодом (рисунок 3.8, 3.9)

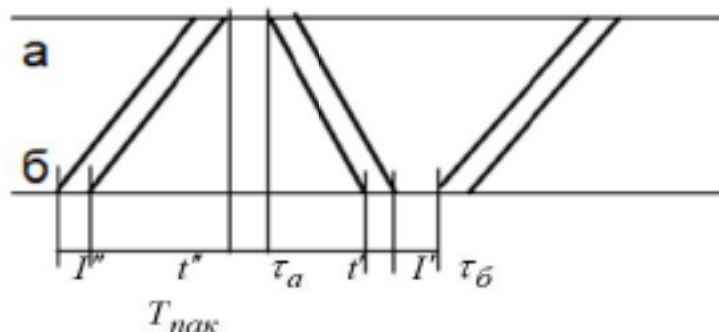


Рисунок 3.8- Період пакетного (парного) графіку

Для схеми, коли поїзди прямують сходу з обмежувального перегону

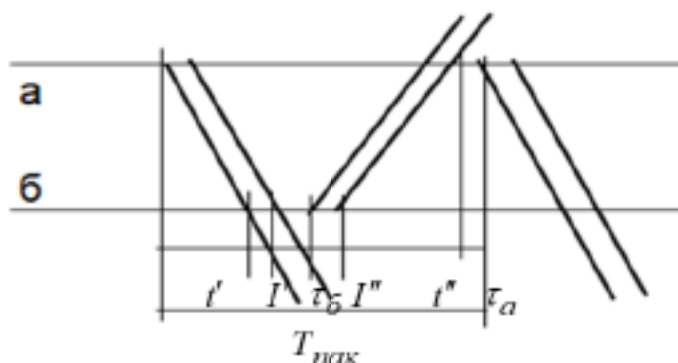


Рисунок 3.9- Період пакетного (парного) графіку для 2ої схеми

Пропускна спроможність пакетного графіку матиме вигляд

$$N_{\text{пак}}^{\text{пак}} = \frac{(1440 - T_{\text{тех}}) \cdot \alpha_{\text{н}}}{T_{\text{пак}}} \cdot \kappa = \frac{(1440 - T_{\text{тех}}) \cdot \alpha_{\text{н}}}{T + (\kappa - 1) \cdot (I' + I'')} \cdot \kappa, \quad (3.11)$$

де κ - кількість поїздів у пакеті;

I - розрахунковий інтервал між поїздами у пакеті (АБ).

При $I' = I''$ та 2 поїздах у пакеті

$$N_{\text{пак}}^{\text{пак}} = \frac{(1440 - T_{\text{тех}}) \cdot \alpha_{\text{н}}}{T + (2 - 1) \cdot 2I} \cdot 2 = \frac{(1440 - T_{\text{тех}}) \cdot \alpha_{\text{н}}}{T + 2I} \cdot 2, \quad (3.12)$$

Частково-пакетний (парний) графік характеризується коефіцієнтом пакетності

$$\alpha_{\text{пак}} = \frac{N_{\text{пак}}}{N} = \frac{C_{\text{пак}}}{C}, \quad (3.13)$$

де $N_{\text{пак}}, C_{\text{пак}}$, - кількість поїздів, що прокладені по пакетному графіку за добу та відповідно за період графіку;

N, C - загальна кількість поїздів за добу та відповідно за період графіку.

$$\alpha_{\text{пак}} = 4/6 = 2/3 = 0,67$$

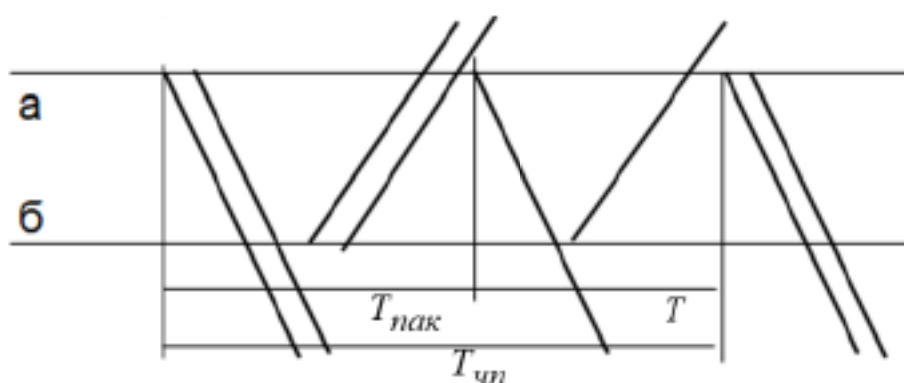


Рисунок 3.10- Період частково- пакетного (парного) графіка при $\alpha_{пак}=0,67$

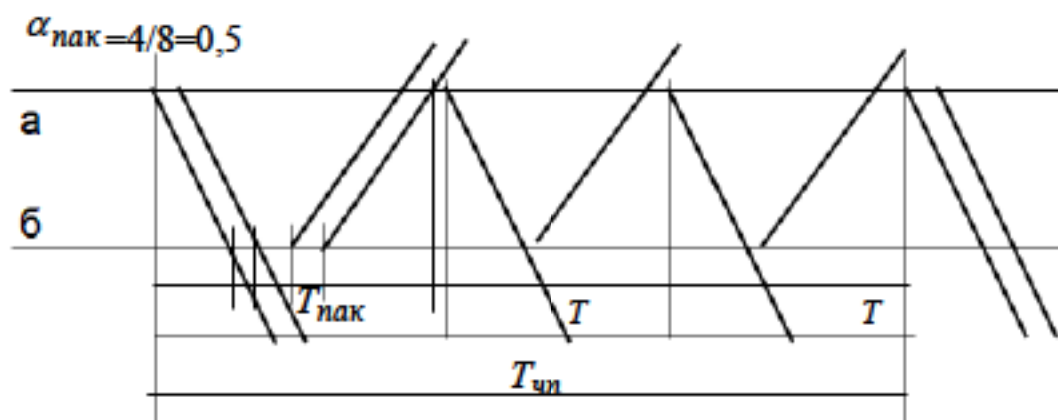


Рисунок 3.11- Період частково- пакетного (парного) графіка при $\alpha_{пак}=0,5$

При двох поїздах у пакеті наявна пропускна спроможність матиме вигляд

$$N_{наяв}^{чп} = \frac{(1440 - T_{мех}) \cdot \alpha_n \cdot 2}{(2 - \alpha_{пак}) \cdot T + \alpha_{пак} \cdot (I' + I'')} = \frac{(1440 - T_{мех}) \cdot \alpha_n \cdot 2}{(2 - \alpha_{пак}) \cdot T + 2 \cdot \alpha_{пак} \cdot I} \quad (3.14)$$

3.4 Вихідні дані для моделювання пропускної спроможності дільниць

На підставі зібраного статистичного матеріалу по якісних та кількісних показників роботи обраного полігону ДН- К проведено його аналіз по обсягах відправлених та пропущених поїздів різних категорій. Статистичні дані та результати розрахунку статистичних показників відповідно до [7] зведено до

таблиці 3.2. Визначено основні статистичні характеристики показника, а саме: максимальне значення, мінімальне, математичне очікування, коефіцієнт нерівномірності та стандартне відхилення, коефіцієнт варіації [21, 22].

Таблиця 3.2- Результати розрахунку статистичні показники роботи ДН-К по відправленню та прослідкуванню поїздів всіх категорій

Статистичний показник	Відправлено поїздів	Прослідувало поїздів
Максимум - 2011 р.	100673	200900
Мінімум - 2022 р.	41319,9684	72757,78791
Матем. очікування	79170	142132
Дисперсія	333083536	1316871211
Сер. кв. відхилення	3997002427	15802454530
Коефіц. нерівномірності	1,27	1,41

Проведено також дослідження обсягів роботи залізничного підрозділу у просторовому вимірі (таблиця 3.3), а саме розподілу графікових та фактичних добових розмірів руху поїздів різних категорій по дільницях (рисунок 3.12).

Таблиця 3. 3- Добові графікові розміри руху поїздів різних категорій по дільницях дирекції

Дільниця дирекції	Графікові розміри руху (пар)	Фактичні розміри руху (пар)			
		вант	пас	прим	разом факт
К-Пас –К-Дем(Гр)	144	26	83	35	144
К-Дем-Дар(Гр)	119	13	62	31	106
Дар – Г(Гр)	41	8	16	8	32
К-Пас – К-Дем(Мир)	139	22	86	31	139
К- Дем– М(Мир)	30	5	21	4	30
К-Пас–Н	118	52	49	17	118
К-Т	71	13,5	18		31,5
К-Пас-Ф	160	21	77	25	123
Чер- Гор	13	5	6	2	13
Чер- Й	5		5		5

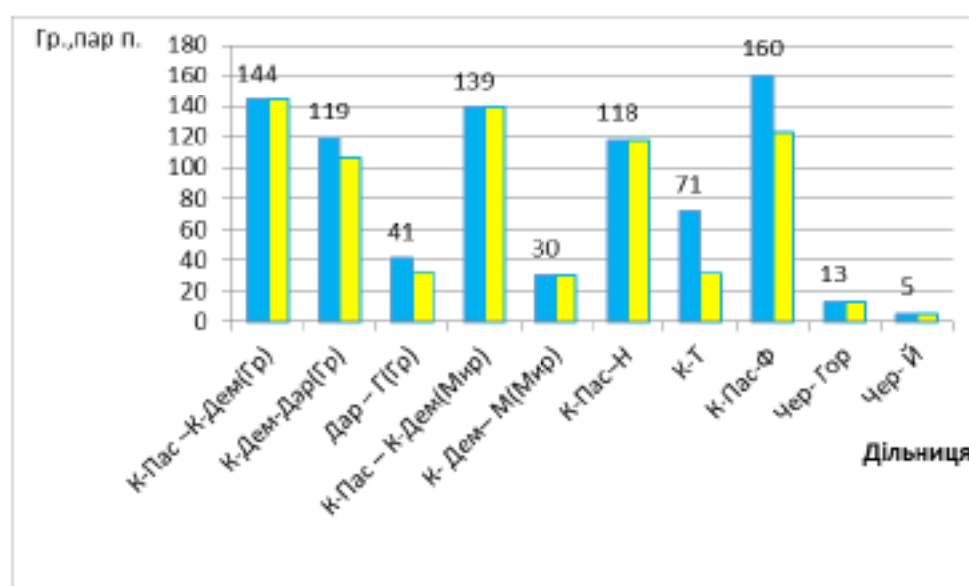


Рисунок 3.12– Розподіл добових графікових розмірів руху (синім кольором) та фактичних (жовтим кольором) по дільницях дирекції

Аналізом добових графікових розмірів руху вантажних та пасажирських поїздів різних категорій по напрямках дирекції визначено нерівномірність їх завантаження. Найбільш завантаженими є дільниці: К-Дем–Дар(Гр), К-Пас-Ф, К-

Пас–К-Дем по дільницях Гр, Мир та Фаст. Найменш завантаженим напрямком є Чер-Й.

Розподіл добових фактичних розмірів руху по дільницях дирекції за категоріями поїздів (факт) наведено на рисунку 3.13.

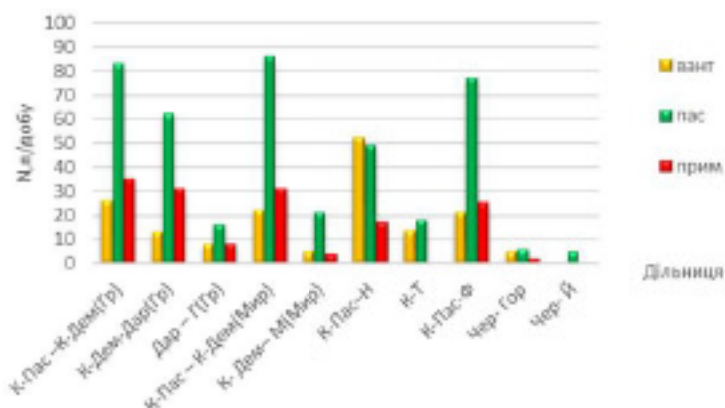


Рисунок 3.13– Розподіл добових фактичних розмірів руху по дільницях дирекції за категоріями поїздів (факт)

Визначено, що по всіх дільницях переважним для даного залізничного підрозділу є пасажирський рух.

Наявна пропускна спроможність на двоколінійній дільниці К-Пас – Да при паралельному графіку з максимальною швидкістю 100 км/год, поїздів по кожній колії

$$N_{\text{ном}} = \frac{(1440 - 120) * 0,94}{8} = 155$$

Коефіцієнт знімання, для зазначеної дільниці становить 1,5.

Наявна пропускна спроможність на двоколінійній дільниці К-Пас – Да при непаралельному графіку, поїздів по кожному напрямку

$$N_{\text{ном}}^{\text{непар}} = 155 - 1,5 * 83 = 30$$

Наявна пропускна спроможність на двоколінійній ділянці К-Дем- Дар(Гр), яка є чотирьохколіійною ділянцею. Тому при паралельному графіку наявна пропускна спроможність по кожній колії становить

$$N_{\text{набл}} = \frac{(1440 - 120) * 0,94 * 2}{8} = 310 \text{ поїздів.}$$

Наявна пропускна спроможність на двоколінійній ділянці К-Дем-Дар(Гр) при непаралельному графіку наявна пропускна спроможність по кожній колії становить

$$N_{\text{непар}}^{\text{набл}} = 310 - 1,5 * 62 = 217 \text{ поїздів.}$$

Аналогічними розрахунками визначено наявну пропускну спроможність при різних типах графіку (паралельний, непаралельний) одноколіійних та двоколіійних діляниць. Результати розрахунків зведено до таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Наявна пропускна спроможність на напрямках та резерв при різних способах організації руху

Діляниця дирекції	Графікові розміри руху, пар	Фактичні розміри руху, пар				Наявна проп. спроможність			
		вант	пас	прим	Разом	$N_{\text{набл}}$	резерв	$N_{\text{непар}}^{\text{набл}}$	резерв
К-Пас– К-Дем(Гр)	144	26	83	35	144	155	11	30	-114
К-Дем– Дар(Гр)	119	13	62	31	106	310	204	217	111
Дар – Г(Гр)	41	8	16	8	32	155	123	131	99
К-Пас – К-Дем(Мир)	139	22	86	31	139	155	16	26	-113
К- Дем– М(Мир)(од)	30	5	21	4	30	63	33	31	1
К-Пас–Н	118	52	49	17	118	155	37	81	-37
К-Т	71	13,5	18		31,5	155	123,5	128	96
К-Пас-Ф	160	21	77	25	123	155	32	123	0
Чер- Гор(од)	13	5	6	2	13	57	44	49	36
Чер- Й(од)	5		5		5	39	34		

На підставі розрахунків побудовано діаграми фактичних розмірів руху та наявної пропускної спроможності в умовах паралельного та непарального графіків (рисунок 3.14, 3.15).

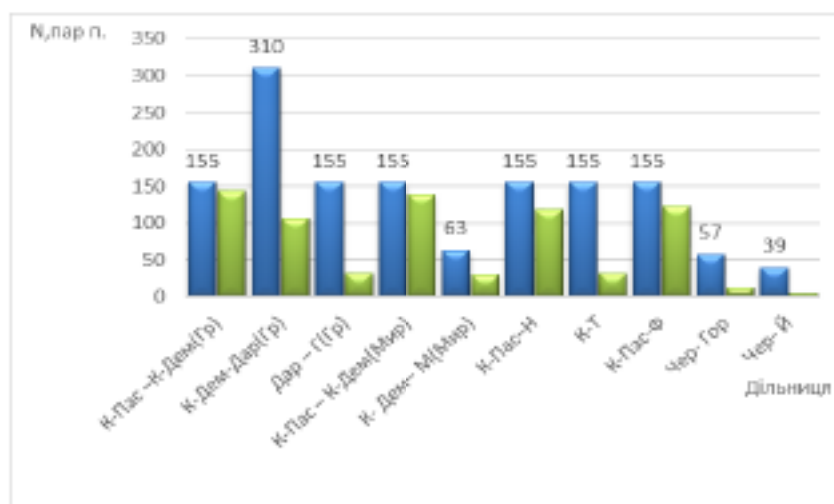


Рисунок 3.14- Співвідношення фактичних розмірів руху та наявної пропускної спроможності в умовах паралельного графіку

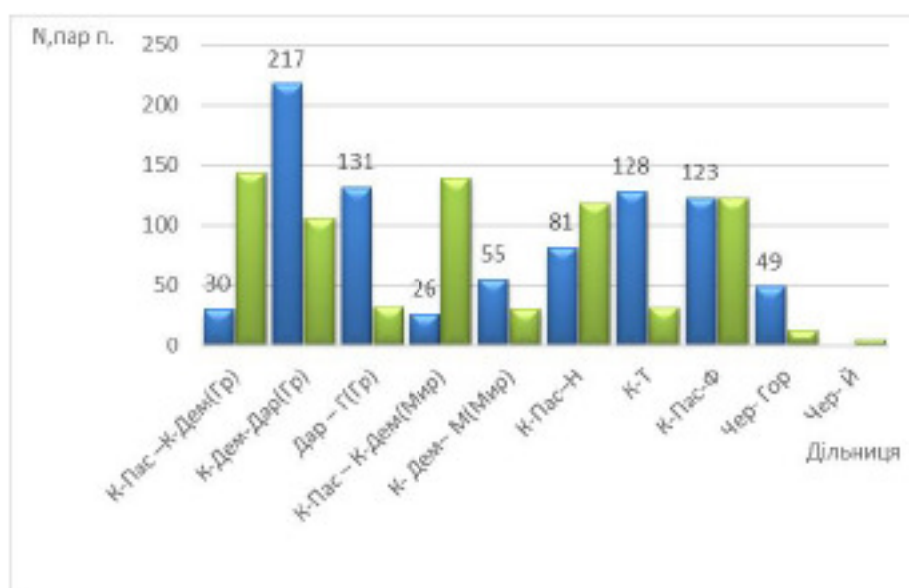


Рисунок 3.15- Співвідношення фактичних розмірів руху та наявної пропускної спроможності в умовах непарального графіку

Таким чином, визначено, що на двоколіїних дільницях К-Дем– Дар(Гр), Дар– Г(Гр), К-Т та одноколійній Чер- Гор резерв пропускної спроможності в умовах непаралельного графіку забезпечується та є достатнім.

Дільниця Чер- Й, що є одноколійною, також не має проблеми з резервом пропускної спроможності, бо являє собою паралельний графік, що забезпечує пропуск поїздів лише однієї категорії- пасажирських.

Наявна пропускна спроможність інших дільниць К-Пас– К-Дем(Гр), К-Пас – К-Дем(Мир), К-Пас–Н при непаралельному графіку не є достатньою, бо резерв забезпечується лише при паралельному пропуску поїздів. З урахуванням наявного фактичного інтенсивного руху можна зробити висновок про можливість забезпечення цієї інтенсивності за рахунок зниження швидкості просування пасажирських поїздів на цих дільницях до швидкості вантажного поїзда.

Одноколійна дільниця К- Дем– М(Мир) характеризується переважно пасажирським рухом та має незначний резерв пропускної спроможності при непаралельному графіку, який не можна вважати достатнім. Тому пропонується або зниження кількості вантажних поїздів, або наближення швидкостей руху до умов паралельного графіку.

Пропускна спроможність лінії розраховують, виходячи з повного використання всіх технічних засобів. Однак, вона повинна мати резерв, який встановлюється за техніко-економічних міркувань і виражається різницею між наявною (або проектною) пропускною спроможністю і потрібною, тобто заданою (або планованою) на перспективу.

3.5 Результати моделювання пропускної спроможності на напрямках підрозділу через стійкість руху

На сьогодні для залізничного транспорту України модернізація наявної мережі вкрай потрібною. Одним з завдань є реорганізація поточної мережі

відповідно до стандартів Німеччини та Італії і будівництво окремих ліній для високошвидкісного руху. Вибір місць для їх найбільш раціональний розташування припадає на території біля існуючих ліній. Це дозволить підвищити їх пропускну здатність та зменшити загальне навантаження через використання цих ліній під час простою пасажирськими звичайними потягами.

Врахування різних категорій поїздів під час визначення пропускну здатності дозволяє застосувати європейський підхід до формування схем руху (зокрема, різношвидкісних), де пропускна здатність визначається взаємозв'язком різних параметрів: кількості поїздів протягом певного часу, стійкості руху поїздів, різноманітності типів поїздів та їхньої швидкості [20].

Кількість поїздів визначається на основі попиту. Стійкість руху поїздів визначає вплив однієї хвилини затримки одного поїзда на розклад інших поїздів, яка, в цілому, показує максимальну можливість затримки поїздів, що не призводить до затримок наступних. Кількість типів поїздів визначається ринком перевізників, а швидкість - конструктивними особливостями рухомого складу.

Теоретично пропускна спроможність представляється у вигляді чотиригранної фігури, кути якої утворені значеннями параметрів на відповідних вісях. Довжини граней фігури L_1, L_2, L_3, L_4 вказують на взаємозв'язок параметрів пропускну спроможності в рамках моделі (рисунок 3.16) при умові, що $L_1+L_2+L_3+L_4=Constant$.

Для одного з найбільш завантаженого напрямку ДН- К обраного підрозділу УЗ проведено моделювання пропускну спроможності, що враховує зазначені параметри (рисунок 3.3). При існуючій кількості поїздів ⁻⁶ на годину, максимальній швидкості на ділянці 100 км/год, пропуску трьох типів поїздів стійкість руху становить 2 хвилини. Залучення навіть одного додаткового поїзду зі швидкістю більшою ніж 100км/год на зазначеному напрямку порушує стійкість руху та виводить її за припустиму межу. Введення ж одного поїзда підвищеної швидкості можливо за рахунок заміни іншого на даному напрямку та забезпечує стійкість руху у 1 хвилину при швидкості близько 112 км/год. Результатами моделювання

визначено обмеженість пропускнуї спроможності даної дільниці та необхідність розробки додаткових заходів щодо її посилення.



Рисунок 3.16- Результати визначення параметрів пропускнуї спроможності найбільш завантаженого напрямку при існуючих параметрах (ряд 1) та запропонованих (ряд 2)

Аналіз наведених залежностей по залізницях світу та УЗ свідчить, що при експлуатації поїздів різного типу на лінії, нехай навіть з близькими ходовими швидкостями, допустима величина стійкості руху різко падає. Той же ефект досягається при експлуатації великої кількості поїздів одного типу. Очевидним стає той факт, що при скороченні інтервалів між поїздами стійкість руху також знижується.

Таким чином, для забезпечення стійкості руху на напрямку при забезпеченні 100% виконання графіку руху, доцільним є побудова додаткових колій (магістралей) по окремих напрямках з метою організації руху пришвидшених, а на перспективу і високошвидкісних поїздів.

4 Аналіз технологічних напрямків підвищення пропускної спроможності та реорганізації структури управління рухом поїздів

У сучасних роботах особлива увага приділяється впливу систем сигналізації на пропускну здатність, використанню цифрових систем управління рухом, оптимізації графіків руху поїздів.

Зокрема, дослідження показують, що впровадження сучасних систем сигналізації, таких як ETCS, може значно підвищити пропускну здатність залізничних ліній.

Крім того, активно розвиваються методи використання великих даних та алгоритмів оптимізації для планування перевезень і підвищення ефективності використання інфраструктури.

4.1 Технологія MagRail

На залізницях світу проводиться велика робота по соціально-економічному розвитку магістралей, оптимізації експлуатаційної діяльності та вирішення на цій основі завдань поліпшення транспортного обслуговування і покращення пропускної спроможності задля підвищення ефективності перевезень [25].

Прикладом може бути SNCF, яка випробує технологію MagRail для залізниці. Французька залізниця SNCF має намір підвищити продуктивність своєї залізничної мережі за допомогою передової технології MagRail. Цю інформацію повідомляє Rail.insider, посилаючись на globalrailwayreview.

Nevomo, високотехнологічна європейська компанія, та SNCF [26] уклали угоду про співпрацю для оцінки переваг використання технології MagRail у французькій залізничній системі з метою підвищення продуктивності та пропускної здатності для пасажирських та вантажних перевезень.

Директор з інновацій SNCF, Люк Ларош, уточнив, що угода охоплюватиме три напрямки: підвищення продуктивності поточних вантажних поїздів для збільшення лімітів навантаження та зростання пропускної здатності на вантажних лініях, розширення пропускної здатності на перевантажених міських пасажирських лініях та оцінка MagRail як альтернативи для регіональних ліній у поєднанні з легкорейковим транспортом.

Компанія Nevomo розробила технологію MagRail з метою підвищення пропускної здатності і покращення ефективності залізничної системи. Ця технологія дає можливість використовувати електровози в неелектрифікованих зонах, таких як термінали та порти, і легко інтегрується в існуючі залізничні системи. Результатом є покращена динаміка вантажів, збільшення обсягів перевезень, більша гнучкість та можливість запускати поїзди без необхідності будівництва нових ліній та контактної мережі.

Першу демонстраційну версію MagRail Nevomo 1:5 представили у 2019 році. Успішні випробування на середньомасштабній трасі відбулися у грудні 2020 року. У 2022 році Nevomo завершила будівництво повномасштабної тестової траси в Польщі.

4.2 Діджиталізація залізниці Deutsche Bahn

Цікавим є досвід залізниці Німеччини з діджиталізації [27] .

Згідно інформації, оприлюдненої компанією Deutsche Bahn, що вважається провідною у цифровізації європейських залізниць, впровадження цифрових технологій підвищить потужність інфраструктури на 20% без необхідності розширення залізничних шляхів. Крім того, планується збільшення обсягів вантажних перевезень компанією DB Cargo в Німеччині на 70%.

Основу цієї програми складає Європейська система управління рухом поїздів (ETCS). Вона включає в себе обладнання рухомого складу та залізничної

інфраструктури датчиками. Ці датчики передають дані про розташування та швидкість поїзда за допомогою радіозв'язку GSM-R та оптоволоконного кабелю, які подають інформацію для обробки комп'ютерами.

Ця система автоматично контролює рух поїздів, надаючи можливість знижувати швидкість у випадку необхідності. Крім підвищення безпеки, цифрові технології сприяють покращенню пунктуальності поїздів, підвищенню пропускної здатності ділянок та зменшенню споживання енергії.

Згідно угоди між Deutsche Bahn, Асоціацією залізничної промисловості Німеччини та Федеральним управлінням залізниць, до кінця 2021 року 10 регіонів переведуть на технологію цифрового блокування, на що уряд країни виділить 500 мільйонів євро.

Одним із глобальних міжнародних проєктів є обладнання системою ETCS 2 тисяч кілометрів транспортного коридору Рейн-Альпи Транс'європейської мережі до 2022 року. Цей маршрут з'єднує Німеччину, Бельгію, Нідерланди, Францію, Швейцарію та Італію.

У рамках програми Digital Rail передбачається використання безпілотних літальних апаратів на всій мережі залізниць Німеччини. Частково вони вже використовуються для контролю стану інфраструктури, вчасного виявлення проблем, наприклад, падіння дерев на колії. Ці системи також допомагають у запобіганні крадіжок та втручання в роботу транспорту.

Особлива увага приділяється нагляду за технічним станом потягів під час руху. Планується обладнати весь парк рухомого складу DB Cargo (2 тисячі локомотивів та 70 тисяч вагонів) датчиками, які передаватимуть інформацію про поломки та відмови через Інтернет.

У Німеччині активно впроваджують цифрові технології, й приватні оператори також вдосконалюють свій рухомий склад. Наприклад, компанія Nexxiot з Швейцарії планує оснащення 3000 цистерн датчиками температури, які передаватимуть дані у режимі онлайн до "хмарного сховища". Це забезпечить збереження продукції, яка чутлива до коливань температури.

4.3 Концепція регіональних диспетчерських центрів на залізницях України

Мета концепції регіональних диспетчерських центрів складається в підвищенні ефективності управління рухом поїздів за рахунок збільшення ступеню централізації і автоматизації диспетчерського регулювання, контролю і оперативного управління.

Концепція передбачає об'єднання інформаційно-керуючих систем і систем СЦБ в регіональному диспетчерському центрі, який відповідає за керівництво основними завданнями експлуатаційного процесу, такими як планування, диспетчерське регулювання і оперативне управління. Для оптимізації експлуатаційного процесу передбачений доступ до рівня місцевого управління на постах централізації.

Основу регіональних диспетчерських центрів складають системи з високою готовністю та надійністю експлуатації. Розподілені лінійні пункти відповідають за безпосереднє управління маршрутами та первинне спостереження за рухом поїздів. Їх склад включає системи мікропроцесорної централізації (МПЦ) і локальні системи управління маршрутами та індикацією номерів поїздів. Кілька лінійних пунктів об'єднані в диспетчерське коло з централізованим управлінням, яке знаходиться на диспетчерському посту в будівлі регіонального центру. Ці кола разом з підключеними лінійними пунктами формують рівень оперативного управління регіонального центру.

В лінійних пунктах замість автоматизованого робочого місця АРМ чергового встановлюється спрощене резервне АРМ, яке використовується переважно при технічному обслуговуванні. У виняткових ситуаціях воно може бути використане для автономного управління системою і, за необхідності, розширене до повноцінного АРМ [28].

Лінійні пункти та диспетчерські пости взаємодіють через подвійну лінію передачі даних. Захисні шлюзи забезпечують безпеку передаваних даних,

упереджуючи несанкціонований доступ до них. Параметри місцевих мереж та захисного шлюзу контролюються та встановлюються за допомогою адмініструючого комп'ютера.

Диспетчерський пост відповідає за управління та контроль за лінійними пунктами диспетчерських кол. Використання сучасної комп'ютерної техніки на диспетчерському посту автоматизує багато функцій. Інформація з розкладу руху поїздів, що формується на рівні диспетчерського регулювання, перетворюється в оперативні дані управління установкою маршрутів та надсилається до підключених лінійних пунктів. Інформація про стан експлуатаційного процесу, отримана з лінійних пунктів, після обробки передається до систем диспетчерського регулювання і використовується для оптимізації руху поїздів. Безпечний транслятор з'єднує диспетчерський пост з системами диспетчерського регулювання та блокує несанкціонований вплив на потоки даних.

Процес консолідації дирекцій залізниць потребує не лише змін у структурі оперативного управління рухом поїздів, де ключову роль відіграє диспетчерський персонал дирекції залізниці (поїзні, локомотивні та енергодиспетчери), але й розробки більш досконалих, гнучких (адаптивних) технічних засобів диспетчерського управління та зв'язку [25].

Широке, економічно обґрунтоване впровадження центральних постів (ЦП) комп'ютерних систем диспетчерського центру успішно розв'язує питання підвищення ефективності оперативного управління перевезеннями на основі концентрації та централізації.

Однак максимальний економічний ефект за рахунок скорочення персоналу може бути досягнутий тільки при впровадженні диспетчерського управління з вивільненням штату чергових по станції. Цей підхід є економічно виправданим навіть у порівнянні з витратами на закриття малодіяльних станцій, що спостерігається на залізниці у зв'язку з падінням обсягу перевезень.

5 Визначення економічної доцільності створення регіональних диспетчерських центрів

Система диспетчерських центрів на залізницях Європи має два ієрархічні рівні: національний і регіональний.

Національний центр залізничних операцій працює для координації Операційних центрів з управління рухом або Центрів управління мережею, які працюють на регіональному рівні.

Для реалізації централізованого управління залізничною мережею на регіональному рівні передбачається створення центрів управління мережею. Головною особливістю проєкт є закриття механізованих постів управління стрілками і сигналами на станціях регіонів, що дозволяє економити витрати на утримання будівель і персоналу, і перенесення управління рухом поїздів в єдиний пост з якого управління поїздами здійснюється комп'ютерною системою.

На основі економічного ефекту від створення регіональних центрів в Європі, проведемо аналіз основних показників витрат на утримання нової структури управління рухом на залізницях України.

Для визначення економічної доцільності створення регіональних диспетчерських центрів необхідно порівняти капітальні вкладення та додаткові щорічні експлуатаційні витрати зі зменшенням експлуатаційних витрат [29, 30].

Сумарний за роками розрахункового періоду економічний ефект визначається як перевищення сумарної вартісної оцінки результатів інноваційного проєкт за розрахунковий період над вартісною оцінкою сукупних витрат на здійснення проєкт визначається за формулою

$$E_T = \sum_{t=t_0}^{t_k} (Z_{t1} - Z_{t2}) \alpha_t, \quad (5.1)$$

де Z_{t1}, Z_{t2} - вартісна оцінка витрат усіх ресурсів до та після впровадження заходу у t -му році розрахункового періоду, грн;

α_t - коефіцієнт приведення результатів, витрат, економічного ефекту різних років до розрахункового періоду;

t_n - початковий рік розрахункового періоду;

t_k - кінцевий рік розрахункового періоду.

Улаштування регіональних диспетчерських центрів не потребує високих капітальних витрат тому, що лінійні станції вже мають локальні обчислювальні мережі (АРМ). При підвищенні поїздопотoku на 5-10%, згідно прогнозу Укрзалізниці, існуюче обладнання здатне переробляти потрібний обсяг інформації. Оновлення технічного забезпечення краще виконати при значному підвищенні обсягів інформації, що переробляється. Це пов'язано з тим, що моральне старіння комп'ютерної техніки на даному етапі розвитку інформаційних технологій складає 10 місяців, а ціни на окремі комплектуючі знижуються на 10-20% за рік.

Капітальні витрати (К) на облаштування регіональних диспетчерських центрів додатковими потужностями (комп'ютерним оснащенням) складають, грн

$$K=27540 \cdot 9=247860 \text{ грн.}$$

Додаткові експлуатаційні витрати на утримання мережі

$$E_{\text{доп}} = n_{\text{ЕОМ}} \cdot P \cdot 24 \cdot 365 \cdot C_{\text{ел}}, \quad (5.2)$$

де $n_{\text{ЕОМ}}$ - кількість додаткових ЕОМ, які необхідні для улаштування мережі, $n_{\text{ЕОМ}}=9$ од.;

t - час роботи ЕОМ за добу, $t=24$ год;

P - потужність, що споживається однією ЕОМ, $P=0,150$ кВт;

$C_{\text{ел}}$ - вартість 1 кВт-год електроенергії, $C_{\text{ел}}=5,61$ грн.

Додаткові експлуатаційні витрати на утримання мережі

$$E_{\text{доо}} = \frac{9 \cdot 150 \cdot 24 \cdot 365}{1000} \cdot 5,61 = 66343 \text{ грн/рік.}$$

Економія експлуатаційних витрат за рахунок скорочення витрат на утримання споруд та будівель дільниці

$$E_1 = E_{\text{оп}} + E_{\text{ос}}, \quad (5.3)$$

де $E_{\text{оп}}$ – економія експлуатаційних витрат на опалення будівель, 27955 грн.;

$E_{\text{ос}}$ – економія експлуатаційних витрат, що пов'язана зі зменшенням часу освітленості приміщень, 8745,5 грн.

Таким чином, економія експлуатаційних витрат на утримання споруд та будівель лінії

$$E_1 = 27955 + 8745,5 = 36700,5 \text{ грн/рік.}$$

Економія експлуатаційних витрат від скорочення штату працівників визначаємо за формулою

$$E_2 = 365 \cdot \sum m_i^{\text{сп}} \cdot \gamma_{\text{в}} \cdot \rho \cdot C_{\text{в-з}} \cdot (1 - \beta_{\text{н}}) \cdot n \cdot N, \quad (5.4)$$

де $\sum m_i^{\text{сп}}$ – середня погодинна тарифна ставка працівника, грн, $\sum m_i^{\text{сп}} = 45,19$ грн.

$\gamma_{\text{в}}$ – економія експлуатаційних витрат від відсутності доплати за роботу у вечері, $\gamma_{\text{в}} = 0,2$;

ρ – економія експлуатаційних витрат від відсутності доплати за роботу в ніч, $\rho = 0,4$;

$C_{\text{в-з}}$ – вартість 5 років вислуги, $C_{\text{в-з}} = 385,5$ грн;

$\beta_{\text{н}}$ – частка часу, на протязі якого можливе нефункціонування системи,

$$\beta_n = 0,005;$$

n - середній стаж працівників $n=5$ років;

N - кількість працівників, що скорочено, 10 ДСП на лінії.

$$E_2 = 365 \cdot 45,19 \cdot 0,2 \cdot 0,4 \cdot 385,5 \cdot (1 - 0,005) \cdot 5 \cdot 10 = 23778273 \text{ грн/рік.}$$

Загальна економія експлуатаційних витрат за рахунок створення регіональних диспетчерських центрів

$$E_{\text{ек}} = E_1 + E_2 \cdot 1,22. \quad (5.5)$$

$$E_{\text{ек}} = 36700,5 + 23778273 \cdot 1,22 = 29046194 \text{ грн/рік.}$$

На залізничному транспорті для комп'ютерної техніки строк окупності капітальних витрат прийнято рівним шести рокам.

Для врахування зміни вартості грошей в часі для кожного року розрахункового періоду визначається відповідний коефіцієнт α_t . Тобто, грошові потоки кожного року приводяться до розрахункового року, яким може бути перший або останній рік розрахункового періоду. В роботі в якості розрахункового року прийнятий перший рік розрахункового періоду.

Коефіцієнт приведення результатів, витрат, економічного ефекту року t життєвого циклу проєкту до першого року розрахункового періоду визначається за формулою

$$\alpha_t^n = \left[\frac{1}{(1+E)(1+I+R)} \right]^{t-t_p}, \quad (5.6)$$

де E - річний норматив приведення результатів і витрат різних років до розрахункового періоду, 13%;

I- очікуваний середньорічний темп інфляції протягом життєвого циклу проекту в частках одиниці, 9%;

R- ставка, що враховує ступінь ризику здійснення проекту в частках одиниці, 1%;

t_p - порядковий номер останнього року розрахункового періоду;

t_k - порядковий номер року t життєвого циклу проекту, що приводиться до розрахункового року.

$$\alpha_1 = \left[\frac{1}{(1 + 0,13)(1 + 0,09 + 0,01)} \right]^0 = 1,$$

$$\alpha_2 = \left[\frac{1}{(1 + 0,13)(1 + 0,03 + 0,01)} \right]^1 = 0,804,$$

$$\alpha_3 = \left[\frac{1}{(1 + 0,13)(1 + 0,09 + 0,01)} \right]^2 = 0,647,$$

$$\alpha_4 = \left[\frac{1}{(1 + 0,13)(1 + 0,09 + 0,01)} \right]^3 = 0,521,$$

$$\alpha_5 = \left[\frac{1}{(1 + 0,13)(1 + 0,09 + 0,01)} \right]^4 = 0,4189.$$

Розрахунок економічного ефекту від впровадження регіональних диспетчерських центрів наведено у таблиці 5.1.

**Таблиця 5.1- Розрахунок економічного ефекту від реорганізації
регіонального диспетчерського центру на залізничному підрозділі**

з/п	Показник	Роки розрахункового періоду				
		2026	2027	2028	2029	2030
1	Економія експлуатаційних витрат, грн.	29046193,55	29046193,5	29046193,5	29046193,5	29046193,55
2	Капітальні витрати, грн.	247860,00				
3	Експлуатаційні витрати на електроенергію на рік, грн	66343,86	66343,86	66343,86	66343,86	66343,86
4	Всього витрат після впровадження, грн	314203,86	66343,86	66343,86	66343,86	66343,86
5	Економічний ефект, грн.	28731989,69	28979849,69	28979849,69	28979849,69	28979849,69
6	Коефіцієнт приведення до розрахункового року	1,000	0,805	0,647	0,521	0,419
7	Економічний ефект з урахуванням приведення до розрахункового року, грн.	28731989,69	23314440,62	18756589,40	15089774,25	12139802,29
8	Економічний ефект наростаючим підсумком, грн.	28731989,69	52046430,31	70803019,70	85892793,96	98032596,25

Отже, приріст економічного ефекту від впровадження регіональних диспетчерських центрів за весь розрахунковий період з урахуванням приведення до першого року складає 98032,59 тис. грн. Таким чином, впровадження регіональних диспетчерських центрів на УЗ є ефективним.

Висновки

В результаті проведеної роботи отримано нижче наведені результати.

1 На підставі аналізу статистичних даних щодо обсягів перевезень УЗ та стану економіки країни в цілому визначену різку зміну тенденцій розвитку вантажних перевезень залізничним транспортом України у 2021–2025 роках.

У 2022 році відбулося критичне падіння обсягів перевезень — майже вдвічі (–51,9 %), що зумовлено повномасштабною війною, руйнуванням інфраструктури та розривом логістичних ланцюгів. У 2023 році спад уповільнився (–1,7 %), що свідчить про часткову стабілізацію роботи галузі. У 2024 році зафіксовано суттєве відновлення — обсяг перевезень зріс до 174,9 млн т (+17,9 %), що пояснюється відновленням експорту через морські порти, збільшенням перевезень аграрної продукції, покращенням роботи прикордонної інфраструктури. Однак у 2025 році знову спостерігається спад (–7,8 %), і обсяг перевезень знизився до 161,3 млн т, що пов'язано з: обмеженнями інфраструктури, зниженням промислового виробництва, збереженням воєнних ризиків.

Загалом за період 2021–2025 років обсяги перевезень скоротилися майже на 49 %, що підтверджує довготривалий характер кризових процесів у галузі.

Аналіз статистичних даних щодо обсягів пасажирських перевезень свідчить, що у 2022 році він становив 60,3 % від рівня 2021 року. У 2023 році відбулося суттєве зростання — до 120 % від рівня 2022 року. У 2024 році тенденція збереглася: обсяги перевезень наблизилися до довоєнного рівня (близько 85–90 % від показників 2021 року). У 2025 році прогнозується подальше відновлення пасажиропотоку, зокрема за рахунок розвитку міжнародного сполучення з країнами ЄС.

Визначено чітку сезонність пасажирських перевезень, яка характеризується двома піками: січень та липень–серпень, та двома просіданнями : квітень і листопад.

Проведено аналіз виконання графіку руху по напрямках АТ «Укрзалізниця». Визначено, що рівень виконання графіку руху поїздів безпосередньо залежить від ступеня завантаження інфраструктури та

збалансованості транспортних потоків. Перевантаження окремих напрямків, зокрема західного, призводить до зниження ритмічності руху та зростання затримок, тоді як недовантаження інших напрямків не дозволяє повною мірою реалізувати наявний потенціал залізничної мережі. Основною проблемою є дисбаланс у використанні пропускнуої спроможності, що негативно впливає на виконання графіку руху та загальну ефективність перевізного процесу.

Також проведено аналіз використання пропускнуої спроможності напрямків, який показав, що її розподіл між ключовими напрямками АТ «Укрзалізниця» є нерівномірним. Цей дисбаланс призводить до зниження загальної ефективності перевізного процесу, подовження часу доставки та збільшення витрат ресурсів.

2 Досліджено техніко-експлуатаційну характеристику та технологію роботи залізничного підрозділу ДН-К, який є відокремленим підрозділом регіональної філії «П-3 залізниця». За обсягом робіт віднесений до першої групи і є транзитним з невеликим обсягом навантаження та значними обсягами вивантаження.

3 Проведено розрахунок пропускнуої спроможності дільниць дирекції при різних способах організації руху.

З цією метою проведено огляд наукових досліджень щодо визначення пропускнуої здатності дільниць та перегонів, визначено основні методи дослідження пропускнуої спроможності, до яких відносяться аналітичні методи визначення пропускнуої здатності, методи графічного та графоаналітичного аналізу, оптимізаційні методи, імітаційне моделювання роботи залізничних систем. У сучасних дослідженнях все частіше застосовується комплексний підхід, який поєднує аналітичні, оптимізаційні та імітаційні методи.

Проведено дослідження впливу непаралельності графіку руху на пропускну спроможність напрямків, а також Європейський підхід до організації руху поїздів на лініях високошвидкісного сполучення (ВШМ), який передбачає п'ять базових моделей, які дозволяють оптимально поєднувати швидкість, безпеку та пропускну спроможність інфраструктури.

Проведено порівняння впливу різних типів організації руху на пропускну спроможність.

З метою безпосереднього моделювання зібрано статистичний матеріал по добових графікових розмірів руху вантажних та пасажирських поїздів різних категорій по напрямках обраного залізничного полігону, визначено нерівномірність їх завантаження.

Найбільш завантаженими є дільниці: К-Дем-Дар(Гр), К-Пас-Ф, К-Пас-Київ-Дем по дільницях Гр, Мир та Фаст. Найменш завантаженим напрямком є Чер-Й. Визначено, що по всіх дільницях переважним для дирекції є пасажирський рух.

Визначено, що на двоколіїних дільницях К-Дем– Дар(Гр), Дар– Г(Гр), К-Т та одноколіїній Чер- Гор резерв пропускнуї спроможності в умовах непаралельного графіку забезпечується та є достатнім.

Дільниця Чер- Й, що є одноколіїною, також не має проблеми з резервом пропускнуї спроможності, бо являє собою паралельний графік, що забезпечує пропуск поїздів лише однієї категорії- пасажирських.

Наявна пропускну спроможність інших дільниць К-Пас– К-Дем(Гр), К-Пас – К-Дем(Мир), К-Пас–Н при непаралельному графіку не є достатньою, бо резерв забезпечується лише при паралельному пропуску поїздів. З урахуванням наявного фактичного інтенсивного руху можна зробити висновок про можливість забезпечення цієї інтенсивності за рахунок зниження швидкості просування пасажирських поїздів на цих дільницях до швидкості вантажного поїзда.

Одноколіїна дільниця К- Дем– М(Мир) характеризується переважно пасажирським рухом та має незначний резерв пропускнуї спроможності при непаралельному графіку, який не можна вважати достатнім. Тому пропонується або зниження кількості вантажних поїздів, або наближення швидкостей руху до умов паралельного графіку.

Однією з причин невиконання часу доставки всток може бути пропускну спроможність напрямків, по яких обертається рухомий склад з різними швидкостями.

З метою визначення оптимальних параметрів пропускної спроможності, спираючись на теорію трьох фаз Кернера, проведено моделювання для напрямків дирекції залізничних перевезень, що дозволяє врахувати співвідношення кількості поїздів за одиницю часу, стійкість руху поїздів, кількість типів поїздів та швидкість поїздів.

При цьому кількість поїздів задається попитом. Стійкість руху поїздів оцінюється як вплив 1 хвилини затримки одного поїзда на затримки інших поїздів в розкладі, яка в загальному випадку характеризується максимально можливою затримкою поїздів, що не тягне за собою запізнення наступного поїзда; величина відносна, позначає максимально допустиму межу запізнення. Кількість типів поїздів визначається ринком перевізників, а швидкість-конструктивними особливостями рухомого складу. Визначено, що паралельний рух — еталон ефективності, але рідко досяжний у змішаних системах. Непаралельність неминуче знижує пропускну спроможність, навіть при незначній різниці швидкостей. Найменші втрати дає пакетна організація, якщо забезпечена точність графіка. Найбільші втрати виникають при неструктурованому («врозкид») русі. Оптимізація графіка — це баланс між швидкістю, стабільністю і щільністю руху.

Для одного з найбільш завантаженого напрямку обраного підрозділу УЗ проведено моделювання пропускної спроможності, що враховує зазначені параметри. При існуючій кількості поїздів- 6 на годину, максимальній швидкості на ділянці 100 км/год, пропуску трьох типів поїздів стійкість руху становить 2 хвилини. Залучення навіть одного додаткового поїзду зі швидкістю більшою ніж 100 км/год на зазначеному напрямку порушує стійкість руху та виводить її за припустиму межу. Введення ж одного поїзда підвищеної швидкості можливо за рахунок заміни іншого на даному напрямку та забезпечує стійкість руху у 1 хвилину при швидкості близько 112 км/год. Результатами моделювання визначено обмеженість пропускної спроможності даної дільниці та необхідність розробки додаткових заходів щодо її посилення.

Аналіз наведених залежностей по залізницях світу та УЗ свідчить, що при експлуатації поїздів різного типу на лінії, нехай навіть з близькими ходовими

швидкостями, допустима величина стійкості руху різко падає. Той же ефект досягається при експлуатації великої кількості поїздів одного типу. Очевидним стає той факт, що при скороченні інтервалів між поїздами стійкість руху також знижується.

Таким чином, для забезпечення стійкого руху на напрямку при 100%-му виконанні графіку руху в умовах реформування УЗ, доцільним є наряду із побудовою додаткових колій (магістралей) по окремих напрямках й удосконалення структури управління рухом поїздів.

4 З метою удосконалення процесу перевезень дирекції залізничних перевезень проведено аналіз технологічних напрямків підвищення пропускної спроможності та реорганізації структури управління рухом поїздів. Основними технологічними напрямками визнано технологію MagRail (SNCF), діжиталізація залізниці (Deutsche Bahn)- обладнання рухомого складу та залізничної інфраструктури датчиками, колій- системою ETCS, використання безпілотних літальних апаратів для контролю стану інфраструктури, запровадження технології автоматичного ведення пасажирських поїздів тощо.

Реорганізація структури управління рухом поїздів на основі досвіду залізниць інших країн. передбачає підвищення ефективності управління рухом поїздів за рахунок збільшення ступеню централізації і автоматизації диспетчерського регулювання, контролю і оперативного управління.

5 Проведено розрахунок економічного ефекту від впровадження сучасної структури управління рухом поїздів за рахунок зменшення обслуговуючого персоналу по станціях на напрямках УЗ. Зменшено відповідні експлуатаційні витрати на утримання будівель та споруд станцій і скорочення фонду заробітної плати для оплати праці працівників. Визначено приріст економічного ефекту від впровадження регіональних диспетчерських центрів за весь розрахунковий період, який з урахуванням приведення до першого року складає 98032,59 тис. грн.

Таким чином, проведені дослідження технології роботи підрозділу, динаміки нерівномірності обсягів роботи, результати моделювання пропускної спроможності дільниць дирекції, розробка технологічних напрямків

підвищення пропускної спроможності та реорганізації структури управління рухом поїздів дозволяє підвищити ефективність функціонування як окремого залізничного підрозділу так і системи залізничного транспорту в цілому.

Список використаних джерел

- 1 Козаченко Д. М., Малашкін В. В., Березовий М. І., Іскра О. Л. Дослідження пропускної та провізної спроможності залізничної інфраструктури в умовах збільшення обсягів перевезення сировини // Транспортні системи та технології перевезень. 2020. № 20. С. 45–52.
- 2 Калашнікова Т. Ю. Аналіз підходів до розрахунку пропускної спроможності залізничних перегонів/ Т.Ю. Калашнікова, О. Ф. Боровець, // Сьома всеукраїнська науково-практична конференція «Транспортні технології та безпека дорожнього руху» (Запоріжжя, 26-27 квітня 2026 року). – НУ «Запорізька політехніка», 2026. – С.53-54.
- 3 Калашнікова Т. Ю. Вплив непаралельності графіку руху поїздів на пропускну спроможність дільниць/ Т.Ю. Калашнікова, О. Ф. Боровець, // 22-а Міжнародна науково-технічна конференція «Міжнародна транспортна інфраструктура, індустріальні центри та корпоративна логістика» (Харків, 4-5 червня 2026 року).— УкрДУЗТ, 2026. – С.175-177.
- 4 Управління експлуатаційною роботою і якістю перевезень на залізничному транспорті: навч. посіб./ М.І. Данько та ін. Харків, 2009. 183с.
- 5 Управління експлуатаційною роботою і якістю перевезень на залізничному транспорті: конспект лекцій./ М.І. Данько та ін. Харків, 2002. 36с.
- 6 Управління експлуатаційною роботою. Графік руху поїздів: навч. посіб./ А.В. Прохорченко та ін. Харків, 2021. 262с.
- 7 Статистичні дані про Українські залізниці. URL: <https://mtu.gov.ua/content/statistichni-dani-pro-ukrainski-zaliznici.html>. (дата звернення: 10.04.2026).
- 8 Муравський А. Вантажні перевезення «Укрзалізниці» за рік знизилися на 8%// Економічна правда. 2026. 28 січ. URL: <https://epravda.com.ua/biznes/vantazhni-perevezennya-ukrzaliznici-za-rik-znizilisya-na-8-817218>. (дата звернення: 10.04.2026).

- 9 Київська дирекція залізничних перевезень. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki>. (дата звернення: 27.05.2026).
- 10 Технологічний процес роботи Київської дирекції залізничних перевезень: затв. начальником регіональної філії «Південно-Західна залізниця» ПАТ «Українська залізниця» від 03.06.2019. 141 с
- 11 Правила технічної експлуатації залізниць України : затв. : Наказ Міністерства транспорту та зв'язку України 20.12.1996 № 411. Із змінами і доповненнями, внесеними наказами Міністерства транспорту України від 8 червня 1998 року N 226, від 23 липня 1999 року N 386, від 19 березня 2002 року N 179, від 10 грудня 2003 року N 962 Київ : 120 с.
- 12 Прохорченко А. В. Дослідження пропускної спроможності залізничної інфраструктури з позицій теорії транспортних потоків. Залізничний транспорт України. 2014. № 3. С. 15–21.
- 13 Прохорченко А. В. Аналіз методів розрахунку пропускної спроможності залізничних дільниць. Вісник економіки транспорту і промисловості. 2015. № 50. С. 115–121.
- 14 UIC leaflet 406 R, Capacity. UIC International Union of Railways, France, 2e édition. URL: https://tamannaei.iut.ac.ir/sites/tamannaei.iut.ac.ir/files/files_course/uic406 . (дата звернення: 29.04.2026).
- 15 Інструкція зі складання графіка руху поїздів на залізницях України, затверджена наказом Укрзалізниці від 05.04.2002 № 170-Ц (ЦД-0040), Київ.
- 16 Інструкція з розрахунку наявної пропускної спроможності залізниць України ЦД-0036 затвердженої наказом Укрзалізниці від 14 березня 2001 р. № 143/Ц: навч.-метод. посіб./ О.Ф. Вергун, Н.В. Липовець, В.М. Боголій. Київ: Транспорт України, 2002. 376 с.
- 17 Задоров, В. Б., Федусенко Е.В., Федусенко А.О. Застосування методів багатокритеріальної оптимізації до планування вантажних перевезень. Управління розвитком складних систем : 36. наук. праць КНУБА. Київ: КНУБА, 2010. Вип. 2. С. 6-11.

- 18 Кленов, А.С. Теория Кернера трех фаз в транспортном потоке – новый теоретический базис для интеллектуальных транспортных технологий Труды МФТИ. 2010. Т. 2. № 4. С. 75-89.
- 19 Kerner, B.S. Introduction to Modern Traffic Flow Theory and Control. B.S.Kerner. Berlin: Springer, 2009. 278 p.
- 20 Панченко С. В., Бутко Т. В., Прохорченко А. В., Рибальченко Л. І., Шандер О. Є. Диспетчерське керування рухом поїздів на швидкісних та високошвидкісних магістралях : навч. посіб. Харків : УкрДУЗТ, 2019. 154 с.
- 21 Огірко О. І., Галайко Н. В. Теорія ймовірностей та математична статистика: навч. посіб. Львів: ЛьвДУВС, 2017. 292с.
- 22 Кушлик-Дивульська О. І., Поліщук Н. В., Орел Б. П., Штабальок П. І. Теорія ймовірностей та математична статистика: навч. посіб. Київ: НТУУ «КПІ», 2014. 212с.
- 23 Константинов Д. В., Прохорченко А. В., Калашнікова Т. Ю., Долгополов П. В. Організація швидкісних та високошвидкісних перевезень : конспект лекцій. Ч. 1. Харків : УкрДУЗТ, 2021. 62 с.
- 24 Константинов Д. В., Прохорченко А. В., Калашнікова Т. Ю., Долгополов П. В. Організація швидкісних та високошвидкісних перевезень : конспект лекцій. Ч. 2. Харків : УкрДУЗТ, 2022. 66 с.
- 25 NCF випробує технологію MagRail для покращення пропускної спроможності залізниці. URL: <https://www.railinsider.com.ua/sncf-vyprobuye-tehnologiyu-magrail-dlya-pokrashhennya-propusknoyi-spromozhnosti-zaliznyczi/>. (дата звернення: 15.05.2026).
- 26 Офіційний сайт залізниць Франції. URL: <http://www.sncf.com/en/transparency/government-correspondence>. (дата звернення: 16.05.26).
- 27 Діджиталізація залізниць Німеччини URL:<https://www.railway.supply/uk/didzhitalizacziya-zalizniczi-nimechchini>. (дата звернення: 15.05.2026).

- 28 Система диспетчерського управління поїздами. URL: <http://pr0hogiy.livejournal.com/11623.html>. (дата звернення: 16.05.26).
- 29 Балака Є.І., Зоріна О.І., Колесникова Н.М., Писаревський І.М. Оцінка економічної доцільності інвестицій в інноваційні проекти на транспорті. Харків: УкрДАЗТ, 2005. 210 с.
- 30 Методичні рекомендації щодо розробки економічної частини випускної роботи магістрів за спеціальністю «Транспортні технології на залізничному транспорті»: метод. вказів./ Є. І. Балака та ін. Харків: УкрДУЗТ, 2018. 11 с.
- 31 ДСТУ 8302:2015 Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. URL: <http://aphd.ua/pryklady-oformlennia-bibliohrafichnoho-opysu-vidpovidno-do-dstu-83022015>. (дата звернення: 25.04.2026).

АКТ

перевірки кваліфікаційної роботи магістра на наявність ознак академічного
плагіату

Відповідно до даних сервісу STRIKEPLAGIARISM праця
«Удосконалення організації роботи залізничного підрозділу шляхом
оптимізації пропускнує спроможності»,

автор: Боровець Олександр Федорович

(ПІБ автор повністю)

містить 1,21 % текстових збігів. Ознаки академічного плагіату – відсутні.

Перевірку виконала

доцент кафедри

управління експлуатаційною роботою



Олена МАЛАХОВА

(підпис)

15.06.2026 р.