

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Державний вищий навчальний заклад  
«НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ»



Н.О. Логвінова

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ РУХУ ПОЇЗДІВ  
НА ЗАЛІЗНИЧНИХ НАПРЯМКАХ З ПАРАЛЕЛЬНИМИ ХОДАМИ**

Монографія

Дніпропетровськ  
НГУ  
2014

УДК 656.22  
ББК 39.28  
Л 69

Рекомендовано до друку вченою радою Державного ВНЗ «Національний гірничий університет» (протокол № 11 від 27.11.2013).

Рецензенти:

Д.В. Ломотько, д-р техн. наук, професор, проректор з наукової роботи Української державної академії залізничного транспорту (м. Харків);

В.В. Габа, канд. техн. наук, доцент Державного економіко-технологічного університету транспорту (м. Київ).

**Логвінова Н.О.**

Л 69 Підвищення ефективності організації руху поїздів на залізних напрямках з паралельними ходами : монографія / Н.О. Логвінова; М-во освіти і науки України; Нац. гірн. ун-т. – Д.: НГУ, 2013. – 12: с.

ISBN 978-966-350-459-9

Присвячено підвищенню ефективності управління поїздопотоками за рахунок економічно доцільного розподілу поїздопотоків вантажного руху на залізничних напрямках з паралельними ходами в умовах функціонування оптового ринку електроенергії та швидкісного руху пасажирських поїздів.

Розглянуто питання вдосконалення автоматизованого робочого місця поїзного диспетчера на залізницях, а також розподілу поїздопотоку між паралельними ходами на основних напрямках залізниць України.

Стане у пригоді спеціалістам і магістрам спеціальності 7(8).07010102 «Організація перевезень та управління на залізничному транспорті» та слухачам інституту післядипломної освіти ДНУЗТу.

Іл. 43. Бібліогр.: 132 назви.

УДК 656.22  
ББК 39.28

© Н.О. Логвінова, 2014

© Державний ВНЗ «Національний гірничий університет», 2014

ISBN 978-966-350-459-9

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
<b>РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ ОРГАНІЗАЦІЇ РАЦІОНАЛЬНОГО РОЗПОДІЛЕННЯ ПОЇЗДОПОТОКІВ НА ЗАЛІЗНИЧНІЙ ІНФРАСТРУКТУРІ З ПАРАЛЕЛЬНИМИ ХОДАМИ.....</b>	<b>7</b>
1.1 Розвиток теорії організації пропускної спроможності на залізничній інфраструктурі з паралельними ходами.....	7
1.2 Оперативне управління поїздопотоків на залізничних напрямках з паралельними ходами в умовах швидкісного руху пасажирських поїздів.....	14
1.3 Сучасні методи моделювання роботи залізничних ліній.....	16
1.4 Моделювання роботи залізничних напрямків країн СНД та дальнього зарубіжжя в сучасних умовах.....	22
1.5 Висновки.....	24
<b>РОЗДІЛ 2 ВИБІР НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗАЛІЗНИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ З ПАРАЛЕЛЬНИМИ ХОДАМИ ТА ОБГРУНТУВАННЯ МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОПУСКУ ПОЇЗДІВ.....</b>	<b>26</b>
2.1 Послідовність та методи проведення досліджень.....	26
2.2 Загальна характеристика об'єктів дослідження.....	28
2.3 Постановка задачі підвищення ефективної організації руху поїздів на залізничних напрямках з паралельними ходами.....	29
2.4 Характеристика залізничних напрямків.....	33
2.4.1 Характеристика залізничної інфраструктури основного напрямку.....	33
2.4.2 Характеристика залізничної інфраструктури паралельного напрямку.....	36
2.5 Аналіз системи пропуску поїздопотоків по залізничному напрямку з паралельними ходами Знам'янка – Одеса.....	39
2.6 Аналіз динаміки змін вантажопотоків та поїздопотоків на адресу портів Одеського регіону.....	42
2.7 Моделювання руху поїздів по напрямку залізничних перевезень з паралельними ходами Знам'янка – Одеса.....	44
2.7.1 Моделювання руху поїздів по основному напрямку залізничних перевезень Знам'янка – Одеса.....	62
2.7.2 Моделювання руху поїздів по паралельному напрямку залізничних перевезень Знам'янка – Одеса.....	45
2.7.3 Порівняльний аналіз витрат електроенергії по паралельним ходам залізничному напрямку Знам'янка – Одеса.....	46
2.8 Висновки.....	48
<b>РОЗДІЛ 3 ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЗАЛІЗНИЧНОГО НАПРЯМКУ З ПАРАЛЕЛЬНИМИ ХОДАМИ.....</b>	<b>50</b>
3.1 Побудова економіко-математичної моделі залізничного напрямку.....	50
3.1.1 Постановка задачі.....	50
3.1.2 Математичне формулювання задачі.....	52

3.1.3 Умови оптимальності плану поїздопотоків.....	54
3.1.4 Побудова початкового допустимого плану .....	57
3.1.5 Алгоритм покращення допустимого плану.....	60
3.2 Визначення структури функцій витрат на перевезення.....	62
3.2.1 Умови задачі.....	62
3.2.2 Витрати на ділянках мережі.....	88
3.2.3 Витрати на двохколінійній ділянці і ділянці з двохколійними вставками.....	63
3.3 Висновки.....	68

#### РОЗДІЛ 4 ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ІНФРАСТРУКТУРИ ЗАЛІЗНИЧНОГО НАПРЯМКУ З ПАРАЛЕЛЬНИМИ ХОДАМИ

ЗНАМ'ЯНКА – ОДЕСА.....	70
4.1 Дослідження коефіцієнту зйому вантажних поїздів пасажирськими.....	70
4.2 Дослідження технічної, маршрутної, дільничної швидкості руху поїздів та фактичного перегінного часу ходу вантажних поїздів по паралельним ходам напрямку Знам'янка – Одеса.....	78
4.3 Дослідження пропускну спроможності залізничного напрямку з паралельним ходам Знам'янка – Одеса.....	86
4.4 Висновки.....	88

#### РОЗДІЛ 5 ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОПУСКУ ПОЇЗДІВ ПО ЗАЛІЗНИЧНОМУ НАПРЯМКУ З ПАРАЛЕЛЬНИМИ ХОДАМИ ЗНАМ'ЯНКА – ОДЕСА.....

89	
5.1 Економіко-математичне моделювання пропуску поїздів по залізничному напрямку Знам'янка – Одеса з розподілом між паралельним ходами.....	89
5.2 Вплив перерозподілу вантажних поїздопотоків по паралельним ходам на пропуску спроможність залізничних напрямків.....	99
5.3 Заходи щодо збільшення пропускну і провізної спроможності напрямку.....	104
5.4 Розробка енергооптимального графіка руху поїздів.....	107
5.4.1 Проблеми руху поїздів в умовах оптового ринку електроенергії.....	107
5.4.2 Аналіз роботи напрямку залізничних перевезень при умові вступу в оптовий ринок електроенергії.....	108
5.4.3 Моделювання режимів руху поїздів.....	109
5.5 Висновки.....	115

ВИСНОВКИ.....	117
---------------	-----

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	119
---------------------------------	-----

## ВСТУП

Реструктуризація залізничного транспорту України [1] передбачає впровадження на мережі залізниць нової експлуатаційної моделі управління технологією перевезень, яка передбачає гарантоване виконання вимог власників вантажів до якості перевезень, скороченню обороту рухомого складу та витрат залізниць, пов'язаних з перевезеннями. Інфраструктура залізниць України представляє собою мережу, яка характеризується наявністю паралельних напрямків перевезень з різною завантаженістю, по якій переміщуються поїздопотоки. Сучасні умови функціонування залізничного транспорту України характеризуються постійною зміною структури та обсягів вантажо- та поїздопотоків при наявності резервів пропускної спроможності залізничних напрямків з паралельними ходами.

Показники інфраструктурної складової залізничних напрямків з паралельними ходами мають різне забезпечення (вид тяги, повздовжній профіль колії, наявність штучних споруд та обмежень при русі по ним, кількість головних колій на перегонах, довжина колій на станціях та ін.).

В зв'язку з цим, зростає актуальність проблеми визначення раціональних параметрів пропуску поїздопотоків на залізничних напрямках з паралельними ходами з метою зменшення експлуатаційних витрат залізниць в умовах швидкісного руху пасажирських поїздів та диференційованої по періодах доби вартості електроенергії. Це визначає необхідність пошуку шляхів адаптації залізниць до наслідків коливань поїздопотоків та раціонального розподілу їх слідування по паралельних напрямках.

Метою даної монографії є підвищення ефективності організації руху поїздів на залізничних напрямках з паралельними ходами. Для досягнення зазначеної мети в роботі поставлено і вирішено наступні задачі:

- аналіз існуючих методів організації поїздопотоків на транспортній інфраструктурі з паралельними ходами;
- дослідження існуючих параметрів поїздопотоків та пропускної спроможності залізничних напрямків з паралельними ходами, визначення взаємозв'язку між ними;
- розробка математичної моделі роботи напрямку залізничних перевезень з паралельними ходами і дослідження впливу параметрів поїздопотоків на показники його функціонування;
- розробка методики, критерію та процедури оцінки ефективності оперативного рішення щодо пропуску розподілених вантажних поїздів по залізничних напрямках з паралельними ходами в умовах диференційованих тарифів на електроенергію та швидкісного руху пасажирських поїздів.

Об'єктом дослідження є процес пропуску вантажного поїздопотоків на залізничних напрямках з паралельними ходами.

Методи дослідження в роботі - математична статистика та кореляційний аналіз для дослідження вагонопотоків та поїздопотоків залізничного напрямку, статичного навантаження; моделювання тягових розрахунків по паралельних напрямках; теорія ймовірності, математична статистика, регресійний аналіз для

ідентифікації моделі роботи залізничного напрямку; теорія графів і лінійне програмування при моделюванні роботи залізничного напрямку з паралельними ходами; техніко-економічний аналіз для визначення умов ефективного розподілу поїздопотоків між паралельними ходами.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в вирішенні наступних задач:

– вперше сформульовано і вирішено оптимізаційну задачу щодо організації поїздопотоків на залізничних напрямках з паралельними ходами в умовах диференційованих тарифів на електроенергію, що дозволяє скоротити експлуатаційні витрати залізниці на просування вантажних поїздів;

– удосконалено методику оцінки витрат на просування вантажних поїздів при розподілі руху по паралельним ходам в період денного руху прискорених пасажирських поїздів на основі вирішення задачі лінійного програмування;

– удосконалено економіко-математичну модель залізничного напрямку з паралельними ходами, що дозволяє визначити обґрунтовані раціональні розміри руху вантажних поїздів між ділянками напрямків;

– удосконалено методику розрахунку пропускної спроможності залізничних ділянок, яка на відміну від існуючих дозволяє враховувати наявність швидкісного руху пасажирських поїздів в денний час доби.

Наукові положення, висновки та рекомендації, отримані в роботі, а також розроблені процедури і методи можуть бути використані при створенні автоматизованих систем підтримки прийняття рішень для оперативного розподілення поїздопотоків між паралельним ходам в умовах швидкісного руху пасажирських поїздів та диференційованих тарифів на електроенергію, при розробці АРМ диспетчерського персоналу оперативно-розпорядчих відділів дирекцій та залізниць.

# РОЗДІЛ 1

## АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ ОРГАНІЗАЦІЇ РАЦІОНАЛЬНОГО РОЗПОДІЛЕННЯ ПОЇЗДОПОТОКІВ НА ЗАЛІЗНИЧНІЙ ІНФРАСТРУКТУРІ З ПАРАЛЕЛЬНИМИ ХОДАМИ

### 1.1 Розвиток теорії організації пропускної спроможності залізничної інфраструктури з паралельними ходами

Суттєвий вплив на пропуск вантажних поїздопотоків по залізничним напрямкам з паралельними ходами оказує організація вагонопотоків в поїзда та напрямом їхнього слідування. Організації вантажних перевезень на залізницях України виконується відповідно з планом формування поїздів (ПФП) в умовах відхилення фактичних вагонопотоків від планових та змін загальної оперативної ситуації на мережі, що суттєво впливає на завантаження залізничних напрямків, яке залежить від їхньої пропускної спроможності.

Питанню дослідження коливань потужності вагонопотоків присвячені роботи докторів технічних наук В. М. Акулінічева [9, 10], Є. А. Сотнікова [11, 12], І. Б. Сотнікова [13, 14], Л. П. Тулупова [15, 16], А.К. Угрюмова [17, 18, 19, 20], Н.В. Правдіна [21], кандидатів технічних наук Ю.О. Мухи [22], В. К. Буянової [23]. У цих роботах автори застосовують математичний апарат для встановлення закономірностей коливання потужності вагонопотоків і розмірів руху поїздів, який базувався на аналізі деяких потужностей та змінах їх у часі. У роботі [23] було встановлено можливість відхилення планових вагонопотоків від їх фактичного значення в розмірах від 60 до 360 %, та внесено пропозицію: за розрахунковий період для розрахунку плану формування поїздів рекомендувати квартал, оскільки в цьому випадку повинна була враховуватися сезонна нерівномірність перевезень.

Крім того, розрахунки по організації вагонопотоків були зведені у роботі [24], та рекомендовані при розрахунках пропускної спроможності залізничних напрямків, а в необхідних умовах і її посилення.

Проблема посилення пропускної спроможності залізниць виникла незабаром після початку їх будівництва. У цей-же час з'явилися роботи, що встановлюють залежності між зростанням вантажообігу і потрібною пропускною спроможністю залізниці.

Не дивлячись на обмежену кількість способів посилення пропускної спроможності залізничних ліній, до того ж за відсутності достовірних даних про величину майбутнього вантажопотоку, вчені-транспортники вже у той час поставили задачу послідовного посилення пропускної спроможності ліній.

У цей же час започатковано два напрями вирішення задачі розвитку пропускної спроможності залізниць. Це, з одного боку, пошук рівня економічно виправданого завантаження ліній при існуючому їх оснащенні і встановлення сфер вигідності окремих способів освоєння перевезень; з іншого - розробка методології освоєння перевезень і етапного посилення пропускної спроможності залізниць.

Наука та практика проектування і експлуатації залізниць у вирішенні проблеми їх пропускні спроможності розвивалися, в основному, по цих двох

напрямах. Усередині кожного з цих напрямів були роботи, присвячені вирішенню окремих серйозних задач: проблеми по обґрунтуванню показників технічного оснащення ліній в одних випадках, і, комплексу параметрів багатоетапного розвитку в інших. В той же час були виконані роботи, де обоє з цих напрямів об'єднувалися. Аналіз робіт по дослідженню способів освоєння перевезень дозволив умовно встановити наступні досить самостійні напрями у вирішенні проблеми розвитку пропускної спроможності залізниць:

- визначення найбільш доцільного резерву пропускної спроможності і встановлення рівня раціонального завантаження ліній;
- обґрунтування ефективності етапного перевлаштування одноколіїних ліній в двоколіїні і двоколіїних в багатокільїні;
- створення методології освоєння перевезень і етапного підвищення пропускної спроможності залізниць;
- визначення ефективності окремих способів розвитку пропускної спроможності і оптимальних значень показників технічного оснащення ліній (вагових норм поїздів, швидкостей руху та ін.);
- оптимізація етапного розвитку пропускної спроможності окремих ліній, паралельних ходів і простих полігонів.

Розглянемо коротко, як змінювалися постановки задач і методи їх рішення по кожному з цих напрямів.

Спроба визначити раціональний рівень заповнення пропускної спроможності для одноколіїних ліній вперше була зроблена Л. Г. Бегамом [25]. У його роботі раціональний коефіцієнт заповнення пропускної спроможності встановлювався по мінімуму собівартості перевезень. І. І. Васильєв [26] уточнив величину раціонального коефіцієнта заповнення на тій же основі, по мінімуму собівартості перевезень, але з врахуванням додаткових чинників, таких, як розміри руху термінових поїздів і співвідношення швидкостей пасажирського і вантажного руху. Згодом визначенням рівня раціонального заповнення пропускної спроможності ліній по мінімуму собівартості перевезень займалися і інші дослідники, але в методичному відношенні їх роботи істотно не відрізнялися від вказаних вище.

Встановлення найвигіднішого режиму роботи одноколіїних ліній по мінімуму собівартості перевезень не давало можливості зробити які-небудь практичні висновки про доцільність проведення заходів щодо посилення пропускної спроможності.

Розглядаючи питання про найвигіднішу кількість пар поїздів на одноколіїній лінії в тісному зв'язку з питанням про момент переходу на двоколіїний рух, О. Є. Гібшман визначав сумарну собівартість перевезень з врахуванням приведених капітальних вкладень [27]. Проте, в цій роботі не розглядалися способи посилення пропускної спроможності одноколіїної лінії до спорудження другої колії. Останнє було враховане в роботі Б. М. Максимовича [28], де були розглянуті різні способи посилення пропускної спроможності, які дозволяють віддалити терміни укладання других колій і підвищити економічність експлуатації одноколіїних ділянок.



Однак, при економічній оцінці варіантів Б. М. Максимович через неможливість порівняти експлуатаційні витрати і капітальні вкладення обмежився розглядом прикладів попарного порівняння варіантів з капітальними вкладеннями в одні і ті ж моменти часу з постійними експлуатаційними витратами.

Надалі В. Є. Козловим [29], Б. С. Козіним [30] та І. Т. Козловим [31] були виконані дослідження, в яких задача визначення раціонального рівня завантаження одноколійних і двоколійних ліній вирішувалася на основі мінімізації наведених експлуатаційних витрат і капітальних вкладень. У роботі [29] рівень економічно доцільного завантаження ліній визначався по мінімуму сумарних річних витрат на перевезення. У роботі [30] по встановленню економічно доцільного рівня завантаження двоколійних ліній у витратах, що мінімізуються, враховувалися і капітальні вкладення на посилення пропускної спроможності з врахуванням ефекту від їх віддалення. Проте ж в цій роботі розглядався лише один із способів посилення пропускної спроможності двоколійної лінії - спорудження третьої колії. У роботі [31] задачу по встановленню раціонального рівня завантаження одноколійної лінії вирішувалася сумісно з оптимізацією процесу перевлаштування її в двоколійну при двох етапному спорудженні другої колії.

Загальною особливістю робіт, спрямованих на визначення найбільш доцільного рівня завантаження ліній, є те, що в них розвиток пропускної спроможності розглядався лише на одному етапі.

Питанням ефективності етапного перевлаштування одноколійних ліній в двоколійні і двоколійних в багатоколійні присвячена значна кількість робіт.

Вперше якнайповніше обґрунтування можливостей посилення пропускної спроможності при частковому укладанні других колій було надане Б. М. Максимовичем в роботі [32], в якій був зроблений висновок про доцільність спеціального переобладнання одноколійно-двоколійних вставок до умов організації руху поїздів. З роботи виходило, що розміщення двоколійних вставок на лінії необхідно підпорядкувати, головним чином, задачі забезпечення пропускної спроможності, а не розташуванню існуючих роздільних пунктів. Проте, автор в рішенні цього питання зупинився на півдорозі. У запропонованих схемах етапного перевлаштування лінії з одноколійної в двоколійну, кількість одноколійних і двоколійних ділянок визначалося кількістю існуючих роз'їздів і станцій, а не рівнем пропускної спроможності, необхідної на перспективу.

Подальший розвиток задачі про часткове укладання других колій отримано в роботах І. Г. Тіхомірова [33, 34]. У цих роботах автор провівши дослідження, аналогічне виконаному Б. М. Максимовичем, прийшов до висновку, що при відновленні і будівництві других колій необхідно переходити на обґрунтовану етапність цих робіт. При цьому І. Г. Тіхоміров довів, що другі колії повинні розміщуватися на ділянці або напрямі за спеціальним розрахунком з метою забезпечення встановленої для кожного етапу пропускної спроможності, а розміщення станцій, що діють, і роз'їздів має бути враховане при проектуванні вставок, але не визначати їх кількість і довжину. Проте в роботах І. Г. Тіхомірова величина пропускної спроможності, що забезпечується як на першому, так і на другому етапі спорудження других колій, також не обґрунтовувалася. Роз-

глядаючи детально технічну сторону задачі, автор не враховував витрати, що викликаються укладанням другої колії. Вставки, що рекомендуються ним, встановлювалися незалежно від очікуваного обсягу перевезень.

Порівняння економічної ефективності різних способів часткового укладання колій на експлуатованих лініях було вперше проведене Б. М. Максимовичем в роботі [35]. У роботі були не лише визначені технічні показники варіантів, але і враховані витрати, пов'язані з розвитком і експлуатацією лінії, але не розглядалася можливість встановлення раціональної етапності спорудження другої колії в залежності від величини вихідних розмірів руху і темпу зростання вантажопотоків.

Задачу етапного перевлаштування одноколійних ліній в двоколійні розглядалися і в деяких інших роботах післявоєнного періоду. До них відносяться дослідження О. Д. Каретнікова [36, 37], О. І. Карновського [38] та В. М. Вдовиченко [39]. У цих роботах на основі тих же принципів рішення задач, які були закладені в працях І. Г. Тихомірова і Б. М. Максимовича, більш детально досліджувалися окремі сторони питання.

Далі з'явилися також роботи по обґрунтуванню етапного перевлаштування двоколійних ліній в багатоколійні [40, 41]. Метод рішення задачі двох етапного посилення пропускної спроможності в них такий же, як і в розглянутих роботах по обґрунтуванню етапного спорудження другої колії на одноколійних лініях.

Загальною особливістю всіх відмічених вище робіт, пов'язаних із задачею етапного перевлаштування одноколійних ліній в двоколійні і двоколійних в багатоколійні є те, що в них не ставилися задачі відшукування оптимальних з техніко-економічної точки зору варіантів етапного перевлаштування ліній, а порівнювалися варіанти, що відрізняються лише способом послідовного спорудження додаткових головних колій. Варіанти ж з різною кількістю вставок, додаткових головних колій, а отже, і з різними термінами закінчення будівництва суцільної додаткової головної колії не розглядалися.

Цей недолік в значній мірі був усунений в роботі, виконаній І. Т. Козловим [42]. У цій роботі автор розглядає питання етапного спорудження другої головної колії у зв'язку з рішенням задачі за визначенням рівня раціонального завантаження одноколійної лінії. При цьому він знаходив оптимальні терміни експлуатації ліній від спорудження двоколійних вставок до спорудження суцільної другої колії залежно від темпу зростання вантажопотоку і розмірів руху у вихідний момент.

Постановка задачі про раціональне завантаження лінії ізольовано від рішення питання про те, як слід розвивати пропускну здатність цієї лінії до необхідного рівня, мала суттєвий недолік з точки зору комплексності вирішення проблеми. Цей недолік намагалися усунути дослідники в роботах наступного напрямку.

У напрямку створення методології оволодіння перевезеннями і етапного посилення залізниць відома значна кількість робіт. У роботі Г. І. Черномордіка [43] була зроблена спроба надати елементи методології виявлення ефективності технічного посилення залізниць. В результаті дослідження був отриманий ма-

теріал, який дозволив авторові зробити висновки, які засновані на послідовному розгляді показників як грошових, так і матеріально-технічних, проте, значна частина висновків отримана методом ізольованого вивчення окремих чинників.

Остання умова значною мірою врахована в роботі О. В. Горінова [44] в якій ставилася задача встановлення найбільш раціональних схем етапного розвитку одноколійних ліній, у тому числі з переходом до двохколійних ліній в різних умовах. Вказувалося, що найбільш доцільна етапність посилення пропускної спроможності могла бути встановлена лише на основі техніко-економічного порівняння варіантів, автор обмежився аналізом технічно можливих варіацій без оцінки їх економічної ефективності. Автор вважав, що економічна оцінка варіантів могла бути правильніше дана у кожному конкретному випадку, але не в типовому аналізі.

З тих же позицій розглядали задачу етапного посилення пропускної спроможності залізниць і інші дослідники: Б. М. Максимович і Є. Д. Фельдман [45], Р. З. Нурмухамедов [46], С. П. Сорокін [47], Є. Д. Фельдман, А. М. Баранів, В. Е. Козлов [48]. Загальним для всіх робіт по створенню методології опанування перевезень і етапного посилення пропускної спроможності залізниць було те, що в них використовувалися методи прямого порівняння обмеженої кількості варіантів. Найбільш доцільним був варіант, кращий з кількох розглянутих. Задачу оптимізації процесу розвитку пропускної спроможності залізничних ліній в цих роботах не ставилося.

У напрямку визначення ефективності окремих способів посилення пропускної спроможності і встановлення оптимальних параметрів технічного оснащення ліній також було виконано багато досліджень.

Б. Є. Пейсахзон [49] розглядав проблему маси і швидкості на основі мінімізації витрат, що включають не лише експлуатаційні витрати, але і долю капітальних вкладень на розвиток постійних пристроїв лінії. В результаті їм були отримані залежності оптимальних значень маси поїзда і дільничної швидкості від величини вантажопотоку. Проте ці залежності були отримані для стабільного вантажопотоку і окремо для одноколійних і двохколійних ліній. Що ж до умов зростаючого вантажопотоку і особливо для періоду перевлаштування одноколійної лінії в двохколійну, то в цей період цими залежностями скористатися не можливо.

Вплив темпу зростання вантажопотоку на норми маси поїздів і довжини станційних колій розглядалися в роботі Г. І. Черномордіка [50], в якій автор враховував можливий в результаті збільшення маси поїзда, ефекту від віддалення витрат на спорудження двохколійних вставок на одноколійній лінії. Кількість двохколійних вставок і їх протяжність були прийняті в роботі не залежними від маси поїзда, величини вантажопотоку і темпу його зростання. Оптимізація маси поїзда виконувалася, таким чином, без оптимізації перевлаштування одноколійної лінії в двохколійну.

У роботах щодо визначенням ефективності окремих методів посилення пропускної спроможності Д. П. Борисов [51] та В. Е. Козлов [52] ці методи розглядалися ізольовано від інших заходів. Якщо і розглядалися окремі варіанти

етапного розвитку пропускної спроможності [52], то знову ж таки без постановки задачі щодо оптимізації процесу в цілому.

Слід зазначити, що в тих роботах, де ставиться задача оптимізації параметрів технічного оснащення ліній, розглядалися, як правило, лише один або два параметри. Всім іншим параметрам, що характеризують весь комплекс умов експлуатації і способів розвитку лінії, давалися фіксовані значення. У тих же роботах, де давалося обґрунтування комплексу заходів етапного розвитку лінії, не ставилося задачі відшукування оптимального варіанту. Дослідження обмежувалося порівнянням невеликої кількості варіантів і знаходженням кращого лише з розглянутих. У деяких роботах ставилася задача оптимізації процесу розвитку пропускної спроможності [42, 53], але не більш як з двома етапами.

Особливості цих робіт з точки зору оптимізації багатоетапного процесу розвитку пропускної спроможності розглядалися в дослідженнях наступного напрямку.

В одній з перших робіт по оптимізації багатоетапного процесу розвитку пропускної спроможності залізничних ліній [42] було вирішення задачі збільшення пропускної спроможності одноколіїної лінії за схемою двох заходів: вставки (В) другої колії для безупинних схрещень - двохколіїна (Д) лінія. У якості критерію оптимальності використовувався мінімум сумарних приведених витрат, пов'язаних із спорудженням і експлуатацією двохколіїних вставок і суцільної другої колії,  $E_{В-Д}^{\min}$ . Сумарні приведені витрати  $E_{В-Д}$  були представлені як функція одної змінної

$$E_{В-Д} = f(t_B), \quad (1.1)$$

де  $t_B$  – термін експлуатації лінії від спорудження вставок до споруди другої колії.

Оптимальне значення терміну  $t_A$  визначалося методом диференціювання.

У роботах А. М. Макаровича [54, 55] вирішувалася задача оптимізації трьох етапного розвитку пропускної спроможності одноколіїної лінії за системою заходів: застосування пакетного (П) графіка руху - вставки - двохколіїної лінії. Критерієм оптимальності служили також мінімум сумарних витрат, в які включалися і витрати за період експлуатації лінії при пакетному графіку руху. Сумарні приведені витрати представлялися як функція вже двох змінних

$$E_{П-В-Д}^{\min} = f(t_{\Pi}, t_B), \quad (1.2)$$

де  $t_{\Pi}$  – термін експлуатації лінії при пакетному графіку.

Оптимальне значення термінів  $t_{\Pi}$  і  $t_B$  знаходилося методом аналітичного і графічного диференціювання.

Перша спроба оптимізувати процес  $n$ -етапного розвитку пропускної спроможності лінії була зроблена в роботі А. М. Макаровича [56]. Розроблена методика розрахунків по оптимізації етапного розвитку лінії передбачала скла-

дання практично можливих схем етапного розвитку пропускної спроможності.

Під схемою розвитку розглядалася встановлена черговість окремих способів посилення лінії. По кожній такій схемі сумарні витрати виражалися наступною залежністю від термінів експлуатації лінії між суміжними етапами капітальних вкладень на посилення її пропускної спроможності

$$E_{\text{общ}} = \sum_{i=1}^n \frac{A_i}{(1 + \Delta)^{t_i}} + \sum_{i=1}^n \sum_{t=t_{i-1}}^{t_i} \frac{E_i(t)}{(1 + \Delta)^t} \quad (1.3)$$

де  $A_i$  – капітальні витрати по етапах посилення пропускної спроможності;

$t_{i-1}, t_i$  – терміни початку і закінчення дії періодів експлуатації лінії, в межах яких її технічне оснащення істотно не змінюється;

$t$  – поточний термін експлуатації лінії;

$E_i$  – приведені до річних витрати, пов'язані з виконанням перевезень;

$n$  – етапи посилення пропускної спроможності лінії.

Раціональна етапність проведення заходів даної схеми відповідала мінімуму витрат, визначених за формулою (1.3).

Оптимальні значення термінів  $t_i$  встановлювалися графоаналітичним способом з використанням принципів динамічного програмування. Оптимальна етапність розвитку лінії визначалася шляхом порівняння за витратами раціональних варіантів у всіх можливих схемах. Варіант схеми, що забезпечує абсолютний мінімум витрат, приймався як оптимальний.

У роботах Б. С. Козіна [57, 58] задача вирішувалася для одноколіїних ліній з використанням методів математичного аналізу. Вирішення задачі на ЕЦОМ дозволило автору розширити діапазон дослідження ефективності заходів етапного розвитку одноколіїних ліній за рахунок ширшого варіювання значеннями вихідних даних.

У роботі В.І. Зеленкова [59] було вирішено задачу та проведені дослідження по встановленню ефективності схем етапного розвитку пропускної спроможності двоколіїних ліній. Методика розрахунків в цій роботі була використана та ж, що і для одноколіїних ліній [55].

Загальна особливість розроблених в роботах [55, 57] методик розрахунків по оптимізації етапного розвитку пропускної спроможності полягала в тому, що в них передбачалося попереднє встановлення можливих схем заходів з певною черговістю. Обчислювальний процес був побудований таким чином, аби черговість заходів варіювалася при пошуку оптимальних термінів їх проведення. Така методика розроблена А.В. Горіновим [60]. Проте це вже більше відносилось до оптимізації самого обчислювального процесу. Що ж до задачі оптимізації розвитку пропускної спроможності, то в цій роботі вона ставилася так само, як і в дослідженнях [55, 59].

Таким чином, теорія і практика розвитку пропускної спроможності залізничних ліній пройшли тривалий шлях від застосування окремих способів до оптимальних систем комплексних заходів етапного оволодіння перевезеннями. Проте усе більш очевидними ставали недоліки рішень, що отримувались на ос-

нові ізольованого розгляду окремих ліній. Знайдені для кожної лінії способи раціонального її розвитку не були погодженими по мережі залізниць в цілому та виявилися не вигідними для всієї мережі та іноді навіть не реалізовувалися практично.

Необхідність узгодження способів посилення пропускної спроможності як по лініях окремих полігонів, так і в загально мережевому плані викликається двома умовами. По-перше, зміна технічного оснащення однієї лінії в загальному випадку може привести до економічно раціонального перерозподілу потоків між лініями полігону. По-друге, можливості проведення реконструкційних заходів обмежені в цілому по мережі загальними ресурсами.

У зв'язку з цим, деякими дослідниками поставлені задачі по оптимізації розвитку транспортних систем і мереж. Першими роботами в цьому напрямку є дослідження С. Б. Козлової [61], Г. Н. Ковшова і Е. П. Нестерова [62]. У цих роботах вирішувалися задачі оптимізації розвитку простих полігонів транспортної мережі з розподіленням по його ланках вантажопотоків. Ширше аналогічна задача була поставлена в дослідженнях І. Т. Козлова і В. Н. Лівшиця [63, 64], проте способи її рішення в цих працях не розроблені.

Слід зазначити, що оптимізація розвитку простих полігонів не вирішує проблеми узгодження заходів щодо розвитку пропускної спроможності ліній в загально мережевому сенсі. Вибір раціональних схем розвитку транспортних мереж ставився в роботах [63, 64]. Рішенні поставленої задачі повністю усунуло недоліки ізольованих по лініях рішень. Проте для цього потрібно всю транспортну мережу розглядати як єдину систему.

Отже, при вирішенні проблеми оптимізації розвитку транспортної інфраструктури залізничних напрямків при відсутності значних потужностей ПЕОМ було неможливо комплексно урахувати усі чинники, які оказують вплив на пропускну спроможність залізничних напрямків.

## **1.2 Оперативне управління поїздопотокami на залізничних напрямках з паралельними ходами в умовах швидкісного руху пасажирських поїздів**

В оперативних умовах при збільшенні потужності поїздопотоків на залізничних напрямках з паралельними ходами виникає питання удосконалення розподілу поїзної роботи між напрямками.

У дослідженні [65] виконаний узагальнений досвід проектування автоматизованих систем управління залізничним транспортом, розробки плану формування поїздів з використанням ПЕОМ, організації відправницької маршрутизації з місць навантаження і календарного планування навантаження не маршрутних вантажів, вибору варіантів організації місцевих вагонопотоків, раціонального використання сортувальної роботи з врахуванням технічного розвитку станцій і їх завантаження.

При наявності декількох паралельних залізничних ліній поїздопотоків між ними розподіляють за допомогою техніко-економічної оцінки. Економічна ефективність варіанту направлення поїздопотоків визначається, як сума екс-

платіжних витрат на перевезення, формування і переформування поїздів. Ці витрати визначаються у частині, що залежить від розмірів руху.

Крім вартісних, також враховують наступні показники: час на проходження поїздами дільниць та станцій; витрати пального на маневрову роботу при формуванні-розформуванні поїздів; пропускну спроможність дільниць; переробну спроможність станцій.

Рішення щодо направлення поїздопотоків по тій чи іншій лінії приймаються на основі річних планових обсягів вантажопотоків з урахуванням наступного їх оперативного коригування у відповідності з сезонною нерівномірністю перевезень, пропускну та переробною спроможністю дільниць, станцій, наданням "вікон" для виконання усіх видів ремонтно-будівельних робіт.

Витрати на відхилення поїздопотоків по кожній окремій з паралельних ліній в загальному виді розраховується за формулою:

$$E = N_0 \left( \sum E_y + \sum E_n \right) \pm \sum ME_{oo}, \quad (1.4)$$

де:  $N_0$  - розмір відхиленого поїздопотоків, *ваг*;

$E_y$  - сума експлуатаційних витрат на пересування поїзда по всіх ділянках даного напрямку, які залежать від розмірів руху, *тис. грн.*;

$E_n$  - додаткові витрати на переформування поїздів або зміну їх маси та довжини на сортувальних та дільничних станціях розрахованих на 1 поїзд, *тис. грн.*;

$M$  - кількість резервних локомотивів по кожній дільниці, яка змінилася, при пропуску відхиленого поїздопотоків, *од.*;

$E_{oo}$  - витрати на проходження резервного локомотиву по ділянці, *тис. грн.*

Витрати на просування поїздопотоків по ділянках визначають сумою витратних показників, розрахованих на 1 поїзд. При визначенні техніко-економічних показників на конкретному напрямку необхідно врахувати відповідні показники по технічних станціях та перегонах, а також пропускну спроможність розглянутих напрямків.

Пропускну спроможність залізничних напрямків на Україні розраховують відповідно до [66], яка має певні недоліки при розрахунках коефіцієнтів зйому швидкісними та прискореними пасажирськими поїздами вантажних поїздів в умовах використання на лініях прискореного руху пасажирських поїздів в денний час доби.

Фундаментальною основою підвищення ефективності експлуатаційної роботи залізниць України в сучасних умовах є впровадження нових методів управління перевізним процесом на базі інформаційних і керуючих технологій з використанням принципів технологіко-економічної моделі перевізного процесу на всіх ланках перевезень.

На сучасному етапі економічних взаємин управлінському апарату всіх рівнів необхідно вміти приймати попередньо економічно обґрунтовані організаційні й технологічні рішення, які дозволять мінімізувати витрати і збільшити доходні надходження. Впровадження інформаційних технологій перевізного

процесу в межах технолого-економічної моделі управління перевезеннями (ТЕМП-УЗ), дозволяє досягти значного зниження експлуатаційних витрат, пов'язаних з перевезенням вантажів (поліпшення використання рухомого складу, оптимізація регулювання, прискорення обігу вагона) [67].

Таким чином, метою визначення найбільш ефективних варіантів організації перевізного процесу за умови збільшення доходів та зменшення витрат при здійсненні перевезень є розробка еталонів вартості перевезень на залізничних лініях з паралельними ходами.

Державна цільова програма реформування залізничного транспорту [68] передбачає скорочення витрат на перевезення при більш доцільному використанню транспортної інфраструктури. Для досягнення поставленої мети в умовах реструктуризації УЗ необхідно розробити технолого-економічний підхід до управління вантажними перевезеннями.

Основною метою автоматизованої системи економічної оцінки перевізного процесу залізниць є позмінний, щодобовий та за виділений відрізок часу розрахунок експлуатаційних (кількісних та якісних) та економічних показників виконаної експлуатаційної роботи підрозділів залізниць. Автоматизована система економічної оцінки перевізного процесу залізниць є складовою інформаційною системою інтегрованої інформаційно-керуючої системи технолого-економічного управління перевезеннями Укрзалізниці - ПКС ТЕМП-УЗ та відноситься до автоматизованих систем планування та розрахунку.

В теперішній час, для керівників апарату управління процесами перевезень дана модель дає загальні рекомендації по здійсненню процесу перевезень, вона не розглядає можливість пропуску вантажних поїздів по паралельним ходам з врахуванням їхньої інфраструктури, а особливо при введенні швидкісного руху пасажирських поїздів та подальшому переходу на рух швидкісних поїздів у денний час доби. В цьому зв'язку модель необхідно доповнити еталонними характеристиками оцінки просування вагонопотоків по паралельним ходам в умовах швидкісного руху пасажирських поїздів.

### **1.3 Сучасні методи моделювання роботи залізничних ліній**

Бурхливий розвиток обчислювальної техніки в другій половині ХХ століття послужив поштовхом до розвитку теорії і практики моделювання процесів перевезення.

Першою спробою моделювання поїзної роботи на залізничних напрямках була організації вагонопотоків в поїзда, запропонована С.В. Дувалієм [69], яка базувалася на методі поліпшення плану при постійних значеннях переробної спроможності сортувальних станцій. Недоліком цієї роботи було постійне завантаження транспортної інфраструктури без урахування коливань поїздопотоків.

Під керівництвом А.А. Аветікяна [70] в ЦНДІ ТЕІ МШС було проведено моделювання роботи залізничного напрямку із застосуванням методу динамічного програмування. Він дозволив процес переміщення поїздопотоків розділити на "кроки", переходячи при моделюванні від "кроку" до "кроку" по станціям



призначення, оптимізуючи кожного разу управління тільки на цьому конкретному кроці з урахуванням отриманого попереднього результату.

Динамічна модель та алгоритм рішення функціональних задач управління транспортними системами та оперативне управління поїздопотокami, запропонована проф. О.В. Кутиркіним [71, 72].

Моделювання взаємодії роботи вузлів з залізничними напрямками на основі імітаційного моделювання в умовах ринкової економіки Росії запропоновано д.т.н. А.Ф. Бородіним [73].

В роботі [74] А.Є. Александров запропонував методологію математичного комп'ютерного моделювання, оптимізації і дослідження структури і технології роботи складних транспортних систем залізничного транспорту. Розроблена методологія використання різних моделей для розрахунку і оптимізації транспортних систем включали використання моделей строгої оптимізації, оптимізації на імітаційних моделях і використання дворівневих систем оптимізації.

Моделювання роботи залізничних напрямків [73, 74] враховували наявність на мережі залізниць паралельних ходів, однак розподіл поїзної роботи між ними базувався на постійних еталонах. Також у цих роботах не враховувався вплив швидкісного руху пасажирських поїздів на пропускну спроможність паралельних напрямків.

З введенням в дію автоматизованих центрів управління перевезеннями на базі нових інформаційних можливостей системи НАСК ВП УЗ на залізницях України з'являється можливість здійснювати поточні коригування пропуску вантажних поїздів по залізничним напрямкам з паралельними ходами, базуючи на експертних оцінках без застосування техніко-економічного обґрунтування.

Найбільш інтенсивна робота в напрямку оперативної організації поїздопотоків ведеться в УкрДАЗТі (ХІПТі). Питаннями оперативної організації вагонопотоків, поточного коригування ПФП та оптимізації технології обслуговування поїздів в оперативних умовах займалися такі вчені даного закладу як М.І. Данько, Т.В. Бутько, Д.В. Ломотько та ін.

У роботі проф. М.І. Данько [75] обґрунтовано актуальність робіт, спрямованих на удосконалення системи оперативного планування поїзної роботи залізниць. В роботі [76] проф. Т. В. Бутько розглянуто принцип планування перевезень вантажу на основі раціональної організації вагонопотоків на залізниці із застосуванням теорії нечітких множин. В роботах [77-79] проф. Т. В. Бутько та проф. Д. В. Ломотько запропоновано використання логістичних технологій, які дозволяють зменшити експлуатаційні витрати та строк доставки вантажів до пункту призначення.

У роботі [77] розглядалися питання щодо удосконалення технології просування потужних вагонопотоків за жорстким графіком руху поїздів. Запропоновано формування віртуального логістичного ланцюга, що включає комплекс технічних, технологічних, організаційних засобів транспорту для синхронізації всіх залізничних підрозділів на шляху просування вантажопотоку. Це дозволяє зменшити експлуатаційні витрати та строк доставки вантажів до пункту призначення.

Для реалізації віртуального логістичного ланцюга рекомендовано проводити моделювання з вибору варіанта просування поїздопотоків за жорсткими нитками графіка руху на окремих напрямках залізниць. В основі досліджень запропоновано використання комплексного підходу з урахуванням найбільш економічно доцільних маршрутів прямування поїздів в умовах різних варіантів подовження пліч обслуговування локомотивів та локомотивних бригад, швидкостей руху на дільницях при експлуатації різних типів локомотивів, технології обробки поїздів на технічних станціях, зміни маси та довжини поїздів.

Для визначення конкурентоспроможних варіантів організації логістичної технології просування вантажопотоків необхідним є побудова методів дослідження впливу різних факторів при реалізації запропонованої технології за критеріями найбільш раціональних витрат паливо-енергетичних ресурсів, ефективності доставки вантажів за часом, потрібного парку локомотивів, якісних та кількісних показників роботи залізниць, врахування різних видів тяги.

Полігон мережі залізниць України розглядається у вигляді неорієнтованого графа  $G(V, D)$ , де  $V$  - множина вузлових (сортувальних та дільничних) станцій, які є вершинами графа  $v_i \in V, i \in [1; n]$ ,  $D$  - множина залізничних дільниць, які примикають до станцій,  $d_{ij} \in D, i, j \in [1; n], i \neq j$ . Кожний напрямок  $\lambda \in \Lambda$  на мережі  $G$  з початкової вершини до кінцевої характеризує процес перевезення у віртуальному логістичному ланцюзі. Формалізацію процесу формування логістичного ланцюга доставки зведено до знаходження маршруту  $\lambda$  на залізничному напрямку. Маршрут  $\lambda$  забезпечує найбільшу відповідність значення цільового критерію  $\psi(\bullet)$  бажаному його значенню  $\tilde{\psi}$  (мінімум витрат перевізника) з урахуванням обмежень та пріоритетності користування жорсткою ниткою графіка.

У моделі кожної дільниці  $d_{ij}$  залізничного напрямку ставиться у відповідність провізна спроможність  $q_{ij}$  і час прямування  $t_{ij}^a$  по дільниці. Витрати від обробки вантажопотоку та від його затримки мають місце у вершинах  $V_j$  графа  $G$ , кожній з котрих поставлено у відповідність тривалість знаходження  $\sum_{k \in V_j} t_k$ .

Визначення сумарного часу обробки  $\sum_{\substack{k \in V_j \\ z \in Z}} t_k^z$  на станціях здійснено за критерієм мінімуму втрат від затримок  $\sum_{z \in Z} B_{ij}^z$  та додаткових витрат на їх усунення  $\sum_{z \in Z} M_{ij}^z$ , де множина підсистем станції, у яких можуть виникнути затримки. Таким чином, пошук оптимального маршруту  $\lambda^* \in \Lambda$  на мережі  $G$  формалізована таким чином:

$$\lambda^* = \sup \min_{\mu_{\tilde{\psi}}} \left[ \psi \left( \sum_{I=N} Q_I; \sum_{i,j \in \lambda} T_{ij}; \sum_{i,j \in D} t_{ij}^d + \sum_{\substack{k \in V_j \\ z \in Z}} t_k^z \right) \right] \quad (1.5)$$

$$\begin{cases} v_i \in V, i = [1; n]; \\ d_{ij} \in D, i, j \in [1; n]; \\ \sum_{i, k \in \lambda} q_{ik} = \sum_{k, j \in \lambda} q_{kj}; \\ Q_j \leq \sum_{i, j \in \lambda} q_{ij} \end{cases} \quad (1.6)$$

де  $\mu_{\tilde{r}_{ij}}(\bullet)$  – функція приналежності фактичного значення критерію цільового критерію  $\psi(\bullet)$  за маршрутом  $\lambda$  бажаному його значенню  $\psi$ ;

$Q_l$  – річна потреба у вантажу (потужність вантажопотоку),  $m$ ;

$T_{ij}$  – фактичний термін доставки  $j$ -го вантажу за  $i$ -м варіантом логістичного ланцюга, *діб.*

Особливістю цільової функції (1.5) є те, що до функції приналежності можна вводити додаткові фактори (наприклад, довжину тягових пліч). Обмеження  $\sum_{i, k \in \lambda} q_{ik} = \sum_{k, j \in \lambda} q_{kj}$  є умовою нерозривності вантажопотоку на станціях.

У роботі [78] Д. В. Ломотько розглянув удосконалення системи управління парком вантажних вагонів власності підприємств у нових умовах на залізницях України за рахунок створення єдиної системи управління парком вантажних вагонів (ЄСУ ПВВ) - збалансувати господарський, інноваційний і фінансовий аспекти діяльності Укрзалізниці і операторських компаній, створити синергію організації за допомогою збалансованої системи показників. Моделювання перевізного процесу доставки вантажів розглядалося за допомогою математичні моделі ЄСУ ПВВ заснованих на принципах ресурсозбереження перевізних ресурсів, експлуатаційних витрат, наближення фактичних і нормативних строків доставки вантажів. Для вирішення поставленої задачі розглядалося зведення матричної гри до подвійної задачі лінійного програмування.

У роботі [79] Д.В. Ломотько використав методи пошукової оптимізації, що базуються на використанні інформації про технологічний процес доставки і в послідовному поліпшенні якості отриманих екстремальних рішень задачі у тому числі - в умовах невизначеності і нечіткої інформації. Фактично цільова функція задавалася не в явному виді і є системою рівнянь, які відносяться до різних підсистем доставки, то аналітичне її рішення дуже складно, що також свідчить про ефективність використання методів пошуку. Багатокритеріальний характер цільової функції дозволяє перейти до рішення у залежності від функції якості функціонування логістичної системи доставки вантажу, яку задано у неявному вигляді в залежності від показників. Для рішення поставленої задачі були використані модифіковані пошукові методи Хука-Джівса та сполучених напрямків Пауелла.

Таким чином, розглянуто і запропоновано принципи оптимізації системи доставки вантажів на основі багатокритеріального ресурсозберігаючого підходу. Рішення задачі здійснено через перехід від множини критеріїв до традиційної задачі оптимізації при пошуку кращого рішення по Парето за допомогою

згортки і з використанням лексикографічного принципу квазіоптимальності. Це давало можливість практичного використання його при побудові системи підтримки прийняття рішення щодо вибору параметрів системи доставки вантажів залізницями.

В залежності від задач, що досліджуються в роботі залізничних ліній, Д.Ю. Левін імітаційні моделі розділив на три категорії [80]: ті, що представляють рух окремих поїздів (мікромоделі) та рух групи з декількох поїздів (макромоделі); ті, що розглядають потік поїздів на розгалуженій мережі залізниць (сітьові моделі).

Д. Ю. Левін і В. Л. Павлов в роботі [81] запропонували для розрахунку поїздоутворення застосовувати укрупнене імітаційне моделювання роботи сортувальної станції за допомогою програмних засобів пакету MATLAB. У якості критерію при оптимізації роботи станції прийнятий мінімальний час простою составів в очікуванні ниток графіка, забезпечених локомотивами і бригадами.

В мікромоделі з допомогою точних методів досліджується індивідуальна поведінка поїздів. В цьому випадку поїзди розглядаються у вільному русі [82]. Прикладом такої моделі є виконання тягових розрахунків на ЕОМ. В макроскопічній моделі досліджуються середні характеристики руху великої кількості поїздів на ділянці. Таке моделювання дозволяє розглядати комплекс «потік поїздів – машиніст – ділянка». Сітьові моделі охоплюють широкий клас задач при проектуванні будівництва та реконструкції, плануванні перевізної роботи.

Початок розвитку імітаційного моделювання транспортних систем припадає на 60-ті роки ХХ сторіччя [83]. В подальшому ці дослідження були покладені в основу фундаментальної праці з теорії моделювання транспортних систем [84]. В ній сформульовані загальні принципи формалізації станцій і вузлів, методології їх функціонального моделювання, розроблено універсальний алгоритм моделювання, що дозволяє вирішувати задачі різного характеру й масштабу – від розрахунку пропускної спроможності перегону до станції в цілому. У результаті моделювання визначаються пропускна й перероблювальна спроможність системи, потужність технічних засобів, техніко-експлуатаційні показники. Метою моделювання є дослідження варіантів схеми та технології роботи об'єкта при заданому потоці поїздів, спрямоване на виявлення елементів, що лімітують його роботу, і черговості посилення технічного оснащення при збільшенні обсягів роботи. При цьому з урахуванням взаємодії всіх вирішальних елементів станції й технологічного процесу одночасно визначається кількість колій, маневрових локомотивів, сортувальних пристроїв, тощо.

Для визначення пропускної спроможності транспортних систем проф. І. Т. Козловим розроблена методика побудови імітаційних моделей [85]. Транспортний об'єкт в роботі представляється формалізованим описом його постійних пристроїв, змінних засобів і системи оперативного керування роботою. Постійні пристрої й змінні засоби представляються багатоканальними елементами із числом каналів  $k \in (1; n_j)$ .

Для моделювання роботи транспортних систем досить широко використовується апарат мереж Петрі [86]. Використання цього апарату скорочує витрати

часу на розробку моделей транспортних об'єктів а також спрощує процес їх створення, і в подальшому покликано збільшити якість перевізного процесу, скоротити строки доставки вантажів і, тим самим, підвищити конкурентоздатність залізниці. Зокрема, в [87, 88] розглядаються можливості використання апарата мереж Петрі для моделювання сортувальних станцій і інших транспортних комплексів.

Під керівництвом проф. Є. В. Нагорного розроблена методика подання комплексу "сортувальна станція - примикаючі ділянки" у вигляді мережі Петрі, у якій переходи імітують обробку об'єктів протягом заданого часу, а позиції характеризують стан системи й визначають умови переходів. При виконанні умов перехід спрацьовує, у результаті чого змінюється поточна розмітка мережі. У даних роботах показано, що ускладненням структури мережі можна досягти будь-якого ступеня деталізації системи. Передбачена також можливість моделювання випадкових інтервалів та тривалості обслуговування транспортних об'єктів. Моделі, побудовані на основі мереж Петрі, дозволяють фіксувати стан системи в довільний момент часу, і за результатами моделювання визначити інтегральні показники тривалості виконання окремих операцій і число оброблених об'єктів. Як недолік, слід зазначити відсутність у моделі механізму вибору черговості виконання окремих операцій при виникненні конфліктних ситуацій.

Однієї з основних проблем, що виникають при функціональному моделюванні роботи станцій та дільниць, є складність формалізації технологічних процесів обробки поїздів, які можуть суттєво відрізнятися для різних категорій поїздів, і в тому числі для різних елементів транспортних систем. Для врахування впливу оперативно-диспетчерського персоналу в [89] запропоновано концепцію ергатичних моделей станцій, в яких людина бере безпосередню участь в процесі моделювання і управляє технологічним процесом станції. Використання такого роду моделей дозволяє вирішувати широке коло прикладних задач, направлених на вдосконалення роботи залізничних станцій.

Значний вклад в моделювання роботи сортувальних станцій та пропускної спроможності залізничних ліній внесла група вчених ДНТУЗТ під керівництвом д.т.н. Д.М. Козаченко у складі к.т.н. Г.Я. Мозолевича, к.т.н. Ю.В. Чібісова [90 - 96].

Для дослідження процесів пропуску поїздопотоків на залізничних напрямках авторами було побудовано систему імітаційних моделей: на мікрорівні – модель роботи технічних станцій; на макрорівні – модель роботи залізничного напрямку та на метарівні – модель переміщення вантажопотоків в цілому. Розроблені моделі, на відміну від існуючих, надають можливість системно проаналізувати організацію руху поїздів на залізничних напрямках з урахуванням особливостей роботи як роздільних пунктів, так і залізничних ліній. Розроблені моделі дозволяють встановлювати взаємозв'язки між параметрами поїздопотоків та техніко-експлуатаційними показниками роботи станцій та напрямків.

На мікрорівні ергатичне моделювання показало, що не можна знехтувати завантаженістю виконавців, оперативно-диспетчерського апарату та елементів, що приймають участь у технологічних процесах.

Отже, розроблені моделі дозволяють адекватно моделювати технологічні процеси роботи станцій та залізничних напрямків, але необхідним є подальше їх удосконалення з метою спрощення і прискорення їх побудови, а також спрощення аналізу результатів їх роботи особливо при наявності паралельних ходів та швидкісному русі пасажирських поїздів у денний час при диференційованій по періодам доби вартості електроенергії

#### **1.4 Моделювання роботи залізничних напрямків країн СНД та дальнього зарубіжжя в сучасних умовах**

Основою роботи залізничних напрямків є забезпечення необхідної пропускної спроможності та на її основі розробка графіків руху поїздів.

Моделюванню пропускної спроможності залізничних напрямків займалася Московська школа відомих радянських вчених, започаткована А.М. Макаро-чкіним [54, 55, 56, 97, 98, 100], та подовжена в подальшому Ю.В. Д'яковим [97, 99, 100], Д. Ю. Левіним [80], П.С. Грунтовим [100], В. Є. Козловим [101], А.Ф. Бородіним [73], А.П. Батуріним [102, 103, 104, 105]. Роботи даного напрямку базувалися на побудові економіко-математичної моделі вибору оптимального розвитку мережі. Так у роботі А.П. Батуріна [102] для оптимального розвитку технічного оснащення об'єкта мережі при заданій динаміки обсягів транспортних потоків був застосований метод направленої перебору схем розвитку технічного оснащення транспортних об'єктів мережі та метод диференційованих оцінок для визначення оптимальних строків реконструкції технічного оснащення об'єкта мережі. Вибір оптимального розвитку технічного оснащення мережі полягає у визначенні такої послідовності станів об'єктів, при якій виконання перспективного мережевого плану перевезень забезпечується з максимальною економічною ефективністю за умови виконання заданих ресурсних обмежень.

Економіко-математична модель розвитку технічного оснащення мережі залізниць може бути віднесена до класу безперервних динамічних моделей, що враховують не лише часові, але і технологічні зв'язки між параметрами, що характеризують процес перевезень. Модель орієнтована на розмірність розрахункової мережі, що складається з 1680 ланок і 1292 вузлів.

У країнах Західної Європи проблемі розвитку технічного оснащення мережі залізниць приділяється виключно велика увага. За останні десять років здійснений значний за об'ємом капітальних витрат на комплекс робіт по модернізації і реконструкції мережі, розроблені і затверджені урядові програми з розвитку технічного оснащення мережі залізниць на перспективу до 2015 р.

Співтовариством європейських залізниць (СІК) прийняті наступні основні напрями розвитку мережі [106, 107, 108, 109]:

- реконструкція існуючих залізничних напрямків для організації швидкісного пасажирського руху з максимально допустимою швидкістю до 200 км/год.;

- будівництво паралельно існуючим крупним автомагістралям нових високошвидкісних пасажирських ліній з максимально допустимою швидкістю руху до 300-350 км/год.;

- створення транс'європейських вантажних магістралей (TERFF), що забезпечують основні транспортні зв'язки між цими країнами з доведенням середньої маршрутної швидкості руху вантажних поїздів до 140 км/год.;

- подальший розвиток перевезень в прискорених вантажних поїздах з максимально допустимою швидкістю до 200 км/год.

Розвиток залізниць Німеччини (DBAG) [110] йде по шляху масштабної реструктуризації, що включає диверсифікацію в областях діяльності, доповнюючи перевезення. Програма Network.21, яка впроваджена на німецьких залізницях, направлена на підвищення надійності експлуатаційного процесу і збільшення провізної здатності при скороченні витрат на поточне утримання, в основному побудована на впровадженні нових технологій, що гарантують справний стан інфраструктури і підвищення рівня транспортного обслуговування.

В результаті реформ в залізничній галузі та введення гнучкої системи вузлових станцій DBAG добилися більшої свободи у формуванні поїздів і кращого використання провізної спроможності залежно від змінного протягом доби попиту. Система повагонних перевезень збудована як ієрархічна, при цьому поїздопотік складається в основному з місцевих поїздів, що виконують функції підвезення, і збірних, що обертаються між сортувальними станціями. Ця система добре зарекомендувала себе і забезпечує використання підвищених норм маси поїздів, їх економічну ефективність. Система діє стабільно, якщо з вантажів, що надходять, можуть формуватися відносно постійні вагонопотоки.

В європейському транспортному коридорі північ-південь між Роттердамом і Міланом, що проходить через Німеччину і альпійські регіони Швейцарії з альтернативним маршрутом через рівнину Ельзасу (Франція) або через перевал Бренер (Австрія) [111]. Експлуатація системи Eurotiraills, яка забезпечує в загальноєвропейському масштабі здобуття інформації про рух поїздів і на цій основі управлінням залізничними перевезеннями в реальному часі. У системі також ведеться банк про раніше виконані міжнародні перевезення. Система не підміняє собою існуючі національні системи управлінням експлуатаційної роботи, але інтегрується в ці системи і доповнює їх. Система Eurotiraills працює в шести країнах: Нідерландах, Німеччині, Франції, Швейцарії, Австрії та Італії і забезпечує управління приблизно 1000 міжнародними поїздами за добу.

Система Eurotiraills включає три модулі для трьох функцій:

- модуль «інформації», завдяки якому відбувається попереднє узгодження на всю довжину маршрутів графіків міжнародного руху поїздів;

- модуль «моніторинг», яка дозволяє аналізувати кількісні і якісні показники транспортного обслуговування, вести транспортну статистику по кожному поїзду, групі поїздів, ділянкам даного коридору і по всьому коридору;

- модуль «нитки графіка», який дозволяє реконструювати в реальному часі те, поїздів що пройшли, що пересікають хоч би один кордон, і, в разі серйозних ускладнень в русі змінювати маршрут в обхід або на паралельний.

Компанія Siemens [112] запропонувала новий підхід до автоматизації диспетчерського управління рухом поїздів, розробивши програмний комплекс, який в реальному часі безперервно порівнює фактичні дані про рух поїздів з

плановим графіком і при відхиленнях від нього вносить поправки до онлайн-розкладу, – скорочення запізнення поїздів у зв'язку з експлуатаційними обмеженнями.

У розробленій системі застосовується новий метод оптимізації диспетчерського управління рухом поїздів, при якому результати поправки вносяться не локально, а створюється повністю новий графік руху поїздів. Крім того, в рамках системи розглядається не лише зміна часу відправлення, але також розглядаються альтернативні маршрути дотримання поїздів за наявності паралельних ходів. Для роботи в реальному часі використовуються складні моделі і алгоритми дискретної оптимізації. Для оцінки ефективності роботи автоматичного диспетчера всі відповідні компоненти були інтегровані в імітаційну модель Falko, розроблену для складання і коректування графіків руху поїздів.

Північно-східний коридор (США) між Нью-Йорком і Вашингтоном є одним з самих інтенсивно напружених залізничних напрямків в західній півкулі [113], в якій компанії-оператори надають в електрифікованому коридорі протяжністю 730 км. по буденних днях пропускають близько 2000 поїздів, як швидкісних пасажирських Acela Express компанії Amtrak, так і місцевих вантажних. Сучасний рухомий склад і посилені колії знаходяться у взаємодії з пристроєм контактної мережі 30-х років минулого століття, старими тунелями і чисельними мостами, які вимагають заміни або ремонту. При цьому попит на пропускну спроможність коридору постійно зростає. Діапазон користувачів коридору унікальний – від вантажних поїздів, що обертаються із швидкістю 65 км/год до поїздів Acela Express, що розвивають швидкість до 240 км/год.

У 1990 р. компанія New Jersey Transit пропускала в Північно-східному коридорі до 172 поїздів на добу, а в теперішній час їх кількість зросла до 432 на чотирьох-колійній лінії. Підвищення пропускну спроможності залізничного коридору збільшилася за рахунок впровадження системи моніторингу і контролю місця розташування поїздів на ділянках мережі Amtrak.

Мережа залізниць США [114], на відміну від країн Європи, належить приватним компаніям, які здійснюють змішаний вантажопасажирський рух по одній інфраструктурі. Більшість залізниць Північної Америки здійснюють рух поїздів по графіках, аби оптимально використовувати пропускну спроможність. Один пасажирський поїзд знімає з графіка принаймні два вантажних, в більшості випадків – більше, оскільки поїзні диспетчера керуються інструкцією про прокладку ниток ходу пасажирських поїздів з певним запасом. Тому вимога до пасажирських перевізників – оплачувати інфраструктурну складову з врахуванням коефіцієнта знімання вантажних поїздів.

## 1.5 Висновки

Виконаний аналіз наукових робіт по проблемі підвищення ефективності організації руху поїздів на залізничних напрямках з паралельними ходами показав, що в сучасних умовах при впровадженні диференційованого по періодам доби ринку електроенергії та введенню в дію швидкісного руху пасажирських в денний час доби відсутній комплексний підхід до розв'язання задачі ефектив-



ного розподілу вантажних поїздопотоків по паралельним ходам.

В існуючих наукових роботах вплив параметрів поїздопотоків розглядається в аспектах експлуатаційної роботи станцій та дільниць, а в умовах реструктуризації Укрзалізниці та передачі рухомого складу приватним операторським компаніям, необхідно більш ефективно використання інфраструктуру залізниць, особливо з паралельними ходами, для скорочення строків доставки вантажів клієнтів від станції відправлення до пункту призначення.

Для розв'язання вказаної задачі необхідна побудова адекватних математичних моделей технологічних процесів роботи залізничних напрямків з паралельними ходами і розробити методи техніко-експлуатаційної та техніко-економічної оцінки вибору параметрів руху поїздопотоків.

## РОЗДІЛ 2

### ВИБІР НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗАЛІЗНИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ З ПАРАЛЕЛЬНИМИ ХОДАМИ ТА ОБГРУНТУВАННЯ МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОПУСКУ ПОЇЗДІВ

На інфраструктурі Укрзалізниці (УЗ) існує багато напрямків, що мають паралельні ходи. До них можливо віднести: Ясинувата – Харків через Куп'янськ чи Ізюм, Ясинувата – Синельникове через Лозову чи Чаплине, Синельникове - Кривий Ріг через П'ятихатки чи Апостолове, Харків – Дарниця через Полтаву чи Гребінку, Знам'янка – Жмеринка через Фастів чи Помічну, Козятин – Красне через Шепетівку чи Жмеринку, Дарниця - Ковель через Коростень чи Козятин, Знам'янка – Одеса через Колосівку чи Котовськ та ін. Показники інфраструктурної складової залізничних напрямків з паралельними ходами мають різне забезпечення (вид тяги, повздовжній профіль колії, наявність штучних споруд, кількість головних колій на перегонах, довжина колій на станціях та ін.).

Мережа залізничних напрямків з паралельними ходами розглядається як динамічна система, в якій в залежності від вантажообігу, вартості перевезень і різних розмірів швидкостей поїздів пасажирського і вантажного руху, відбувається удосконалення маршрутів слідування поїздопотоків. Провізна спроможність залізничних напрямків знаходиться в прямій залежності від вагових норм і швидкостей руху вантажних і пасажирських поїздів.

На полігоні УЗ для прискореного пасажирського і вантажного руху спільно використовується єдина інфраструктура. Для часткового розділення вантажного та пасажирського рухів на УЗ можливо лише роздільна експлуатація, яка може бути досягнута на залізничних напрямках з паралельними ходами.

В умовах впровадження прискореного руху пасажирських поїздів та застосування денних експресів, пропускна спроможність залізничних напрямків у вантажному русі суттєво зменшується, що приводить до додаткових витрат залізниць на перевезення та простою поїздів на технічних станціях.

#### **2.1 Послідовність та методи проведення досліджень**

Залізничний напрямок з паралельними ходами представляє собою складну, динамічну систему, зв'язану між собою інфраструктурною постійною складовою, яка складається у вигляді графу з  $R$  вузлів і  $N$  орієнтованих дуг, по яких виконуються перевезення  $P$  видів невзаємозамінних поїздопотоків, та змінною складовою.

Передбачається, що всі необхідні дані про перевезення на залізничному напрямку з паралельними ходами і техніко-економічні характеристики їх елементів повністю відомі, причому є незмінними в часі. Задача відшукування найвигідніших схем напрямку поїздопотоків по паралельних ходах при незмінній їх інфраструктурі розглядається в статичній постановці.

Залізнична інфраструктура з паралельними ходами характеризується: кількістю технічних станцій на напрямках, кількістю головних колій на перегонах, системою зв'язку та довжиною блок-ділянок між станціями, типом тяги, повздовжнім профілем колії, наявність інженерних споруд.

До змінної складової залізничної інфраструктури відносяться: розміри руху пасажирських та вантажних поїздів, їх швидкість та маса, існуюча пропускна спроможність та завантаженість напрямків.

Сучасні умови функціонування залізничного транспорту України характеризуються постійною зміною структури та обсягів поїздопотоків при наявності резервів пропускної спроможності залізничних напрямків з паралельними ходами.

Між елементами системи мають місце фізичні та інформаційні зв'язки. Стан системи характеризується положенням та станом її окремих елементів у просторі та часі. Входом та виходом системи «залізничний напрямок» постає пасажирський та вантажний поїздопотік, який пропускається по паралельним ходам напрямку. Поведінка цієї системи обумовлюється в основному впливом системи управління та значно залежить від обсягів та напрямлень вхідних поїздопотоків.

У зв'язку з цим, об'єктом дослідження є процес пропуску вантажних поїздопотоків на залізничних напрямках з паралельними ходами, а предметом дослідження виступають кількісні параметри розподілу вантажних поїздопотоків між паралельними напрямками.

Метою даної роботи є підвищення ефективності організації руху поїздів на залізничних напрямках з паралельними ходами.

Для проведення дослідження та підвищення ефективності організації руху поїздів на залізничних напрямках з паралельними ходами за рахунок ефективного розподілу розмірів поїздопотоків необхідно використовувати системний підхід. Тому при побудові моделі транспортної системи «залізничний напрямок з паралельними ходами» виконано її декомпозицію: модель залізничного напрямку поділяється на моделі основного та паралельного ходів.

При виконанні дослідження використовуються методи математичної статистики, система масового обслуговування (СМО) та тягові розрахунки.

Зміна обсягів поїздопотоків, їх параметрів, технологія пропуску по паралельним ходам впливає на завантаження залізничних об'єктів і відповідно впливають на загальні експлуатаційні витрати залізниць. Задачею дослідження є побудова адекватної економіко-математичної моделі роботи залізничного напрямку з паралельними ходами та ефективний розподіл поїздопотоків між ними для зменшення загальних витрат залізниці по пропуску поїздопотоків по паралельним ходам.

Вихідним положенням для реалізації технолого-економічного підходу до управління вантажними перевезеннями є технолого-економічна модель перевізного процесу, яка розробляється Укрзалізницею. Така модель зв'язує доходи від перевезень на певному залізничному підрозділі (дільниці, дирекції, залізниці) з експлуатаційними витратами.

Вартість перевезення по паралельних ходах на елементах транспортної інфраструктури мережі властиві природні нелінійності: одноколіїні залізничні перегони напрямків мають зупинки поїздів при схрещеннях між собою та обгонах вантажних поїздів пасажирськими (прискореними і швидкісними), кількість яких непропорційна поїздопотоків. Нелінійний характер функцій витрат залізниць пов'язані і з істотною нерівнозначністю вартості перевезень в навантаженому і порожньому напрямках.

При використанні лінійних методів погіршення від ігнорування не лінійності частково зменшується при введенні обмежень пропускної спроможності ланок мережі; тим самим не допускається таке їх завантаження, питома вартість перевезення при якій істотно відрізняється від набутих апріорі значень. Однак, при цьому залишаються все ж значні відхилення, особливо пов'язані з помилками у встановленні порожніх напрямків і чисельних значень величин обмежень пропускної спроможності.

Проаналізовані нелінійні методи рішення не вимагають обов'язкового введення штучних обмежень і допускають включення в розрахунок функцій витрат на перевезення в тому вигляді, який передбачається найбільш реальним економічним процесам. При цьому пропускну спроможність елементів залізничної мережі можна рахувати необмеженою, тому що, вибравши відповідний характер зростання нелінійних функцій витрат по перевезенню можливо ввести обмеження, тобто зробити неможливим завантаження елемента вище заданого рівня.

Нелінійні функції експлуатаційних витрат на перевезення, які постійно монотонно зростають зі збільшенням обсягів перевезення вантажного поїздопотоків, роздроблюємо на лінійні елементи, що дозволяє перейти до лінійних функцій експлуатаційних витрат на перевезення. Використання цих методів як обов'язкову передумову вимагає, щоб питома вартість перевезень на ланці мережі була постійною і не залежала від розмірів поїздопотоків.

Для вирішення поставленої задачі використовуються лінійні моделі і методи лінійного програмування.

Раціональні параметри розподілу поїздопотоків між паралельними ходами в умовах диференційованого по періодам доби ринку електроенергії та швидкісному руху пасажирських поїздів передбачається визначити з використанням економіко-математичного моделювання.

## **2.2 Загальна характеристика об'єктів дослідження**

Залізничні напрямки з паралельними ходами можуть суттєво відрізнятися довжиною, технічним оснащенням інфраструктури та обсягами поїздопотоків. Тому, при побудові економіко-математичної моделі залізничних напрямків, для розв'язання задачі підвищення ефективності організації руху поїздів на залізничних напрямках з паралельними ходами необхідно виконати збір та обробку даних про існуючі умови конкретних об'єктів.

В результаті аналізу умов та конструкції основних напрямків залізничних перевезень з паралельними ходами для дослідження було обрано характерний

залізничний напрямок Знам'янка - Одеса, що відрізняється різною інфраструктурою та розмірами руху пасажирських та вантажних поїздів між паралельними ходами:

- основний напрямок - Знам'янка – Помічна – Колосівка – Одеса
- паралельний напрямок - Знам'янка – Помічна – Котовськ – Одеса.

Інфраструктура залізничного напрямку Знам'янка – Одеса дозволяє організовувати сумісний рух поїздів по ділянці Знам'янка – Помічна з подальшим розділенням на два паралельних напрямки: Помічна – Колосівка – Одеса та Помічна – Котовськ – Роздільна – Одеса.

Необхідність посилення пропускної спроможності дільниці Знам'янка – Помічна – Колосівка - Одеса наведено [2]. Інфраструктура залізничного напрямку Знам'янка – Одеса дозволяє організовувати рух поїздів сумісно по ділянці Знам'янка – Помічна з подальшим розділенням на два паралельних напрямки: Помічна – Колосівка – Одеса-Сортувальна та Помічна – Котовськ – Роздільна – Одеса-Застава.

### **2.3 Постановка задачі підвищення ефективної організації руху поїздів на залізничних напрямках з паралельними ходами**

Раціональний розподіл поїздопотоків на залізничній інфраструктурі з паралельними ходами в теперішній час здійснюється за експертним методом на основі даних про раніше виконані обсяги перевезень без застосування техніко-економічного обґрунтування.

Актуальність розвитку і удосконалення методів управління рухом поїздів пов'язано з необхідністю використання критеріїв мінімуму вартості електроенергії, спожитої на тягу поїздів, в той час як у більшості випадків застосовують на залізницях критерій - мінімуму спожитої електроенергії. При змінних тарифах на електроенергію (різні ціни по періодам доби, а у деяких випадках і на різних залізничних дільницях) задача розрахунку суттєво ускладнюється. Одночасно з цим виникають додаткові проблеми щодо зміни планування і організації процесу перевезень.

Вибір оптимальних режимів ведення поїздів по напрямках є однією з основних задач залізничного транспорту. Задача оптимального ведення поїздів, в першу чергу, визначається повнотою обліку сукупності факторів, які характеризують дільницю, моделлю поїздів, різноманітними факторами і умовами процесу руху поїздів по змінному профілю колії, а також силами, які при цьому виникають та ін.

На основі даних про залізничну дільницю (поїзд, локомотив, час руху, обмеження швидкості, тарифи, які застосовуються на електроенергію та ін.) розраховується оптимальний за вартістю режим ведення поїзда у виді карти дільничних швидкостей або перегінних часів ходу.

Отримані результати виступають основою методики оцінювання економічної ефективності застосування змінних тарифів і вартісної організації процесу перевезень на електрифікованій дільниці.

В умовах впровадження на залізницях денного прискореного руху пасажирських поїздів зменшується наявна пропускна спроможність залізничних

напрямоків в денний час, що визиває необхідність на залізничних одноколійних напрямках та напрямках з двохколійними вставками, використовувати основний рух вантажних поїздів в нічний час доби.

На залізницях України для швидкісного (прискореного) пасажирського і вантажного руху спільно використовується єдина інфраструктура. Для часткового розділення рухів на Укрзалізнице можливо лише роздільна експлуатація, яка може бути досягнута на залізничних напрямках з паралельними ходами. В той же час, скорочення нічних пасажирських поїздів і введення денних прискорених експресів в графіку руху поїздів в 2012 році, скоротило можливу наявну пропускну спроможність для вантажного руху в денний період часу.

Для підвищення ефективності організації руху вантажних поїздів необхідно провести дослідження коефіцієнтів зйому вантажних поїздів швидкісними пасажирськими, що впливає на розміри руху вантажних поїздів, особливо, в умовах обмеженої пропускну спроможності залізничних напрямків.

Поставленою задачею дослідження є: розподіл поїздопотоків між паралельними ходами таким чином, щоб вантажні перевезення були здійснені з мінімальними для залізниці експлуатаційними витратами в умовах швидкісного руху пасажирських поїздів та диференційованих по періодам доби тарифів на електроенергію, яка споживається на тягу поїздів.

При незмінному технічному стані елементів мережі додаткові витрати на перевезення кожного подальшого поїзда зазвичай зростають. Тому з достатньою точністю, витрати по перевезенню на напрямку з паралельними ходами, що мають одноколійні перегони з двохколійними вставками можуть бути представлені у вигляді опуклої і не убутної функції, залежної від потужності вантажних і пасажирських поїздопотоків.

Як розрахункову схему приймаємо мережу, що складається з транспортних ланок, на яких сконцентровані всі витрати по перевезеннях, і абстрактних точкових вузлів, що розділяють ланки.

Сформована таким чином розширена мережа, яка включає як дійсні ланки, по яких безпосередньо здійснюються перевезення, так і додаткові ланки - функції витрат на перевезення, які представляють собою відповідні залежності витрат на переробку поїздопотоків у вузлах та слідування їх по перегонах. Врахувати цю специфіку можна двоюко: або скласти функції витрат так, щоб зробити надмірно великою вартість перевезення нетранспортабельних поїздопотоків, або вказати в самій схемі транспортної мережі, по яких ланках не допускається перевезення таких поїздопотоків.

Метою дослідження є розробка методики економічно доцільного розподілу поїздопотоків вантажного руху на напрямках з паралельними ходами з урахуванням елементів інфраструктури в умовах прискореного руху пасажирських поїздів та оптового ринку електроенергії.

Використовувана в подальших розрахунках цільова функція є сумою витрат на перевезення вантажних і пасажирських поїздів по ланкам мережі з урахуванням відповідних витрат на переробку поїздів у вузлах мережі і слідування по перегонах. Єдина вимога до вигляду цільової функції - її монотонно зростаюча опуклість, що підтверджено дослідженнями [97, 98] і диференційова-

ність. Конкретний же вигляд функцій витрат на перевезення і міру їх деталізації, вимоги до точності наближення до оптимуму та інші визначаються метою рішення задачі.

Функції витрат на ланках розбиваються на класи залежно від кількості колій на ділянці таким чином, що функції одного класу розрізняються лише значеннями відповідних коефіцієнтів, залежних від експлуатаційних і технічних параметрів інфраструктури ділянки, кількістю коефіцієнтів функцій і визначається об'єм інформації для кожної ділянки мережі.

При економіко-математичному моделюванні функція експлуатаційних витрат залежить від розмірів постійного нерозподілювального поїздопотоків на кожному з паралельних ходів та розмірів змінного розподілювального поїздопотоків між паралельними ходами. В якості параметрів функції на кожній ітерації прийняті відповідні коефіцієнти, які залежать від розмірів розподілювального поїздопотоків між паралельними ходами. При цьому кожному з паралельних ходів поставлена у відповідність функція витрат  $\varphi(x_1)$  – для основного напрямку перевезень та  $\psi(x_2)$  – для паралельного напрямку.

Для вирішення поставленої задачі оптимального розподілу поїздопотоків  $X$  на напрямку з паралельними ходами необхідно, щоб:

$$F(X) = \varphi(x_1) + \psi(x_2) \rightarrow \min \quad (2.1)$$

при обмеженнях:

$$x = x_1 + x_2,$$

$$x_1 \geq 0,$$

$$x_2 \geq 0.$$

де  $x_1$  – розміри руху розподілювальних вантажних поїздів по основному напрямку перевезень,

$x_2$  – розміри руху розподілювальних вантажних поїздів по паралельному напрямку перевезень.

Якщо передбачити, що функції витрат  $\varphi$  та  $\psi$  диференціюються, опуклі і монотонно зростаючі, то рішення представляється у вигляді:

а) при

$$\check{x}_1 = x, \check{x}_2 = 0;$$

б) при

$$\check{x}_1 = 0, \check{x}_2 = x;$$

в) при

$$\varphi'(\check{x}_1) = \psi'(\check{x}_2)$$

де  $\check{x}_1$  та  $\check{x}_2$  – відповідно оптимальні завантаження основного та паралельного напрямків залізничних перевезень.

Функціонал  $F$  вважатиметься опуклим, диференційованими та монотонно зростає. Формально можна розглянути і модифікацію моделі (2.1) вигляду:

$$\min F(X); \quad (2.2)$$

$$S_p X = b;$$

$$D \geq X \geq 0.$$

де  $X$  – вектор розподілювального поїздопотуку;

$b$  – вектор розподілювальних перевезень.

$D$  – вектор обмежень пропускної спроможності ланок.

Витрати на одноколіїній ділянці з двохколіїними вставкам записувати-  
мемо у вигляді двох доданків

$$F(\Gamma_1, \Gamma_2) = F_1(\Gamma_1, \Gamma_2) + \Delta F_{\text{рух}}(N_{\text{ван}}) \rightarrow \min \quad (2.3)$$

де  $\Gamma_1, \Gamma_2$  – вантажопотік відповідно у прямому та зворотному напрямку;

$N_1, N_2$  – кількість вантажних поїздів кожного напрямку;

$N_{\text{ван}} = \max(N_1, N_2)$  – розміри руху поїздів по навантаженому напрямку.

Витрати  $F_1(\Gamma_1, \Gamma_2)$  представляються у вигляді:

$$F_1(\Gamma_1, \Gamma_2) = \sum_{i=1}^{i=7} C_i, \quad (2.4)$$

де  $C_1, C_2$  – витрати на механічну роботу по просуванню поїздопотуку в пря-  
мому і зворотному напрямках відповідно;

$C_3$  – витрати на механічну роботу по просуванню порожнього поїздопотуку;

$C_4$  – витрати, пропорційні часу перевезення;

$C_5$  – витрати, пропорційні довжині пробігу;

$C_6$  – витрати, пропорційні об'єму вантажу, що перевозиться;

$C_7$  – витрати, пов'язані з додатковим простоем поїздопотуку при зміні локомо-  
тивів і локомотивних бригад, пов'язаних з обертом чи переломах маси поїздів.

Складова  $\Delta F_{\text{рух}}(N_{\text{ван}})$  – це додаткові витрати, пов'язані з наданням “ві-  
кон” або простоями поїздів при неможливості організації безупинного схре-  
щення по одноколіїних ділянках з двохколіїними вставками. Цей доданок іс-  
тотно відрізняється від нуля і монотонно нелінійно зростає лише при розмірах  
руху, близьких до пропускної здатності ділянки.

$$F_1(\Gamma_1, \Gamma_2) = P_1 \cdot \Gamma_1 + P_2 \cdot \Gamma_2 + P_3^k \cdot \left| \frac{\Gamma_1}{\lambda_1} + \frac{\Gamma_2}{\lambda_2} \right| + P_4 \cdot \max\left(\frac{\Gamma_1}{\lambda_1}, \frac{\Gamma_2}{\lambda_2}\right), \quad (2.5)$$

де  $\frac{\Gamma_k}{\lambda_k} = N_k$  – кількість поїздів вантажного та зворотного напрямків;

$\lambda_k$  – коефіцієнт переходу від розміру вантажопотоку в тоннах до кількості по-  
їздів даного напрямку.



## 2.4 Характеристика залізничних напрямків з паралельними ходами

Рішення поставленої задачі - підвищення ефективності організації руху поїздів розглядається на залізничному напрямку Знам'янка – Одеса-Сортувальна з паралельними ходами, та має: основний хід – Знам'янка – Помічна – Колосівка – Одеса-Сортувальна та паралельний хід – Знам'янка – Помічна – Котовськ – Роздільна – Одеса-Сортувальна.

### 2.4.1 Характеристика залізничної інфраструктури основного напрямку

Загальна довжина основного залізничного напрямку Знам'янка – Помічна – Колосівка – Одеса-Сортувальна становить 385 км. Залізничні перевезення по дільницях Знам'янка – Помічна довжиною 136,1 км та Помічна – Колосівка довжиною 142,7 км здійснюються по двохколійних лініях з одноколійними ділянками, на дільниці Колосівка – Одеса-Сортувальна здійснюються по двоколійній лінії довжиною 106,2 км. Основні параметри залізничного напрямку наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Технічна характеристика основного напрямку Знам'янка – Помічна – Колосівка – Одеса-Сортувальна

№ п/п	Найменування показника	Ділянки					
		Знам'янка - Помічна		Помічна - Колосівка		Колосівка - Одеса	
		парний	непарний	парний	непарний	парний	непарний
1	Розрахунковий підйом	6,2	6,9	8,5	9,0	8,8	8,6
2	Серія локомотивів	ВЛ-80с трисекційний; ВЛ-80т/с трисекційний; 2ЕЛ5, 2ЕС5К					
3	Вагова норма - уніфікована - критична	2800 5000	4600 6000	2500 4800	4600 5000	2500 4800	4600 5000
4	Засоби зв'язку руху поїздів	Автоблокування					
5	Уніфікована довжина состава, вагонів	57	57	57	57	57	57
6	Уніфікована довжина состава підвищеної довжини, вагонів.	87	87	87	87	87	87
7	Уніфікована довжина приймально-відправних колій, м	850	850	850	850	850	850
8	Гарантійна дільниця обслуговування ваг.	Напрямок Знам'янка – Одеса між кінцевими станціями (409 км)					
9	Депо обслуговування	Знам'янка (136,1 км)		Помічна (142,7 км)		Помічна (106,2 км)	

На залізничній інфраструктурі напрямку Знам'янка – Помічна – Колосівка – Одеса сумісно виконується пасажирський та вантажний рух поїздів.

В період з 2000 по 2011 роки на ділянках основного напрямку залізничних перевезень було проведено дослідження розмірів руху пасажирських поїздів. Діаграму середньодобових розмірів руху пасажирських поїздів основного напрямку залізничних перевезень наведено на рисунку 2.1.

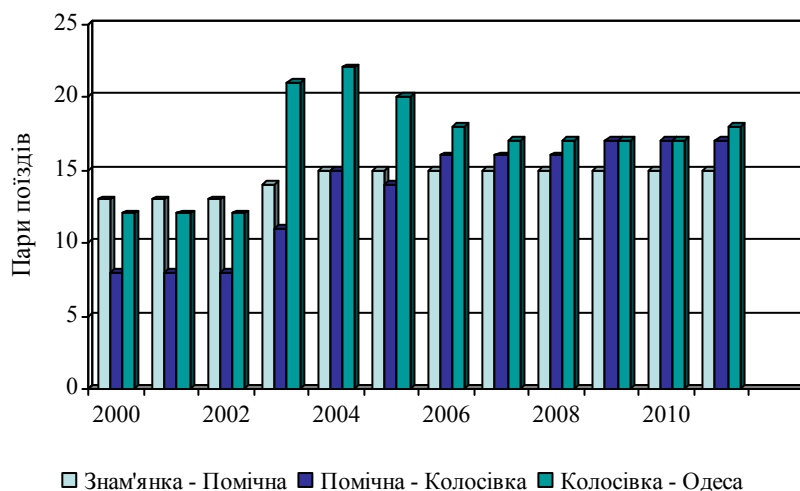


Рисунок 2.1 – Діаграма середньодобових розміри руху пасажирських поїздів на ділянках Знам'янка – Помічна, Помічна – Колосівка, Колосівка – Одеса

Аналізуючи динаміку зміни пасажирських поїздопотоків по основному напрямку залізничних перевезень необхідно зробити висновок про те, що з 2000 по 2011 рік суттєво не змінилась динаміка пасажирських перевезень: на дільниці Знам'янка - Помічна (збільшення на 2 пари до 2000-2002 року); суттєво збільшилась кількість пар пасажирських поїздів на дільниці Помічна - Колосівка (збільшення на 9 пар до 2000-2002 року); на дільниці Колосівка - Одеса (збільшення на 5 пар до 2000-2002 року).

У роботі проведено аналіз розмірів руху вантажних поїздів у парному та непарному напрямках по ділянках.

Діаграму середньодобових розмірів руху непарних вантажних поїздів наведено на рисунку 2.2.

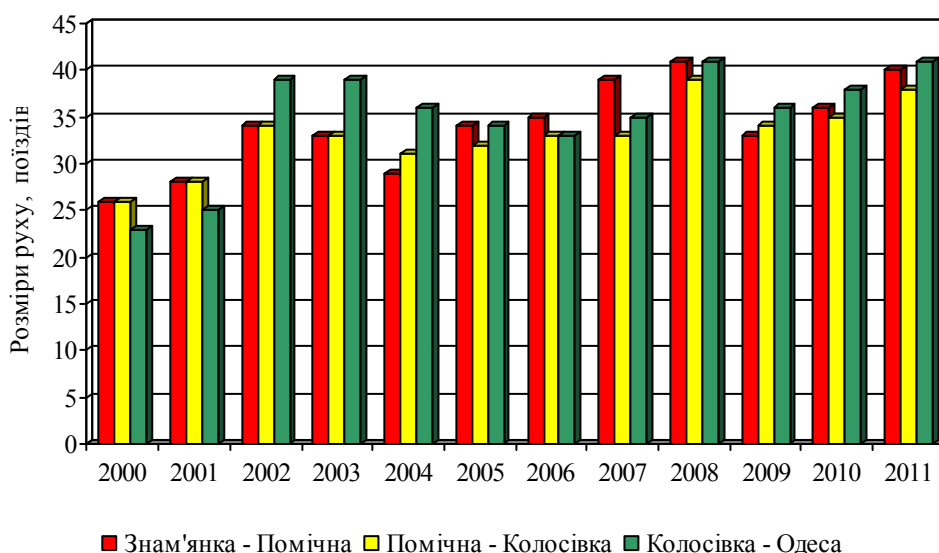


Рисунок 2.2 – Діаграма середньодобових розмірів руху непарних вантажних поїздів на ділянках: Знам'янка – Помічна, Помічна – Колосівка, Колосівка – Одеса

Аналізуючи динаміку зміни по ділянках непарних вантажних поїздопотоків на основному напрямку Знам'янка – Помічна – Колосівка – Одеса необхідно відзначити:

- збільшення кількості пар пропущених поїздів на добу на ділянці Знам'янка – Помічна: 41 пара в 2008 році проти 26 пари в 2000 році (збільшення на 15 пар на добу);

- збільшення кількості пар пропущених поїздів на добу на ділянці Помічна – Колосівка: 39 пар в 2008 році проти 23 пар в 2000 році (збільшення на 16 пар на добу);

- збільшення кількості пар пропущених поїздів на добу на ділянці Колосівка - Одеса: 41 пари в 2011 році проти 23 пар в 2000 році (збільшення на 18 пар на добу).

При становленні економіки України збільшуються обсяги виробництва товарів, які необхідно перевозити, у зв'язку з цим обсяги перевезень в непарному основному напрямку зросли в порівнянні з 2000 роком на 58 – 78 %.

Діаграму середньодобових розмірів руху парних вантажних поїздів напрямку наведено на рисунку 2.3.

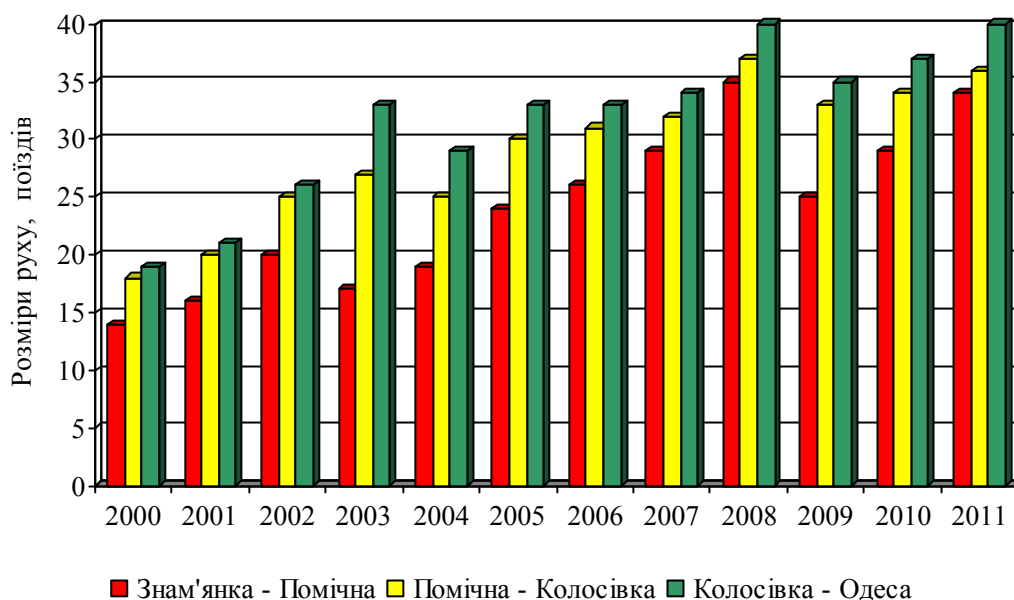


Рисунок 2.3 – Середньодобові розміри руху парних вантажних поїздів на ділянках: Знам'янка – Помічна, Помічна – Колосівка, - Колосівка - Одеса

Аналізуючи динаміку зміни по ділянках парних вантажних поїздопотоків на основному напрямку Знам'янка – Помічна – Колосівка - Одеса необхідно відзначити:

- збільшення кількості пар пропущених поїздів на добу на ділянці Знам'янка – Помічна: 35 пар в 2008 році проти 14 пар в 2000 році (збільшення на 21 пар на добу);

- збільшення кількості пар пропущених поїздів на добу на ділянці Помічна – Колосівка: 37 пар в 2008 році проти 18 пар в 2000 році (збільшення на 19 пар на добу);

- збільшення кількості пар пропущених поїздів на добу на ділянці Колосівка - Одеса: 40 пар в 2011 році проти 19 пар в 2000 році (збільшення на 21 пар на добу).

Обсяги перевезень в парному основному напрямку зросли в порівнянні з 2000 роком на 106 – 150 %.

Слід зазначити, що обсяги руху пасажирських поїздів на протязі останніх п'яти років на всіх ділянках напрямку залишаються незмінними. У вантажному русі обсяги перевезення за останні сім років по ділянках також залишаються без змін, за винятком періоду з 2008 по 2009 роки, під час якого була всесвітня економічна криза. Також необхідно відмітити, що на одноколійних ділянках з двоколійними вставками, розміри руху вантажних поїздів знаходяться в межах від 35 до 41 пар вантажних поїздів на добу.

#### 2.4.2 Характеристика залізничної інфраструктури паралельного напрямку

Загальна довжина паралельного залізничного напрямку Знам'янка – Помічна – Котовськ – Одеса-Застава 1 становить 524,3 км. Залізничні перевезення по дільницях Знам'янка – Помічна довжиною 136,1 км та Помічна – Котовськ довжиною 214,2 км здійснюються по одноколійних лініях з двоколійними вставками, по дільницях Котовськ – Роздільна довжиною 110,6 км та Роздільна – Одеса-Застава 1 довжиною 63,4 км по двоколійних лініях. Основні параметри паралельного залізничного напрямку наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Технічна характеристика паралельного напрямку Знам'янка – Помічна – Котовськ – Одеса-Застава 1

№ п/п	Найменування показника	Ділянки					
		Знам'янка - Помічна		Помічна - Котовськ		Котовськ – Одеса-Застава 1	
		парний	непарний	парний	непарний	парний	непарний
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Розрахунковий підйом	6,2	6,9	5,3	5,6	4,2	4,5
2	Серія локомотивів	ВЛ-80т трисекційний		ВЛ-80т трисекційний		ВЛ-80т трисекційний	
3	Вагова норма - уніфікована - критична	2800 5000	4600 6000	3200 5500	4600 6000	3500 5500	4600 6000
4	Засоби зв'язку руху поїздів	автоблокування					
5	Уніфікована довжина состава, вагонів	57	57	57	57	57	57
6	Уніфікована довжина состава підвищеної довжини, ваг.	87	87	87	87	87	87

Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8
7	Уніфікована довжина приймально-відправних колій, м	850	850	1050	1050	850	850
8	Гарантійна ділянка обслуговування вагонів	Напрямок Знам'янка – Котовськ (339 км) Котовськ – Одеса-Застава 1 (185 км)					
9	Депо обслуговування	Знам'янка (136,1 км)	Помічна (214,2 км)		Помічна (174,0 км)		

На залізничній інфраструктурі паралельного напрямку Знам'янка – Помічна – Котовськ - Роздільна – Одеса також сумісно виконується пасажирський та вантажний рух.

В період з 2000 по 2011 роки на ділянках паралельного напрямку залізничних перевезень було проведено дослідження розмірів руху пасажирських поїздів.

Діаграму середньодобових розмірів руху пасажирських поїздів напрямку наведено на рисунку 2.4.

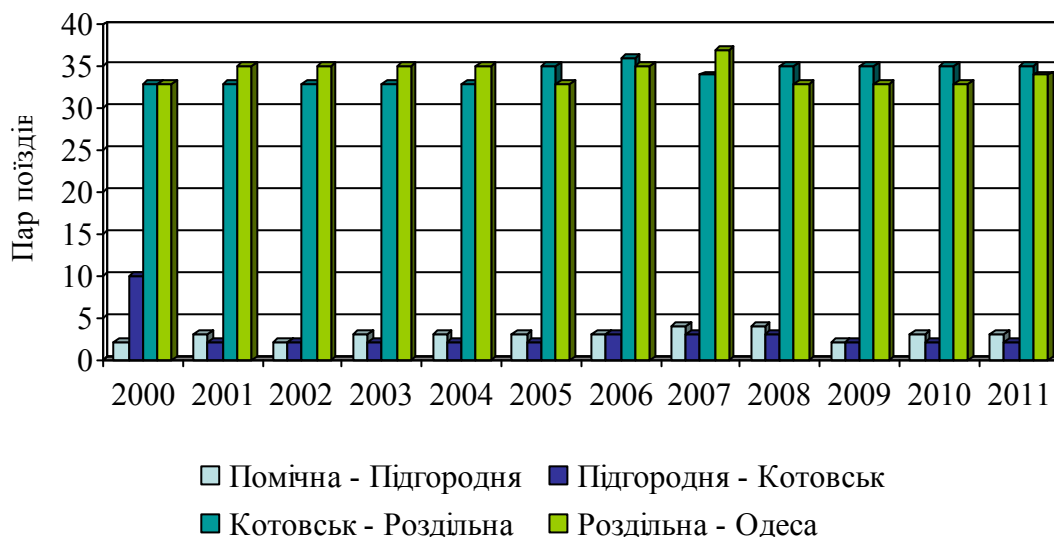


Рисунок 2.4 – Середньодобові розміри руху пасажирських поїздів по паралельному напрямку Помічна – Підгородня - Котовськ – Роздільна – Одеса

Аналізуючи динаміку зміни пасажирських поїздопотоків можна зробити висновок про те, що з 2000 по 2011 рік суттєво не змінилась динаміка пасажирських перевезень на ділянці Помічна – Підгородня та Підгородня – Котовськ - 2 пари, кількість пар пасажирських поїздів на ділянці Котовськ – Роздільна та Роздільна - Одеса 33 пари пасажирських поїздів на добу. Ділянки Помічна – Підгородня та Підгородня – Котовськ паралельного залізничного напрямку мають відповідно 3 та 2 пари пасажирських поїздів на добу, таким чином можливо зробити висновок про те, що ці ділянки умовно можливо розглядати як вантажні з паралельним графіком руху поїздів.

Діаграму середньодобових розмірів руху вантажних поїздів непарного напрямку наведено на рисунку 2.5.

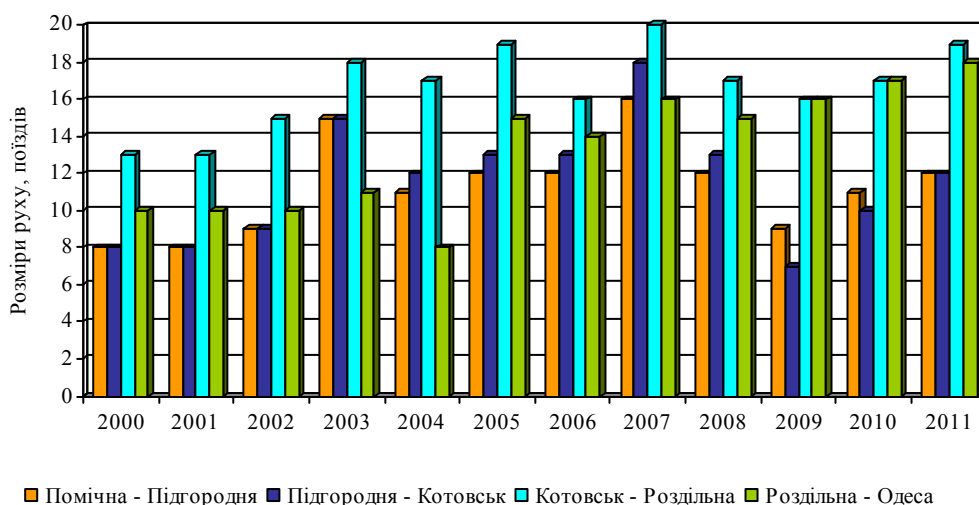


Рисунок 2.5 – Середньодобові розміри руху непарних вантажних поїздів по паралельному напрямку: Помічна – Підгородня – Котовськ – Роздільна, Роздільна – Одеса

Аналізуючи динаміку зміни розмірів руху по ділянках непарних вантажних поїздопотоків паралельного напрямку необхідно відзначити:

- збільшення кількості пар пропущених поїздів на добу на ділянці Помічна – Підгородня: 16 пар в 2007 році проти 8 пар в 2000 році (збільшення на 8 пар на добу);

- збільшення кількості пар пропущених поїздів на добу на ділянці Підгородня – Котовськ: 18 пар в 2007 році проти 8 пар в 2000 році (збільшення на 10 пар на добу);

- збільшення кількості пар пропущених поїздів на добу на ділянці Котовськ - Роздільна: 20 пар в 2007 році проти 13 пар в 2000 році (збільшення на 7 пар на добу);

- збільшення кількості пар пропущених поїздів на добу на ділянці Роздільна – Одеса-Застава: 18 пар в 2011 році проти 8 пар в 2004 році (збільшення на 10 пар на добу).

Одноколіїні ділянки з двохколійними вставками Помічна – Підгородня та Підгородня – Котовськ паралельного залізничного напрямку в непарному напрямку мають в останні п'ять років збільшення з 8 до 18 пари вантажних поїздів на добу, таким чином можливо зробити висновок про те, що ці ділянки використовують свою пропускну спроможність не в повному обсязі.

Діаграму середньодобових розмірів руху вантажних поїздів парного напрямку наведено на рисунку 2.6.

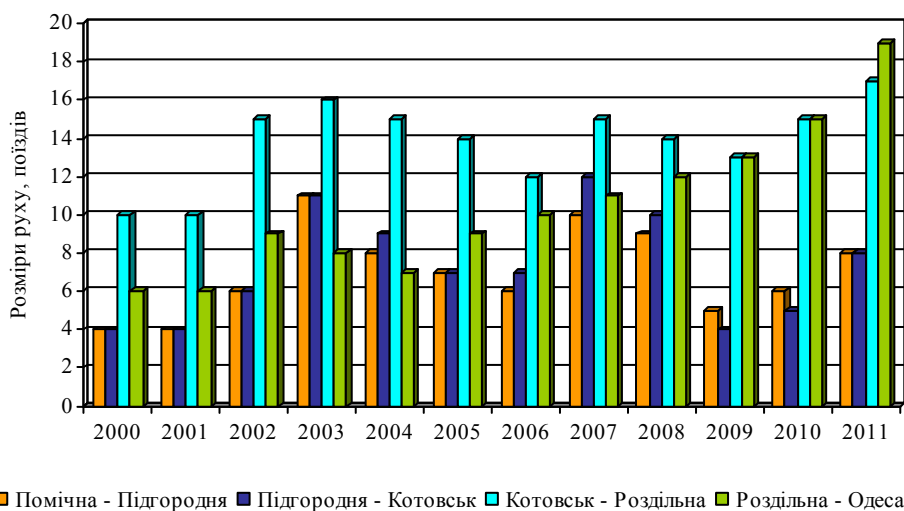


Рисунок 2.6 – Середньодобові розміри руху парних вантажних поїздів на паралельному напрямку: Помічна – Підгородня – Котовськ – Роздільна – Одеса

Аналізуючи динаміку зміни по ділянках непарних вантажних поїздопотоків по паралельному напрямку необхідно відзначити:

- збільшення кількості пар пропущених поїздів на добу на ділянці Помічна – Підгородня: 11 пар в 2003 році проти 4 пар в 2000 році (збільшення на 7 пар на добу);

- збільшення кількості пар пропущених поїздів на добу на ділянці Підгородня – Котовськ: 12 пар в 2007 році проти 4 пар в 2000 році (збільшення на 8 пар на добу);

- збільшення кількості пар пропущених поїздів на добу на ділянці Котовськ - Роздільна: 17 пар в 2011 році проти 10 пар в 2000 році (збільшення на 7 пар на добу);

- збільшення кількості пар пропущених поїздів на добу на ділянці Роздільна – Одеса-Застава: 19 пар в 2011 році проти 6 пар в 2000 році (збільшення на 13 пар на добу).

Одноколіїні ділянки з двохколійними вставками Помічна – Підгородня та Підгородня – Котовськ залізничного паралельного напрямку в парному напрямку мають в останні п'ять років збільшення від 4 до 12 пар вантажних поїздів на добу, таким чином можливо зробити висновок про те, що ці ділянки використовують свою пропускну спроможність не в повному обсязі.

## 2.5 Аналіз системи пропуску поїздопотоків по залізничному напрямку з паралельними ходами Знам'янка – Одеса

Залізничні перевезення по напрямку Знам'янка – Одеса характеризуються експортним направленням вантажів з підприємств східної України, Росії та Республіки Білорусь в порти Одеського регіону.

Дослідження виконується для аналізу роботи транспортної системи по пропуску вантажо- та поїздопотоків по напрямку Знам'янка – Одеса та виявленню її статистичних характеристик.

Дуже важливо визначити густоту вантажопотоків, необхідних для оцінки потужностей вагонопотоків, їх розподілення за напрямками слідування, а також визначення заходів щодо задоволення попиту в перевезенні вантажів. Густина вантажопотоків дозволяє визначити якість використання рухомого складу залізниці по статичному та динамічному навантаженню.

Співвідношення густоти вантажопотоку по ділянкам основного напрямку Знам'янка – Одеса у парному напрямку наведено на рисунку 2.7, а непарному - на рисунку 2.8.

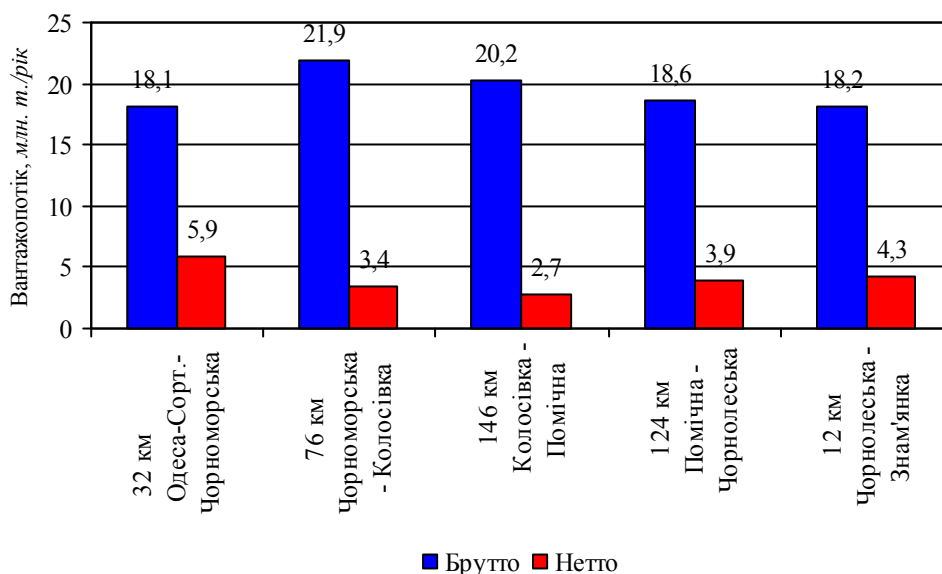


Рисунок 2.7 – Густина руху вантажопотоку на 1 км/млн. тонн, що слідують на адресу морських портів Одеського регіону для парного напрямку

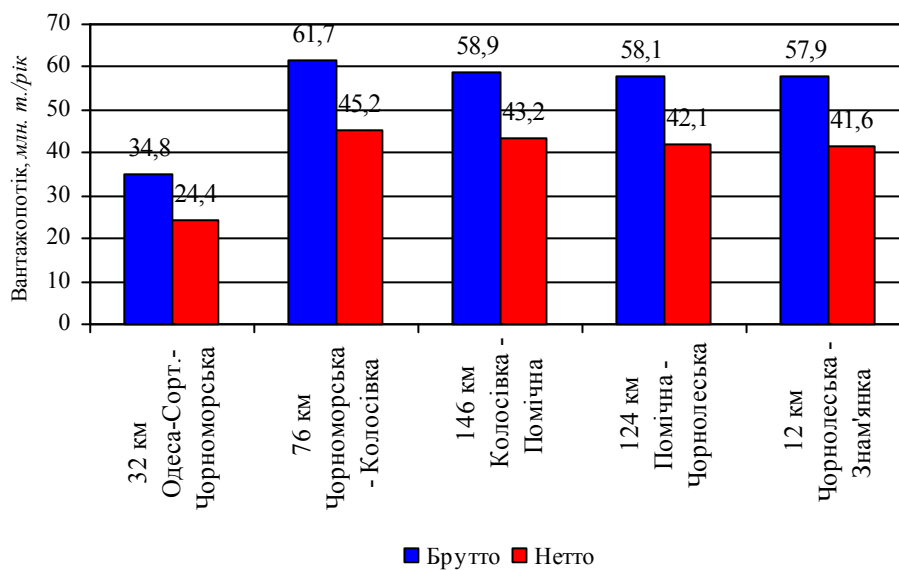


Рисунок 2.8 – Густина руху вантажопотоку на 1 км/млн. тонн, що слідують на адресу морських портів Одеського регіону для непарного напрямку



Густота вантажопотоків характеризує використання рухомого складу залізниці. Як видно з наведених на рис. 2.7 та 2.8 діаграм, найбільш відрізняється співвідношення пропущеного вантажу в парному-непарному напрямках на ділянці Помічна – Чорнолеська в 3,12 рази, Колосівка – Помічна в 2,91 рази, Чорноморська – Колосівка в 2,81 рази, що характеризує незначні обсяги перевезень імпорتنих вантажів з портів Одеського регіону у зворотному напрямку.

Діаграма відсотку пробігу порожніх вагонів по ділянкам у співвідношенні до загального у вантажному русі в парному та непарному напрямку Знам'янка – Одеса наведено на рисунку 2.9.



Рисунок 2.9 – Відсоток пробігу порожніх вагонів у співвідношенні до загального у вантажному русі для парного та непарного напрямків

Аналізуючи данні рис. 2.9, необхідно зробити висновок про те, що організація пропуску вагонопотоків на напрямку Знам'янка – Одеса характеризується нерівномірним співвідношенням пробігу порожніх вагонів до загального вантажного руху. В непарному напрямку залізничних перевезення завантажених вагонів складають 95 % проти 5 % порожніх, в парному напрямку перевезення порожніх вагонів складає – 92 % проти 8 % завантажених вагонів.

По залізничному напрямку Знам'янка – Одеса слідує в непарному напрямку: 92 % транзитних поїздів та 8 % місцевих, в парному напрямку: 74 % маршрутних порожніх транзитних поїздів по регульовальному завданню, 14 % вантажних транзитних поїздів та 12 % місцевих.

Параметри поїздів як одиниць потоку транспортної системи суттєво відрізняються в залежності від напрямку руху, завдяки чому необхідно розділити напрямки перевезень: вантажний – Знам'янка–Одеса; порожній – Одеса – Знам'янка.

Це пояснюється структурою вантажопотоку і породжує окрему категорію порожніх поїздів в потоці.

В вантажному напрямку маса поїздів залежить від повздовжнього профілю колії, типу та кількості локомотивів, обмеженням руху по інженерним спо-

рудам і є випадковою величиною. В порожньому напрямку маса поїзда залежить від довжини станційних колій в парках станції.

Дослідженнями встановлено, що маса поїздів є випадковою величиною із нормальним законом розподілення. Кількість вагонів у складі поїздів має зміщений закон Ерланга і тісно пов'язана із масою поїздів. Функціональний зв'язок між масою та довжиною поїздів встановлено методом мінімальних квадратів [95]. Коефіцієнт кореляції між масою та довжиною поїздів на різних ділянках напрямків коливається від 0,64 до 0,81 для переважно навантаженого потоку.

В результаті аналізу структури поїздопотоків вантажних поїздів було визначено, що 95 % усіх составів складається із завантаженого вагонопотоку і 5 % порожнього вагонопотоку для переважно вантажного напрямку. В оберненому напрямку переважає вже порожній вагонопотік (близько 74 %), завантажені вагони (14 %) та на місцеві завантажені вагони.

У непарному напрямку залізничних перевезень найбільше математичне очікування маси поїзда складає 4814 т на дільниці Знамянка - Помічна, найменша Одеса-Сортувальна - Чорноморська - 4203 т, при складі поїздів – від 53 до 56 вагонів. У парному напрямку залізничних перевезень найбільше математичне очікування маси поїзда складає 2176 т на дільниці Одеса-Сортувальна - Чорноморська, найменша Знамянка - Помічна - 1732 т, при складі поїздів – 60 вагонів. Проведене дослідження підтверджує експортний характер вантажопотоків на адресу портів Одеського регіону.

## 2.6 Аналіз динаміки змін вантажопотоків та поїздопотоків на адресу портів Одеського регіону

Об'єми і характеристика перевезень на адресу морських портів Одеського регіону з прогнозом до 2015 року необхідні для визначення розмірів руху по напрямку Знамянка - Одеса.

Україна є державою, яка експортує свою продукцію через морські торговельні порти. На експорт з портів Одеського регіону відвантажуються наступні генеральні вантажі: метал, зерно, вугілля, мінеральні та хімічні добрива, залізна руда та концентрат. Діаграма основних номенклатурних вантажів, які слідують у порти Одеського регіону, наведено на рисунку 2.10.

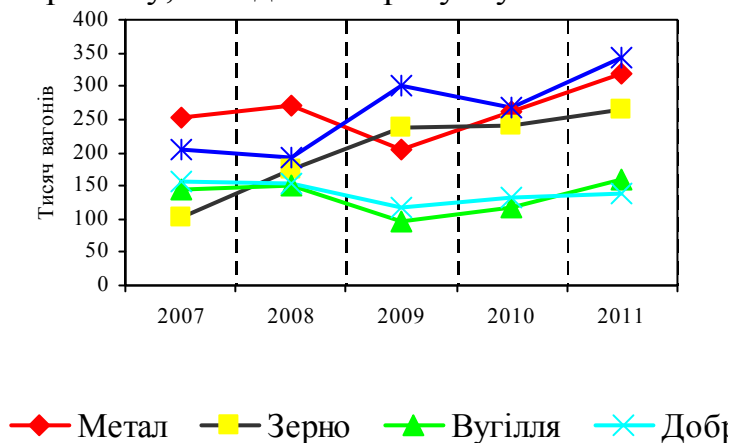


Рисунок 2.10 - Діаграма експорту вантажів на адресу портів Одеського регіону за 2007-2011 років

Об'єми і структура перевезень з прогнозом до 2015 р. визначені, виходячи із планів розвитку портів, а також запланованого будівництва нових перевантажувальних комплексів. Дані по обсягам перевезень наведені в таблиці 2.3 [115].

Таблиця 2.3 - Зведена таблиця фактичного та прогнозованого обсягу перевезень вантажів морськими торговельними портами у 2009-2015 роках

№ п/п	Найменування порту	Перспективні обсяги перевезень, тис. тонн						
		2009 факт	2010 факт	2011 факт	2012	2013	2014	2015
1	Одеський морський торговельний порт	9400	9700	9800	10100	10300	10600	10900
2	Миколаївський морський торговельний порт	5500	7300	9500	12000	13000	14000	15000
3	Морський торговельний порт «Південний»	10000	12005	12030	12050	12080	12105	12130
4	Херсонський морський торговельний порт	1200	1240	1220	1230	1250	1270	1280
5	Ренійський морський торговельний порт	1000	2260	2370	2480	2515	2605	2695
6	Ілчівський морський торговельний порт	9000	9030	9220	9240	9280	9310	9320
7	Ізмаїльський морський торговельний порт	4330	4480	4510	4580	4640	4680	4710

Динаміку роботи портів Одеського регіону за період 2007 - 2011 роки наведено на рисунку 2.11.

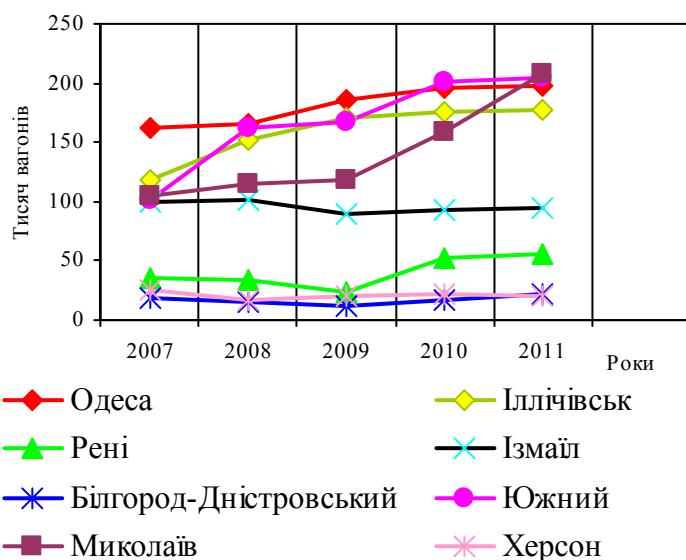


Рисунок 2.11 - Діаграма роботи припортових станцій Одеської залізниці за 2007-2011 р.

Порти Одеського регіону спеціалізуються на переробці основних генеральних вантажів: металу, вугілля, руди, зерна та хімічних добрив, однак в ринкових умовах промислові підприємства для експорту вантажів використовую-

ються порти з глибиною біля причалів від 8 до 12 м, що дозволяє завантажувати судна водотоннажністю від 60 до 100 тис. тонн, що мають нижчу вартість фрахту перевезення продукції до покупців, які переважно розташовані у Китаї та східній Азії.

## **2.7 Моделювання руху поїздів по напрямку залізничних перевезень з паралельними ходами Знам'янка - Одеса**

### **2.7.1 Моделювання руху поїздів по основному напрямку залізничних перевезень Знам'янка – Одеса**

Кількість можливих варіантів норм маси і тягового забезпечення поїзної роботи на напрямку Знам'янка - Одеса визначаємо за умови наявності трьох ділянок з різними профільними умовами та корисної довжини станційних приймально-відправних колій, відсотка неоднорідності структури поїздопотоків по ділянках, типів локомотивів і можливих їх комбінацій в повній або частковій подвійній та потрійній тязі, умов виділення в окремі поїзда порожніх вагонопотоків.

Уніфікована норма маси поїздів по основному напрямку залізничних перевезень встановлено [116] в непарному напрямку – 4600 т, в парному напрямку – 2500 т на ділянці Одеса-Сортувальна – Помічна, та 2800 т на ділянці Помічна - Знам'янка. Уніфікована довжина состава по основному напрямку Знам'янка - Одеса 57 вагонів. Критична вагова норма на напрямку Знам'янка - Одеса для трисекційного локомотива ВЛ-80с в непарному напрямку прийнята 7000 т при уніфікованій довжині состава до 87 вагонів.

Для встановлення максимальної маси вантажних поїздів, виходячи з розрахунку фактичного технічного стану тягового рухомого складу, поряд з аналізом експериментальних поїздок по основному напрямку проаналізовано діючу інструкцію з організації руху вантажних поїздів підвищеної маси та довжини при електровозах ВЛ80с.

По основному напрямку залізничних перевезень були проведені тягово-енергетичні розрахунки за програмою «ГАС Railway» [82].

Графік залежності витрат електроенергії на перевезення 1 тони маси поїзда по основному напрямку залізничних перевезень наведено на рисунку 2.12.

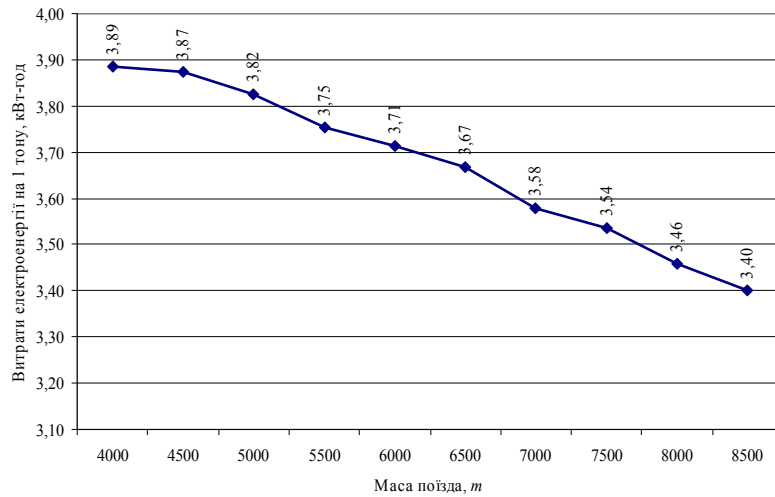


Рисунок 2.12 - Графік залежності витрат електроенергії на 1 тону маси поїзда по основному напрямку залізничних перевезень

Проведеними дослідженнями витрат електроенергії встановлено, що витрати електроенергії на тягу поїздів залежить від характеристики повздовжнього профілю колії та кількості локомотивів. При критичній масі поїзда для одного локомотива різко збільшуються витрати електроенергії (4500 т., 6500 т.) та необхідний перехід на збільшення одиниць тягового рухомого складу.

### 2.7.2 Моделювання руху поїздів по паралельному напрямку залізничних перевезень Знам'янка –Одеса

Напрямок залізничних перевезень: Знам'янка – Помічна – Котовськ – Роздільна - Одеса є паралельним до основного напрямку: Знам'янка – Помічна – Колосівка – Одеса та має сприятливий повздовжній профіль в порівнянні з основним напрямком.

Практична відсутність на паралельному напрямку пасажирських перевезень та наявності одноколійної ділянки з двохколійними вставками Помічна – Котовськ дозволяє розглядати графік руху вантажних поїздів по ньому як паралельний з відсутністю обгонів. Такий напрямок може забезпечувати найбільшу пропускну здатність за рахунок відсутності знімання вантажних поїздів пасажирськими.

Кількість можливих варіантів норм маси і тягового забезпечення поїзної роботи по паралельному напрямку визначається за умови наявності чотирьох ділянок з різними профільними умовами, а також з врахуванням корисної довжини станційних приймально-відправних колій, відсотка неоднорідності структури поїздопотоків по ділянцям, типів локомотивів і можливих їх комбінацій в повній або частковій двійній та трійній тязі, умов виділення в окремі поїзди порожніх вагонопотоків.

Для встановлення максимальної маси вантажних поїздів, виходячи з розрахунку фактичного технічного стану тягового рухомого складу, поряд з аналізом експериментальних поїздок на паралельному напрямку проаналізовано діючу інструкцію з організації руху вантажних поїздів підвищеної ваги й довжини при електровозах ВЛ80с.

По паралельному напрямку залізничних перевезень були проведені тягово-енергетичні розрахунки за програмою «ГАС Railway» [82].

Графік залежності витрат електроенергії на перевезення 1 тони маси поїзда по паралельному напрямку залізничних перевезень наведено на рисунку 2.13.

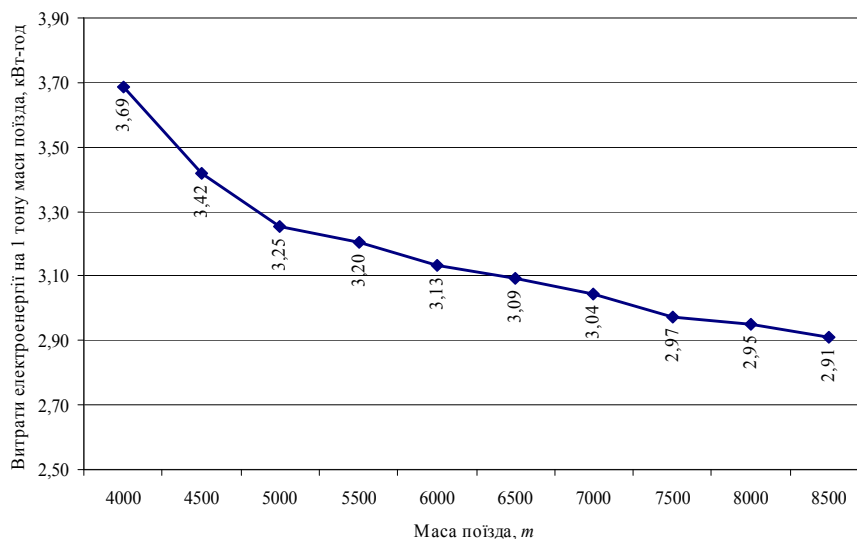


Рисунок 2.13 – Графік залежності витрат електроенергії на 1 тону маси поїзда по паралельному напрямку залізничних перевезень

Графік залежності витрат електроенергії на 1 тону маси поїзда по паралельному напрямку залізничних перевезень наведено на рисунку 2.13.

Проведеними дослідженнями витрат електроенергії встановлено, що витрати електроенергії на тягу поїздів залежить від характеристики повздожнього профілю колії та кількості локомотивів. При критичній масі поїзда для одного локомотива різко збільшуються витрати електроенергії (5000 т., 7000 т.) та необхідний перехід на збільшення одиниць тягового рухомого складу.

### 2.7.3 Порівняльний аналіз витрат електроенергії по паралельним ходам залізничному напрямку Знам'янка – Одеса

Аналіз витрат електроенергії на перевезення 1 тони вантажу по основному та паралельному напрямкам залізничних перевезень необхідний для визначення витрат залізниці на перевезення, що є актуальним за умови постійного зростання вартості електроенергії, яка використовується на тягу поїздів.

Динаміка зростання тарифів на електроенергію в період з 2004 по 2012 рік наведено в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Аналіз тарифів електроенергії на тягу поїздів (коп. за 1 кВт·год)

Рік	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Вартість	24,97	27,22	30,46	34,01	46,26	56,18	65,72	75,73	85,99

Діаграму витрат по перевезенню 1 тонни маси поїздів по основному та паралельному напрямкам залізничних перевезень наведено на рисунку 2.14.

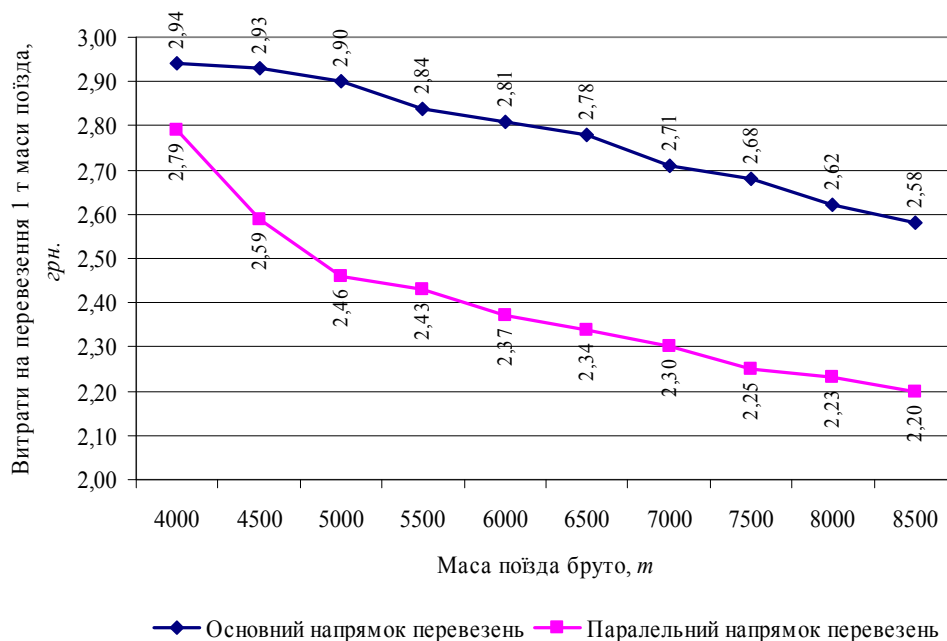


Рисунок 2.14 – Порівняльна діаграма витрат по перевезенню 1 тонни маси поїзда по основному та паралельному напрямках залізничних перевезень

Згідно з результатами дослідних поїздок тягово-енергетичної лабораторії Одеської залізниці, теоретичних розрахунків і технічного стану локомотивів, норму маси для вантажних поїздів три секційними електровозами ВЛ80с рекомендується встановити 6900 *t*, чотирьох секційним електровозом – 9200 *t*.

Відповідно [117], ведення поїздів масою більше 6000 *t* здійснюється з розміщенням електровозів ВЛ80 (дві секції) в голові і хвості состава з об'єднанням гальмівної магістралі. Для попередження розриву поїздів найбільша сумарна сила тяги локомотивів, які знаходяться в голові поїзда, при русанні поїзда з місця визначається, виходячи із максимально допустимого поздовжнього зусилля на автосцепці при русанні, рівного 95 *тс*.

Висновки тягово-енергетичної лабораторії Одеської залізниці свідчать, що по основному напрямку перевезень є можливість ведення поїздів масою до 9000 *t*. Це можливо при виконанні вище перерахованих заходів щодо режиму ведення поїзда, здійснення експлуатаційних заходів щодо пропуску поїздів по дільниці та встановлення відповідного контролю зі сторони служби колії за станом колій.

Розрахункова маса поїзда по паралельному напрямку перевезень складає для двохсекційного електровоза ВЛ80с – 4600 *t*, трьохсекційного електровоза ВЛ80с – 6900 *t*.

Висновки тягово-енергетичної лабораторії Одеської залізниці свідчать про те, що по паралельному напрямку перевезень є можливість ведення поїздів масою до 6000 *t*. Це можливо при виконанні вище перерахованих заходів щодо режиму ведення поїзда, здійснення експлуатаційних заходів щодо пропуску поїздів по дільниці та встановлення відповідного контролю зі сторони служби колії за станом колій.

Одним із головних напрямків вдосконалення перевізного процесу є поетапна комплексна реконструкція станційних колій для можливості беззупинкового пропуску та схрещення поїздів підвищеної довжини парного та непарного напрямку. Зважаючи на те, що Одеська залізниця провела в 2009 році реконструкцію по подовженню колій на станції Олександрівка до 1250 м, доцільним є збільшення корисної довжини приймально-відправних колій даної станції в непарному напрямку до 1600 - 1700 м.

Проаналізувавши відомість приймально-відправних колій по основному напрямку перевезень приходимо до висновку, що на станціях даного напрямку в наявності всього 7 колій, які мають корисну довжину 75 умовних одиниць і більше.

Як наслідок, існуючі дільничні та сортувальні станції, які формують поїзда підвищеної довжини, не відповідають сучасним вимогам та потребують реконструкції.

У 2010 році за розпорядженням начальника Одеської залізниці були проведені експериментальні поїздки щодо обкатки локомотивних бригад ТЧ-7 (депо Знам'янка). Експериментальними поїздками по основному напрямку залізничних перевезень тягово-енергетичною лабораторією залізниці встановлено критичну масу вантажного поїзда 7000 т, ведення якого здійснювалося трисекційним електровози серії ВЛ 80с (існуюча критична маса для двухсекційного локомотива 5000 т).

Для ведення поїздів по паралельному напрямку залізничних перевезень електровозами серії ВЛ-80т критичну масу поїзда можливо встановити до 6000 т.

Ведення великовагових і довгосоставних поїздів по дільниці приводить до зменшення експлуатаційних витрат залізниці на перевезення, при цьому збільшується маса поїзда, продуктивність локомотива.

Для зниження експлуатаційних витрат залізниці існує можливість збільшення плеча обслуговування паралельного напрямку довжиною 410 км локомотивними бригадами депо Помічна без зміни локомотивів і локомотивних бригад по станції Котовськ, з наступним відпочи по станції Одеса - Сортувальна. Збільшення плеча дозволить зменшити простій транзитних вагонів без переробки по станції Котовськ, знизити витрати електричної енергії в гарячому простой локомотивів по станції Котовськ під час зміни локомотивів і локомотивних бригад, прискорити оборот вагонів та зменшити кількість виконаних ТО-2 для електровозів.

## **2.8 Висновки**

На основі системного аналізу були сформульовані мета та задачі дослідження і обрано методи їх вирішення за рахунок мінімізації цільової функції експлуатаційних витрат на перевезення. Залізничний напрямок з паралельними ходами представлений у вигляді графу і складається з вузлів і орієнтованих дуг, по яких виконуються перевезення.

Дослідження мережі УЗ показали, що залізничні напрямки з паралельними ходами можуть суттєво відрізнятися характером поїздопотоків. Тому в ро-



боті більш детально розглянуто залізничний напрямок Знам'янка - Одеса. Обсяги вантажних поїздопотоків на протязі року мають періодичний характер із виглядом синусоїдальної функції і коливаються в межах 10 – 20 % від свого математичного очікування 36 пар поїздів в обох напрямках на добу. Визначено взаємозв'язок по кінцевим станціям напрямку з оборотними локомотивним депо між парними та непарними поїздопотокими, що пояснюється підв'язкою поїзних локомотивів.

За останні десять років зросли розміри руху непарних вантажних поїздопотоків на напрямку Знам'янка – Одеса на 176 % в порівнянні з минулим періодом.

Визначено, що випадкова величина маси вантажних поїздів має нормальний закон розподілення, а кількість вагонів у складі поїздів має зміщений закон Ерланга і тісно пов'язана із масою поїздів. Коефіцієнт кореляції між масою та довжиною поїздів на різних напрямках коливається від 0,64 до 0,81 для переважно навантаженого потоку.

Наведено аналіз системи пропуску поїздопотоків на залізничному напрямку з паралельними ходами, виявлений вантажний та порожній напрямок перевезень.

Проведені тягові розрахунки пропуску поїздів по паралельних напрямках та розраховані залежності витрат електроенергії по пропуску поїздів в залежності від маси та надані рекомендації по збільшенню маси поїздів до критичної по основному напрямку – 9000 *t*, паралельному – 6900 *t*.

Вартість перевезення 1 тони вантажного поїзда брутто по основному напрямку перевезень на 5 – 17 % дорожче, ніж по паралельному напрямку у зв'язку з різницею енергетичних висот повздовжнього профілю колії.

## РОЗДІЛ 3

### ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЗАЛІЗНИЧНОГО НАПРЯМКУ З ПАРАЛЕЛЬНИМИ ХОДАМИ

#### 3.1 Побудова економіко-математичної моделі залізничного напрямку

##### 3.1.1 Постановка задачі

Поставленою в роботі задачею є такий розподіл поїздопотоків по ланках мережі з паралельними ходами, на якій всі поїздопотоки станцій відправлення і станцій призначення прикріплені між собою, аби перевезення були здійснені з мінімальними для залізниці витратами.

У постановці задачі передбачається, що всі вихідні дані про перевезення на залізничному напрямку з паралельними ходами: Знам'янка – Помічна – Колосівка – Одеса-Сортувальна та Знам'янка – Колосівка – Котовськ – Роздільна – Одеса-Сортувальна і техніко-економічні характеристики їх елементів повністю відомі, причому є незмінними в часі. Задача відшукування найвигідніших схем напрямку поїздопотоків по паралельних ходах при незмінній їх інфраструктурі розглядається в статичній постановці.

Приймаються безпосередньо заданими:

- початкові і кінцеві станції відправлення поїздопотоків даного полігону (Знам'янка, Одеса);
- об'єми поїздопотоків при відправленні з початкових станцій і прибуття на кінцеві станції даного полігону (Знам'янка, Одеса);
- існуюча транспортна інфраструктура даного залізничного напрямку з паралельними ходами;
- техніко-економічні характеристики напрямку даної інфраструктури, що становлять вузли (Знам'янка, Помічна, Колосівка, Одеса-Застава 2, Котовськ, Роздільна, Одеса-Застава 1) і ланки мережі (перегони напрямку), які включають технічне оснащення і параметри, залежності витрат на перевезення і переробку поїздопотоків від їх об'єму і структури;
- інтенсивність завантаження елементів мережі нерозподільними поїздопотоком, який не можна передавати між паралельними ходами.

Для вирішення поставленої задачі широко використовуються лінійні моделі і методи лінійного програмування. Використання цих методів як обов'язкову передумову вимагає, щоб питома вартість перевезень на ланці мережі була постійною і не залежала від розмірів вагонопотоків і поїздопотоків. Аналіз вартості перевезення по паралельних ходах, проведений в розділі 2, показав, що ряду елементів транспортної інфраструктури мережі властиві природні нелінійності: одноколійні залізничні перегони напрямків мають зупинки поїздів при схрещеннях, кількість яких непропорційно поїздопотоків; викликають нелінійність функцій витрат і обгони вантажних поїздів пасажирськими (прискореними і швидкісними). Нелінійний характер функцій витрат пов'язаний і з істотною нерівнозначністю вартості перевезень в навантаженому і порожньому напрямках.

При використанні лінійних методів погрішність від ігнорування нелінійностей частково зменшується при введенні обмежень пропускної спроможності ланок мережі, тим самим не допускається таке їх завантаження, питома вартість перевезення при якій істотно відрізняється від набутих апріорі значень. Однак, при цьому залишаються все ж значні відхилення, особливо, пов'язані з помилками у встановленні порожніх напрямків і чисельних значень величин обмежень пропускної спроможності.

Проаналізовані існуючі нелінійні методи рішення не вимагають обов'язкового введення штучних обмежень і допускають включення в розрахунок функцій витрат на перевезення в тому вигляді, який передбачається найбільш реальним економічним процесам. При цьому пропускну спроможність елементів транспортної системи можна рахувати необмеженою, тому що, в монотонний характер зростання нелінійних функцій витрат по перевезенню неважко фактично ввести ці обмеження, тобто зробити неможливим завантаження елемента вище заданого рівня.

При незмінному технічному стані елементів мережі додаткові витрати на перевезення кожного подальшого поїзда зазвичай зростають. Тому з достатньою точністю, витрати по перевезенню на напрямку з паралельними ходами, що мають одноколіїні перегони з двоколіїйними вставками можуть бути представлені у вигляді опуклої і не убутної функції, залежної від потужності вантажних і пасажирських поїздопотоків.

У якості розрахункової схеми приймаю мережу, що складається з транспортних ланок, на яких сконцентровані всі витрати по перевезеннях, і абстрактних точкових вузлів, що розділяють ці ланки. Така схема при відповідному методі її побудови [118] в достатній мірі адекватна залізничному напрямку з паралельними ходами Знам'янка – Одеса.

Таким чином, сформована розширена мережа, яка включає як дійсні ланки, по яких безпосередньо здійснюються перевезення, так і додаткові ланки - функції витрат на перевезення, які представляють собою відповідні залежності витрат на переробку поїздопотоків у вузлах. Врахувати цю специфіку можливо двояко: або скласти функції витрат так, щоб зробити надмірно великою вартість перевезення нерозподілювальних поїздопотоків, або вказати в самій схемі транспортної інфраструктури, по яких ланках не допускається перевезення таких поїздопотоків. В економіко-математичній моделі роботи залізничного напрямку з паралельними ходами в схемі транспортної інфраструктури у вигляді обмежень вказано, по яких ланках мережі не допускається перевезення розподілювального поїздопотоків.

У якості нерозподілювальних поїздопотоків на даній інфраструктурі приймаємо: Знам'янка – Берегова через Котовськ, Знам'янка - Одеса-Сортувальна через Котовськ - у вантажному русі, Знам'янка – Одеса через Котовськ - в пасажирському русі, тому що ці перевезення мають значну кружність.

### 3.1.2 Математичне формулювання задачі

На полігоні напряму з паралельними ходами Знам'янка – Одеса задається граф, що складається з  $R$  вузлів і  $N$  орієнтованих дуг, по яких виконуються перевезення  $P$  видів невзаємозамінних поїздопотоків. Визначений граф наведений на рисунку 3.1.

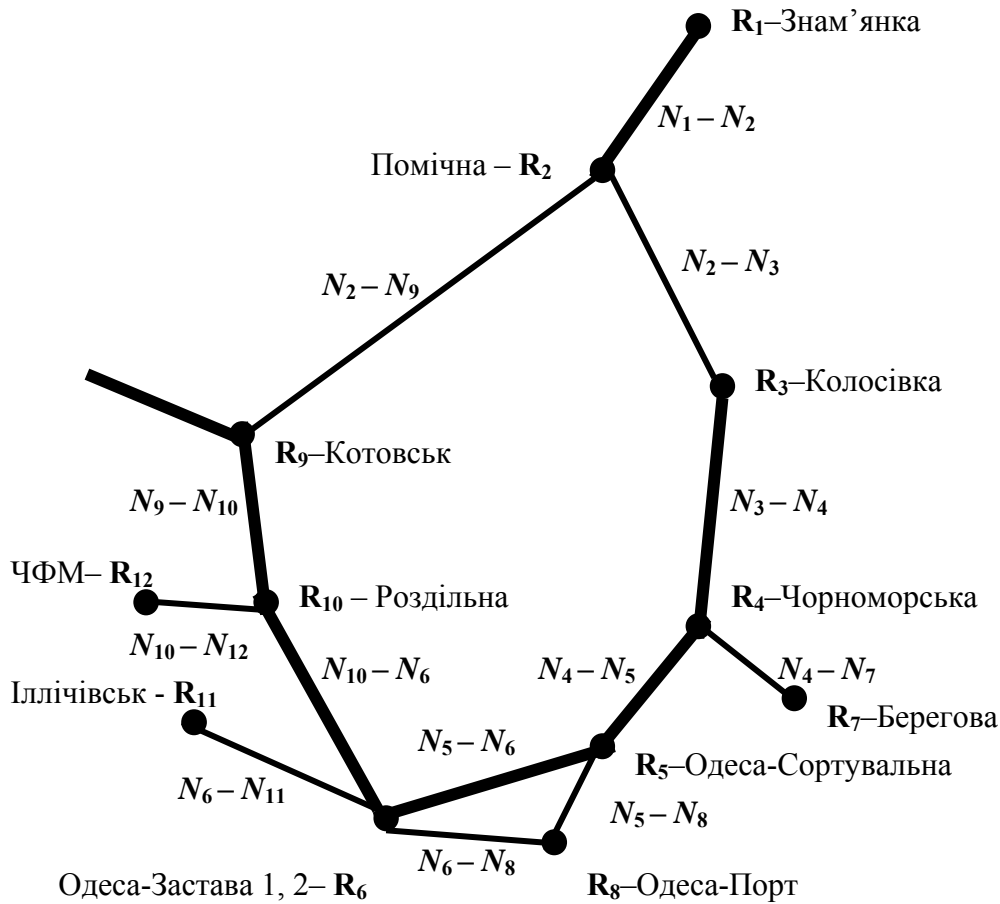


Рисунок 3.1 – Граф полігону залізничного напряму з паралельними ходами

Зв'язки між вузлами і дугами, а також можливості перевезень по ним різних поїздопотоків приведені в узагальненій матриці інциденцій

$$S_p = \|s_{ijl}\|, \quad (3.1)$$

де  $i=1, 2, \dots, R$

$j=1, 2, \dots, N$

$l=1, 2, \dots, P$

$$s_{ijl} = \begin{cases} +1, & \text{якщо дуга } j \text{ виходить з вершини } i \text{ і по ній може здійснюватися} \\ & \text{перевезення } l \text{ поїздопотоків;} \\ -1, & \text{якщо дуга } j \text{ входить у вершину } i \text{ і по ній може ввозитися } l \text{ поїз-} \\ & \text{допотік;} \\ 0, & \text{в інших випадках} \end{cases}$$

Таким чином  $S_p$  представляє по суті багатосліяну вектор-матрицю інцидентій вузлів і дуг графа, причому елементами матриць є  $P$ -мірні вектори, що складаються з -1, 1 або 0. Зручно  $S_p$  представляти такими, що також складається з  $P$  звичайних матриць інцидентій, кожна з  $l$  яких ( $l$ -й слій) відповідає графові перевезень  $l$  роду поїздопотоків, наведений в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 –  $P$ -мірний вектор матриці інцидентій вузлів і дуг графа

$i(R) \setminus j(N)$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	x	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	-1	x	+1	0	0	0	0	0	+1	0	0	0
3	0	-1	x	+1	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	-1	x	+1	0	+1	0	0	0	0	0
5	0	0	0	-1	x	+1	0	+1	0	0	0	0
6	0	0	0	0	-1	x	0	+1	0	-1	+1	0
7	0	0	0	-1	0	0	x	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	-1	-1	0	x	0	0	0	0
9	0	-1	0	0	0	0	0	0	x	+1	0	0
10	0	0	0	0	0	+1	0	0	-1	x	0	+1
11	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	x	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	x

Кожній вершині графа поставимо у відповідність  $P$ -мірний вектор  $b_i$ ,  $l$  координата якого дорівнює об'єму  $l$  роду поїздопотоків, що відправляється (при  $b_i^j > 0$ ) з  $i$  вершини або що прибуває (при  $b_i^j < 0$ ) в цю вершину.

Інформація про об'єми відправлення і прибуття може бути задана за допомогою  $P$ -мірного вектор-стовпця  $b = \{b_i\}$ , кожна  $i$  координата якого представляє вектор перевезень (відправлення і прибуття) відповідного  $i$  вузла.

Аналогічно завантаження всіх дуг графа всіма видами поїздопотоків може бути задане з допомогою  $\Lambda$ -мірного вектор-стовпця поїздопотоків  $X$ , кожна  $j$  координата якого представляє  $P$ -мірний вектор всіх видів поїздопотоків на  $j$  дузі.

Якщо через  $F$  позначити функціонал сумарних витрат на перевезення по паралельним напрямкам всіх видів поїздопотоків, то математична модель може бути представлена у вигляді:

$$\begin{aligned} \min F(X); \\ S_p X = b; \\ X \geq 0 \end{aligned} \tag{3.2}$$

На дугах мережі заданий також вектор нерозподілювального поїздопотоків  $X^n$ , то модель набере наступного вигляду:

$$F(X + X^n) = [\varphi(x_1 + x_1^n) + \psi(x_2 + x_2^n)] \rightarrow \min, \tag{3.3}$$

при обмеженнях:  $x_1 + x_2 = x$ ;

$$\begin{aligned} S_p X &= b; \\ X &\geq 0. \end{aligned}$$

де  $X$  – вектор розподілювального поїздопотоків між напрямками;  
 $X^h$  – вектор нерозподілювального поїздопотоків між напрямками;  
 $b$  – вектор розподілювальних та нерозподілювальних перевезень.

Модель (3.3) по суті ідентична (3.2) з тою лише неістотною відмінністю, що зміщена точка відліку. Функціонал  $F$  вважатиметься монотонно зростаючим [97], опуклим та диференційованими.

### 3.1.3 Умови оптимальності плану поїздопотоків

Для вирішення поставленої задачі ефективного розподілу поїздопотоків  $X$  на напрямку транспортної інфраструктури з паралельними ходам введено функції витрат на перевезення по основному та паралельному напрямкам відповідно  $\varphi(x_1)$  і  $\psi(x_2)$ . Рішення оптимізаційної задачі (3.2) представляється у вигляді:

$$\begin{aligned} \text{а) при} & \quad \check{x}_1 = x, \quad \check{x}_2 = 0; \\ \text{б) при} & \quad \check{x}_1 = 0, \quad \check{x}_2 = x; \\ \text{в) при} & \quad \varphi'(\check{x}_1) = \psi'(\check{x}_2) \end{aligned} \quad (3.4)$$

де  $\check{x}_1$  та  $\check{x}_2$  – відповідно оптимальні завантаження основного та паралельного напрямку залізничних перевезень.

Завантаження паралельних ліній в оптимальному плані таке, що диференційовані вартості перевезень (вартість перевезень «останнього поїзда») на лініях рівні між собою [119]. Економічні причини цього явища: якщо на одній з ліній вартість перевезення «останнього поїзда» вища, ніж на іншій, то план неоптимальний, доцільно передати цей «поїзд» на іншу лінію, тим самим зменшивши загальні витрати на перевезення.

Розглянемо задачу (3.2) і з'ясуємо, якого вигляду набирають умови оптимальності поїздопотоків на інфраструктурі в загальному випадку, тобто при довільній кількості вершин і топології мережі. Для того, щоб допустимий план поїздопотоків нелінійної мережевої транспортної задачі вигляду (3.2) був оптимальний, необхідно, аби він був потенційний.

Доказ можливо провести на основі необхідних умов екстремуму, запропонованих в [120].

Для функціонала  $F$  напрямку його убування утворюють опуклий конус  $T_1$ ; допустимі напрями для обмеження  $X \geq 0$  – також опуклий конус  $T_2$ , а допустимі напрямки для обмеження  $S_p X = b$  – підпростір  $Q$ . При цьому  $T_1^0 \neq \emptyset$  та  $T_2^0 \neq \emptyset$  де  $T_i^0$  позначає внутрішність конуса  $T_i$ .

Відомо, що необхідною умовою мінімуму в деякій точці  $\check{X}$  є дотримання в ній рівності

$$T_1^0 \cap T_2^0 \cap Q = \emptyset \quad (3.5)$$

Для відшукування точки  $\check{X}$  застосуємо теорему Дубовицького - Мілютіна: аби виконувалася умова  $T_1^0 \cap T_2^0 \dots T_s^0 \cap Q = \emptyset$ , необхідно і досить, аби існували лінійні функціонали  $w_1, w_2, \dots, w_s, q$  не рівні нулю одночасно і такі, що

$$w_1 + w_2 + \dots + w_s + q = 0 \quad (3.6)$$

При цьому  $q \in Q^*$ , а  $w_i \in T_i^*$ , де  $T_i^*$  - конус, зв'язаний з конусом  $T_i$ , тобто скалярні твори

$$(w_i, T_i) \geq 0 \text{ і } (q, Q) = 0 \quad (3.7)$$

Через опуклість функціонала  $F$  необхідна умова мінімуму буде і достатньою, тому умова (3.6) набере вигляду:

$$w_1 + w_2 + q = 0 \quad (3.8)$$

$$\text{де } w_1 = -\text{grad } F = \left\{ \frac{dF}{dx_j^l} \right\}$$

$$w_2 = \{t_j^l\}$$

Всі компоненти  $w_2$  вектора при  $X \geq 0$ , не негативні і, крім того, в точці оптимуму виконується умова доповнюючої не жорсткості, тобто

$$w_2 \check{X} = 0 \quad (3.9)$$

В обмеженні  $S_p X = b$  матриця  $S_p$  - з постійними членами (1, -1 і 0), то

$$q = S_p^* u^* = \{q_j^l\} \quad (3.10)$$

при цьому  $S_p^*$  - оператор, зв'язаний до  $S_p$ , тобто транспонована матриця до  $S_p$   
 $u^* = \{u_j^l\}$  - вектор потенціалів всіх вузлів для кожного роду поїздопотоків.

Безпосередньою перевіркою переконаємося в тому, що

$$q_j^l = u_{i_1}^l - u_{i_2}^l \quad (3.11)$$

де  $i_1$  та  $i_2$  - вузли, що обмежують  $j$  дугу. Підставляючи знайдені значення  $w_1, w_2$  та  $q$  в (3.9), отримаємо для всіх  $i, j$  та  $l$  умову

$$-\frac{dF}{dx_j^l} + q_j^l + t_j^l = 0; \quad (3.12)$$

і, оскільки  $\tilde{t}_j^l \tilde{x}_i^l = 0$ , то при  $\tilde{x}_i^l > 0$ ,  $\tilde{t}_j^l = 0$ .

Необхідною і достатньою умовою досягнення мінімуму в точці  $\tilde{X}$  є існування для кожного невзаємозамінного роду поїздопотоків  $l$  такої системи чисел (потенціалів)  $u_j^l$ , аби для кожної  $j$  дуги виконувалися умови:

$$u_{i_1}^l - u_{i_2}^l \leq \frac{dF}{dx_j^l}; \quad (3.13)$$

причому при  $\tilde{x}_j^l > 0$  має місце строга рівність

$$u_{i_1}^l - u_{i_2}^l = \frac{dF}{dx_j^l} \quad (3.14)$$

Потенційність оптимального плану нелінійного мережевого транспортно-го плану доведена.

У нелінійному випадку немає особливої необхідності враховувати обмеження пропускної спроможності ланок мережі, оскільки це простіше зробити відповідним вибором характеру не лінійності функцій витрат на перевезення. Формально можна розглянути і модифікацію моделі (3.2) вигляду:

$$\begin{aligned} \min F(X); \\ S_p X = b; \\ D \geq X \geq 0. \end{aligned} \quad (3.15)$$

де  $D$  – вектор обмежень пропускної спроможності ланок.

Неважко внести необхідні модифікації до викладеного вище доказу і отримати умови оптимальності для задачі (3.15) у вигляді [121]:

$$u_{i_1}^l - u_{i_2}^l \leq \frac{dF}{dx_j^l} + \delta_j \quad (3.16)$$

$$\text{а при } x_j^l > 0 \quad u_{i_1}^l - u_{i_2}^l = \frac{dF}{dx_j^l} + \delta_j \quad (3.17)$$

де  $\delta_j$  - прокатна оцінка за заняття одиниці пропускної спроможності  $j$  ланки



### 3.1.4 Побудова початкового допустимого плану

Формально допустимий план поїздопотоків нелінійної оптимізаційної задачі може бути знайдений так само, як і в лінійному випадку по будь-якому з відомих алгоритмів лінійного програмування. Проте цей план обов'язково буде опорним, тобто відповідатиме одній з вершин багатогранника обмежень. Для лінійних задач - це перевага, оскільки там процедура поліпшення допустимого плану будується шляхом перебору в певному порядку частини його вершин. Крім того, і це головне, в лінійних задачах оптимальним планом обов'язково є одна з вершин.

Початковий допустимий план, може бути побудований таким чином.

Розбиваємо весь необхідний вектор перевезень  $b$  на  $M$  відносно невеликих частин  $b_s$ . Тоді

$$b = b_1 + b_2 + \dots + b_s + \dots + b_M$$

Потім вирішуємо для кожного чергового значення вектора перевезень оптимізаційну задачу при отриманих раніше сумарних завантаженнях мережі, таких, що приймаються за нерозподілюваний поїздопотік. Якщо кожна частина  $b_s$  буде мала, то можна вважати при оптимізації  $s$  задачі, що диференціальні витрати не змінюються. Тому, кожна чергова оптимізаційна задача буде лінійною, причому, у якості коефіцієнтів цільової функції виступатимуть диференційні витрати, а вектором обмежень - величина  $b_s$ . Підсумовуючи результати вирішення всіх  $M$  допоміжних задач, отримуємо у результаті початковий план  $X^0$ , побудований з використанням диференційованих витрат.

Алгоритм побудови такого плану виглядає таким чином:

$$X^0 = \sum_{s=1}^{s=M} \tilde{Z}^s \quad (3.18)$$

де  $\tilde{Z}^s$  - рішення допоміжної задачі лінійного програмування наступного вигляду:

$$\min (\text{grad } F(\sum_{s=1}^{s=M} \tilde{Z}^j, Z^s)) \quad (3.19)$$

за умови  $S_p Z^s = b$ ,

причому  $\sum_s b_s = b$ ;  $Z^0 = 0$ .

По суті спроба побудови початкового плану за допомогою алгоритму (3.18) і (3.19) базується на передумові про безперервність і монотонність оптимального рішення  $\tilde{X}$  від вектора перевезень  $b$ . Розглянемо, за яких умов і в якому сенсі ці властивості застосовні до задачі типа (3.2).

Досліджуємо наступну екстремальну задачу:

$$\begin{aligned} \min f(X^k); \\ AX^k = \sum_{s=1}^{s=k} b_s; \\ X^k \geq 0. \end{aligned} \quad (3.20)$$

При різних  $k = 1, 2, \dots, M - 1$  вирішуватиметься задача вигляду (3.2), але не для всього об'єму перевезень. Необхідно з'ясувати, коли при зміні  $k$  від 1 до  $M$  послідовність рішень задачі (3.20\*)  $\tilde{X}^1, \tilde{X}^2, \dots, \tilde{X}^M$  буде такою, що монотонно зростає  $\tilde{X}^1 < \tilde{X}^2 < \dots < \tilde{X}^M$ . Разом з (3.20) введемо сімейство допоміжних задач (3.20\*)  $s = 1, 2, \dots, M$ , вигляду:

$$\begin{aligned} \min f(\tilde{X}^{s-1} + y_s); \\ Ay_s = b_s; \\ y_s \geq 0 \end{aligned} \quad (3.20^*)$$

Прийmemo для визначеності  $\tilde{X}^0 = 0$ .

Для того, щоб послідовність рішень  $\tilde{X}^1, \tilde{X}^2, \dots, \tilde{X}^M$  була такою, що монотонно зростає, необхідно і досить, аби виконувалася умова

$$\tilde{X}^k = \sum_{s=1}^{s=k} \tilde{y}_s, \quad (3.21)$$

(при цьому  $k = 1, 2, \dots, M$ , а  $\tilde{y}_s$  - рішення задачі (3.20\*)). Для  $k = 1$  твердження очевидне, оскільки  $\tilde{X}^1 = \tilde{y}_1$ . Тоді

$$\tilde{X}^k = \tilde{X}^{k-1} + \tilde{y}_k,$$

а через позитивність (3.21):

$$\tilde{X}^k \geq \tilde{X}^{k-1}$$

При побудові початкового плану зручно вектор  $b$  розбивати на колінеарні складові, тобто приймати всі  $b_s = h_s b$ . Допоміжні задачі лінійного програмування (3.19) тоді набирають вигляду

$$\min (\text{grad } F(\sum_{j=0}^{s-1} \tilde{Z}^j, Z^s), \quad (3.22)$$

за умов:

$$\begin{aligned} S_p \cdot Z^s = h_s \cdot b \\ Z^s \geq 0; \quad Z^0 = 0; \end{aligned}$$

$$\sum_{s=1}^{s=M} h_s = 1; \quad h_s \geq 0.$$

Умови безперервності і монотонності при розбитті вектора перевезень  $b$  на колінеарні складові розглянемо відповідно до задачі:

$$\begin{aligned} \min f(X_t); \\ A \cdot X_t = b \cdot t; \\ X_t \geq 0. \end{aligned} \quad (3.23)$$

Встановимо, коли має місце співвідношення

$$\frac{d\check{X}_t}{dt} > 0, \quad (3.24)$$

де  $\check{X}_t$  - рішення задачі (3.23), тобто коли при збільшенні вектора перевезень жодна з компонент оптимального плану не зменшується, а хоч би одна зростає.

Виключимо з розгляду вироджені випадки і припустимо, що рішення в (3.23) єдине. Тоді вочевидь, що (3.24) справедливо, якщо функціонал  $f$  лінійний.

Функціонал  $f$  однорідний (3.25). З однорідності  $f$  виходить, що

$$f(tX) = t^0 f(X).$$

Тоді якщо  $\check{X}$  єдине рішення (3.23) при  $t=1$ , то для довільного  $t > 0$   $\check{X}_t = t \cdot \check{X}$ .

Функція  $\varphi(t) = \frac{1}{t} Z_t$  при цьому відповідає умові

$$\varphi(t) \geq 0; \quad A\varphi(t) = A \frac{1}{t} Z_t = b \quad (3.25)$$

тобто обмеженням (3.23) при  $t=1$ .

Проте

$$f(\varphi(t)) = f\left(\frac{1}{t} Z_t\right) = \frac{1}{t^\alpha} f(Z_t) < \frac{1}{t^\alpha} f(t\check{X}) = f(\check{X}) \quad (3.26)$$

що протирічить оптимальності  $\check{X}$ . Умова однорідності є лише достатньою, але не необхідною.

В тому випадку, якщо неоднорідний функціонал  $f \frac{dX_t}{dt}$  не задовольняє умові (3.24) не можна стверджувати, що навіть при  $\max h_s \rightarrow 0$  алгоритм побудови початкового плану згідно (3.18), (3.22) дає оптимальне рішення задачі (3.2). Отже, необхідна процедура покращення допустимого, але неоптимального плану.

### 3.1.5 Алгоритм покращення допустимого плану

Ідея необхідності направлення поїздопотоків по найкоротших (у розумінні диференціальної вартості) напрямках може бути використана і на другому етапі, коли потрібно перейти від одного допустимого плану до іншого, більш кращого. Дійсно, якщо на деякій  $i$ -й ітерації отриманий допустимий, але неоптимальний план, то це означає, що деякі поїздопотоки (або їх частина) пішли не тими маршрутами. Тому природно зняти деяку частину всіх поїздопотоків і направити їх по вигідніших маршрутах.

Формально перехід від плану  $X^i \neq \tilde{X}$  до плану  $X^{i+1}$  - такому, що  $F(X^{i+1}) < F(X^i)$ , може бути виконаний по алгоритму

$$X^{i+1} = (1 - k^i)X^i + \tilde{y}^i, \quad (3.27)$$

де  $\tilde{y}^i$  - рішення допоміжної задачі лінійного програмування вигляду.

$$\begin{aligned} \min & \text{ (grad } F(X^i - k^i X^i), y^i); \\ S_p y^i &= k^i b; \\ y^i &\geq 0. \end{aligned} \quad (3.28)$$

Допустимість вектора  $X^{i+1}$  для задачі (3.2) легко перевіряється.

При досить малих  $k^i$  послідовність значень  $\{X^i\}$ , побудована згідно алгоритму (3.27) і (3.28), є такою, що монотонно зменшується.

Розглянемо значення різниці

$$\delta^i = F(X^{i+1}) - F(X^i). \quad (3.29)$$

При досить малих  $k^i$  справедливі співвідношення:

$$F(X^{i+1}) = F(X^i - k^i X^i + \tilde{y}^i) = F(X^i - k^i X^i) + (\text{grad } F(X^i - k^i X^i), \tilde{y}^i) + o(\|\tilde{y}^i\|); \quad (3.30)$$

$$F(X^{i+1}) = F(X^i - k^i X^i + k^i X^i) = F(X^i - k^i X^i) + (\text{grad } F(X^i - k^i X^i), k^i X^i) + o(\|k^i X^i\|). \quad (3.31)$$

Оцінимо величини  $o(\|\tilde{y}^i\|)$  і  $o(\|k^i X^i\|)$ . Через обмеженість координат  $X^i$  величина  $\|X^i\|$  також обмежена і  $o(\|k^i X^i\|)$  може бути замінена на  $o(k^i)$ . Для оцінки величини  $o(\|\tilde{y}^i\|)$  врахуємо, що через диференційоване рішення задачі (3.28) по параметру  $k^i$  має місце рівність  $\tilde{y}^i(k^i) = \tilde{y}^i(0) + \frac{d\tilde{y}^i(0)}{dk^i} k^i + o(k^i)$ , але при  $k^i = 0$ ,  $\tilde{y}^i = 0$  і, отже

$$\|\tilde{y}^i\| = \left\| \frac{d\tilde{y}^i(0)}{dk^i} \right\| k^i + o(k^i). \quad (3.32)$$

Правомірність заміни  $o(\|\tilde{y}^i\|)$  на  $o(k^i)$  стає очевидною, якщо врахувати, що при опуклому і монотонно зростаючому характері  $F(X)$   $\left\| \frac{d\tilde{y}^i}{dk^i} \right\|$  обмежена.

Тепер розглянемо різницю  $\delta^i$  з врахуванням отриманих оцінок для  $o(\|\tilde{y}^i\|)$  і  $o(\|k^i X^i\|)$ :

$$\delta^i = (\text{grad } F(X^i - k^i X^i), \tilde{y}^i) - (\text{grad } F(X^i - k^i X^i), k^i X^i) + o(k^i). \quad (3.33)$$

Оскільки  $\tilde{y}^i$  є рішенням (3.29), а  $k^i X^i$  її неоптимальним планом, то

$$\omega^i = (\text{grad } F(X^i - k^i X^i), \tilde{y}^i) - (\text{grad } F(X^i - k^i X^i), k^i X^i) < 0. \quad (3.34)$$

Неважко бачити, що ця різниця має порядок  $o(k^i)$ . При безперервності  $\text{grad } F$  в точці  $X^i$  і неоптимальності плану  $X^i$  це витікає з представленого  $\omega^i$  у вигляді:

$$\omega^i = \left[ (\text{grad } F(X^i - k^i X^i), \frac{\tilde{y}^i}{k^i}) - (\text{grad } F(X^i - k^i X^i), X^i) \right], \quad (3.35)$$

де  $\frac{\tilde{y}^i}{k^i}$  і  $X^i$  - допустимі і істотно різні плани основної задачі (3.2).

Якщо виключити особливі випадки (точки порушення безперервності градієнта та інші), то отримаємо  $\delta^i < 0$ , тобто побудована послідовність  $\{X^i\}$  - що монотонно зменшується.

Згідно (3.28) на кожному кроці покращення плану перевезень фактично вирішується задача відшукування найкоротших відстаней на мережі, довжини дуг якої дорівнюють диференціальним вартостям проїзду по ним. Ці вартості від кроку до кроку змінюються і тому особливо важливе значення для вирі-

шення задачі планування поїздопотоків на мережі великих розмірів має використання швидкодіючих алгоритмів пошуку найкоротших відстаней.

### 3.2 Визначення структури функцій витрат на перевезення

#### 3.2.1 Умови задачі

Цільова функція, яка використовується в подальших розрахунках є сумою витрат на перевезення вантажних і пасажирських поїздів по ланках мережі з врахуванням відповідних витрат на переробку поїздів у вузлах мережі. Єдина вимога, пред'явлена до вигляду цільової функції - це її опуклість і диференційованість. Конкретний же вигляд функцій витрат на перевезення і міру їх деталізації, вимоги до точності наближення до оптимуму та інші визначаються метою рішення задачі.

Вважатимемо, що задача розподілу поїздопотоків розглядаються стосовно залізничного напрямку з паралельними ходами Знам'янка – Одеса, агрегованому відповідним чином до розмірів мережі (12 вузлів і 13 ланок), яка зображена на рисунку 3.1.

Вказана міра агрегації залізничного напрямку мережі визначається можливістю здобуття достовірної інформації про напрямок і величини поїздопотоків.

Мережа агрегується так, щоб всі ділянки, які отримують поїздопотоки, були однорідні на всьому протязі по найважливіших технічних та експлуатаційних показниках таких як кількість колій, вид тяги, система СЦБ, довжина приймально-відправних колій і розміри пасажирського руху. При цьому пасажирські поїздопотоки вважаються заданими і постійними.

Процес агрегації поширюється і на вихідну інформацію про перевезення. У ній вказується, з якого вузла в який і в якій кількості слідують вантажні поїздопотоки. Тим самим в процесі рішення вибираються лише оптимальні маршрути дотримання кореспонденцій поїздопотоків, прикріплення ж станцій відправлення до станцій призначення поїздів заздалегідь задане і не оптимізується. Вагова норма поїздів, статичні навантаження на вісь навантажених вагонів і міру використання вантажопідйомності приймаються середніми і єдиними для всіх поїздів, що проходять по вибраній ділянці.

Витрати по перевезенню вантажів можна розбити на дві складові:

- постійні і не залежні від об'єму перевезень (витрати по обслуговуванню постійних пристроїв інфраструктури);

- залежні - безпосередньо визначаються інтенсивністю завантаження елементів мережі вантажними і пасажирськими поїздопотоками.

При вирішенні задачі оптимізації постійний доданок в цільовій функції може бути з розрахунку виключено, тому розглядається лише частина витрат, залежна від об'єму перевезень. Значення функціонала, що виходить, при цьому

буде менше повних витрат на деяку константу, але план оптимальних поїздопотоків на кожній ділянці не зміниться.

### 3.2.2 Витрати на ділянках мережі

Для розрахунків на ЕОМ залежні витрати на кожній транспортній ланці мережі мають бути представлені у вигляді функції від обсягів пасажирських і вантажних поїздопотоків, з врахуванням розмірів руху порожніх поїздопотоків по регульовальних завданнях в обох напрямках. Необхідно, аби ці функції зважали на специфіку кожної ділянки і залежали від вказаних вище найважливіших технічних і експлуатаційних його параметрів. У них повинні входити як безпосередньо експлуатаційні витрати, так і капіталовкладення в рухомий склад і вартість вантажної маси.

За основу узято аналітичні вирази по визначенню залежних наведених витрат на перевезення вантажу по залізничній ланці, запропоновані в [58] і засновані на методиці ГіпротрансТЕІ МШС. Використані аналітичні формули, спираються на гіпотезу рівно чисельного обміну, а потужність локомотиву приймається рівною потрібної.

Функції витрат на ланках природним чином розбиваються на класи залежно від кількості колій на дільниці таким чином, що функції одного класу розрізняються лише значеннями відповідних коефіцієнтів, залежних від експлуатаційних і технічних параметрів інфраструктури дільниці. Кількістю коефіцієнтів функцій визначається обсяг інформації для кожного ділянки мережі.

Кількість навантажених поїздів в непарному напрямі більша, ніж в парному, а кількість порожніх вантажних поїздів в непарному напрямі менша, ніж в парному (п. 2.1.2). Тому застосовуємо наступну термінологію: направлення від вузла з меншим номером до вузла з більшим номером назвемо прямим, а протилежне - зворотним, незалежно від їх завантаження. Напрямок, відповідний більшій кількості вантажних поїздів, назвемо навантаженим, а зустрічний - порожнім.

Гіпотеза рівно чисельного обміну кількості поїздів, на якій зазвичай [58, 59] ґрунтуються функції витрат дає можливість визначати розміри порожніх поїздопотоків на ланці залежно від розмірів завантажених поїздопотоків. Тому функції витрат розглядаються [85, 121, 122] як функції лише двох аргументів - поїздопотоків в обох напрямках.

### 3.2.3 Витрати на двохколіїній ділянці і ділянці з двохколійними вставками

Витрати на двохколіїній ділянці і ділянці з двохколійними вставкам записуватимемо у вигляді двох доданків

$$F(\Gamma_1, \Gamma_2) = F_1(\Gamma_1, \Gamma_2) + \Delta F_{\text{рух}}^{\text{од}}(N_{\text{ван}}), \quad (3.36)$$

де  $N_1, N_2$  – кількість вантажних поїздів кожного напрямку перевезень;  
 $N_{\text{ван}} = \max(N_1, N_2)$  - розміри руху навантаженого напрямку перевезень.  
 Основні витрати  $F_1(\Gamma_1, \Gamma_2)$  – представляються у вигляді:

$$B_1(\Gamma_1, \Gamma_2) = \sum_{i=1}^{i=6} C_i, \quad (3.37)$$

У (3.37) відповідні доданки мають наступний економічний зміст:

$C_1, C_2$  – витрати на механічну роботу по просуванню поїздопотоків в прямому і зворотному напрямках відповідно;  
 $C_3$  – витрати на механічну роботу по перевезенню порожніх поїздопотоків;  
 $C_4$  – витрати, пропорційні часу перевезення;  
 $C_5$  – витрати, пропорційні довжині пробігу;  
 $C_6$  – витрати, пропорційні об'єму вантажу, що перевозиться;  
 $C_7$  – додаткові витрати, пов'язані з додатковим простоем поїздопотоків при зміні локомотивів і локомотивних бригад, з обертом чи переломах маси поїздів.

Складова  $\Delta F_{\text{рух}}^{\text{од}}(N_{\text{ван}})$  - це додаткові витрати, пов'язані з наданням «вікон» або простоями при неможливості організації безупинного схрещення поїздів на одноколійних ділянках з двоколійними вставками. Це доданок істотно відрізняється від нуля і зростає нелінійно лише при розмірах руху, близьких до пропускної здатності ділянки.

Розглянемо кожну складову витрат. Витрати  $C_1, C_2$  визначаються за формулою

$$C_k = 0,365LN_k [P(\omega_0' + i_k^e) + Q_k(\omega_k'' + i_k^e)] C_{\text{ТКМ}}, \quad (3.38)$$

де  $k=1$  - в прямому і  $k=2$  - у зворотному напрямі;

$L$  – довжина ланки, км.;

$Q_k$  – маса навантаженого поїзда брутто, т;

$P$  – маса локомотива, т;

$N_k$  – кількість вантажних поїздів даного напрямку;

$\omega_0'$  – питомий опір руху локомотиву, Н/т;

$\omega_k''$  – питомий опір руху навантаженого вагону, Н/т;

$i_k^e$  – еквівалентний ухил, ‰;

$C_{\text{ТКМ}}$  – витрати на 1 т-км роботи локомотиву по подоланню основного опору.

Маса навантаженого поїзда розраховується за формулою

$$Q_k = \frac{q_k l_{\text{пв}}}{l_{\text{вісь}}} \quad (3.39)$$



де  $q_k$  – навантаження на вісь навантаженого вагону в даному напрямку,  $t$ ;

$l_{\text{вісь}}$  – довжина вагону, що доводиться на вісь,  $m$ ;

$l_{\text{пв}}$  – довжина приймально-відправних колій,  $m$ .

Кількість вантажних поїздів розраховується за формулою

$$N_k = \frac{\Gamma_k}{365\gamma_k Q_k}, \quad (3.40)$$

де  $\Gamma_k$  – вантажопотік в даному напрямку,  $t$ ;

$\gamma_k = \frac{Q_{\text{нет}}}{Q_{\text{бр}}}$  – відношення середньої маси поїзда нетто до середньої маси поїзда

брутто. Ця величина приймається рівною  $1 - \frac{q_{\text{пор}}}{q_k}$ .

$q_{\text{пор}}$  – середнє навантаження на вісь порожнього вагону.

Величини значень ходової швидкості  $v_x$ , що беруть участь в розрахунках, швидкості на розрахунковому ухилі  $v_p$  і опору  $\omega_0$  вважаються постійними.

Опір руху навантаженого вагону залежить від ходової швидкості і навантаження на вісь і розраховується за формулою [117]

$$\omega_k'' = 0,7 + \frac{3 + 0,1v_x + 0,0025v_x^2}{q_k}, \quad (3.41)$$

де  $v_x$  – ходова швидкість поїзда,  $км/год$ ;

$q_k$  – навантаження на вісь,  $t/вісь$ .

Остаточно формула (3.38) має вигляд:

$$C_k = a_k \cdot \Gamma_k; \quad k = 1, 2. \quad (3.42)$$

де  $a_k$  – коефіцієнт, свій для кожної ланки і напрямку (його значення залежить від довжини ділянки, виду тяги, довжини станційних колій, величин навантаження на вісь і еквівалентних ухилів).

Витрати на механічну роботу по перевезенню порожнього вагонопотоку визначається аналогічно:

$$C_3 = 0,365LC_{\text{ткм}} [P(\omega_0' + i_k^e) + Q_{\text{п}}(\omega_{\text{п}}'' + i_k^e)] |N_1 - N_2|, \quad (3.43)$$

де  $Q_{\text{п}}$  – маса порожнього поїзда,  $t$ ;

$\omega_{\text{п}}''$  – питомий опір руху порожнього вагону, що визначається за формулою (3.41) при  $q_k = q_{\text{п}}$ ;

$i_k^e$  – дорівнює  $i_1^e$ , якщо порожні вагонопотоки рухаються в прямому напрямку, і  $i_2^e$ , якщо в зворотному.

Величина  $Q_{\text{п}}$  визначається по навантаженню на вісь порожнього поїзда  $q_i$ . Формулу (3.43) можна записати у вигляді:

$$C_3 = a_3^k |N_1 - N_2|, \text{ при } k = 1, 2; \quad (3.44)$$

де  $a_3^k$  рівно  $a_3^1$ , якщо порожній поїздопотік рухається в прямому напрямку, і  $a_3^2$ , якщо в зворотному напрямку.

Витрати, пов'язані з вартістю локомотиво-години та поїздо-години складуть

$$C_4 = \frac{365L}{v_x} \left[ 2e_{\text{л-год}} \max(N_1 + N_2) + e_{\text{віс-год}} \left( \frac{Q_1}{q_1} N_1 + \frac{Q_2}{q_2} N_2 + \frac{Q_{\text{п}}}{q_{\text{п}}} |N_1 - N_2| \right) \right], \quad (3.45)$$

де  $e_{\text{л-год}}$  – вартість локомотиво-години;

$e_{\text{п-год}}$  – вартість поїздо-години.

Вартість локомотиво-години визначається за формулою

$$e_{\text{л-год}} = e_{\text{бр-год}} + \frac{e_{\text{М}} \bar{M}}{8760}, \quad (3.46)$$

де  $e_{\text{бр-год}}$  – витратна ставка локомотивних бригад;

$e_{\text{М}}$  – відрахування від вартості локомотиву, що доводиться на 1 H;

$\bar{M}$  – потрібна потужність локомотиву.

$$\bar{M} = \max_k \cdot \frac{v_p \left[ Q \cdot (\omega_k'' + i_k^p) + P(\omega_0' + i_k^p) \right]}{270}, \quad (3.47)$$

де  $i_k^p$  – керівний ухил для кожного напрямку.

Величини  $e_{\text{бр-год}}$  та  $e_{\text{М}}$  приймаються єдиними для всієї мережі напрямку.

Вартість вагоно-години визначається за формулою

$$e_{\text{віс-год}} = 2,57 \cdot 10^{-3} + \frac{12 \cdot \gamma \cdot E \cdot C_{\text{ван}} + (1 - \gamma) \cdot (E + \Delta_{\text{т}}) \cdot C_{\text{т}}}{8760}, \quad (3.48)$$

де  $E$  – нормативний коефіцієнт ефективності;

$C_{\text{ван}}$ ,  $C_{\text{т}}$  – середня вартість відповідно вантажу і тари, грн.;

$\Delta_{\text{т}}$  – норма реноваційних відрахувань вагонного парку, грн.

Витрати, пропорційні часу перевезення розраховуються за формулою

$$C_4 = a_{41} \max(N_1, N_2) + a_{42} \Gamma_1 + a_{43} \Gamma_2 + a_{44} |N_1 - N_2| \quad (3.49)$$

де  $a_{4i}$  – коефіцієнт, залежний від керівного ухилу прямого і зворотного напрямків, що приходиться на поїзд, вантажну масу на колесах в прямому та зворотному напрямках, пересуванню порожніх поїздів.

Витрати, пропорційні довжині пробігу поїздів визначаються за формулою

$$C_5 = 365L \left[ 2e_{\text{лок-км}} \max(N_1, N_2) + e_{\text{віс-км}} \left( \frac{Q_1}{q_1} N_1 + \frac{Q_2}{q_2} N_2 + \frac{Q_n}{q_n} |N_1 - N_2| \right) \right], \quad (3.50)$$

де  $e_{\text{лок-км}}$ ,  $e_{\text{віс-км}}$  – витрати, віднесені відповідно на локомотиво-кілометри та вагоно-кілометри, грн.

Аналогічно попередньому, формулу (3.50) представимо наступним чином

$$C_5 = a_{51} \max(N_1, N_2) + a_{52} \cdot \Gamma_1 + a_{53} \cdot \Gamma_2 + a_{54} \cdot |N_1 - N_2| \quad (3.51)$$

де  $a_{5i}$  – коефіцієнт, залежний від керівного ухилу прямого і зворотного напрямків, що приходиться на поїзд, вантажну масу на колесах в прямому та зворотному напрямках, пересуванню порожніх поїздів.

Витрати, пропорційні об'єму перевезень, визначаються за формулою

$$C_6 = [\Gamma_1 + \Gamma_2 + 730 \cdot Q_n \max(N_1, N_2)] e_{\text{т-км бр}} \cdot L, \quad (3.52)$$

де  $e_{\text{т-км бр}}$  – питомі витрати, пропорційні тонно-кілометровій роботі брутто.

Рівність (3.52) запишемо у наступному вигляді

$$C_6 = a_{61} (\Gamma_1 + \Gamma_2) + a_{62} \max(N_1, N_2) \quad (3.53)$$

де  $a_{6i}$  – коефіцієнт витрат, пропорційний обсягу перевезень.

Підсумовуючи ряд наведених вище складових, отримаємо основні витрати по перевезенню (3.37) у наступному вигляді

$$F_1(\Gamma_1, \Gamma_2) = P_1 \cdot \Gamma_1 + P_2 \cdot \Gamma_2 + P_3^k \cdot \left| \frac{\Gamma_1}{\lambda_1} + \frac{\Gamma_2}{\lambda_2} \right| + P_4 \cdot \max \left( \frac{\Gamma_1}{\lambda_1}, \frac{\Gamma_2}{\lambda_2} \right), \quad (3.54)$$

де  $\frac{\Gamma_k}{\lambda_k} = N_k$  – кількість поїздів вантажного та зворотного напрямків;

$\lambda_k$  – коефіцієнт переходу від розміру вантажопотоку в тоннах до кількості поїздів даного напрямку, що розраховується за формулою

$$\lambda_k = \frac{365 \cdot q_k \cdot l_{пв}}{l_{віс}} \quad (3.55)$$

Витрати, пов'язані з схрещенням і обгоном поїздів  $\Delta F_{рух}^{од} (N_{ван})$  на одноколійній ділянці з двохколійними вставками складуть:

$$\Delta B_{рух}^{од} (N_{ван}) = 365 \cdot L \cdot R \cdot (e_1 + e_2), \quad (3.56)$$

де  $R$  – кількість зупинок поїздів із-за схрещень і обгонів;

$e_1$  – витрати, пов'язані з розгоном і гальмуванням поїзда при зупинках;

$e_2$  – втрати, пов'язані з простоем поїзда при схрещеннях.

Розрахункові формули, наведені в цьому розділі, використовуються при економіко-математичному моделюванні роботи залізничного напрямку з паралельними ходами.

### 3.3 Висновки

У якості розрахункової схеми прийнято мережу, що складається з транспортних ланок, на яких сконцентровані всі витрати по перевезеннях, і абстрактних точкових вузлів, що розділяють ланки.

При незмінному технічному стані елементів мережі додаткові витрати на перевезення кожного подальшого поїзда зростають. Тому з достатньою точністю, витрати по перевезенню на напрямку з паралельними ходами, що мають одноколійні перегони з двохколійними вставками можуть бути представлені у вигляді монотонно зростаючої та опуклої функції, залежної від потужності вантажних і пасажирських поїздопотоків.

Сформована таким чином розширена мережа, яка включає як дійсні ланки, по яких безпосередньо здійснюються перевезення, так і додаткові ланки - функції витрат на перевезення, які представляють собою відповідні залежності витрат на переробку поїздопотоків у вузлах.

В якості опорного плану прийнятий існуючи розміри руху вантажних поїздів по паралельним ходам. Для лінійних задач - це перевага, оскільки там процедура покращення допустимого плану будується шляхом перебору в певному порядку частини його вершин. Крім того, і це головне, в лінійних задачах оптимальним планом обов'язково є одна з вершин.

Експлуатаційні витрати, які залежать від розмірів руху, розраховують для кожної ділянки напрямку додаванням добуток одиничних або укрупнених витратних ставок на розмір витрат вимірників на ділянках – окремо у парному та непарному напрямках .

При моделюванні роботи паралельних напрямків враховуються наступні вимірники:

- часові: вагоно-години, локомотиво-години поїзної та маневрової роботи, бригадо-години локомотивних бригад;
- пробіжні: вагоно-кілометри, поїздо-кілометри, локомотиво-кілометри, тонно-кілометри бруто вагонів та локомотивів;
- енергетичні: тонно-кілометри механічної роботи, кіловат-години електроенергії .

Для вирішення задачі ефективного розподілу поїздопотоків між паралельними ходами залізничної мережі використовуються лінійні моделі і методи лінійного програмування. Вживання цих методів, як обов'язкову передумову вимагає, щоб питома вартість перевезень на ланці мережі була постійною і не залежала від розмірів поїздопотоків.

При моделюванні процесу ефективного розподілу поїздопотоків між паралельним ходам включені наступні витрати:

- витрати на механічну роботу по просуванню поїздопотоків в прямому та зворотному напрямках;
- витрати на механічну роботу по перевезенню порожніх поїздопотоків;
- витрати, пропорційні часу перевезення;
- витрати, пропорційні довжині пробігу поїздів;
- витрати, пропорційні об'єму вантажу, що перевозиться;
- додаткові витрати, пов'язані з простим розподілювальних поїздопотоків на станціях зміни локомотивів чи локомотивних бригад;
- додаткові витрати, пов'язані з простим розподілювальних поїздопотоків на станціях перелому маси поїздів, пов'язані з зменшенням маси до критичної норми.

## РОЗДІЛ 4

### ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ІНФРАСТРУКТУРИ ЗАЛІЗНИЧНОГО НАПРЯМКУ З ПАРАЛЕЛЬНИМИ ХОДАМИ ЗНАМ'ЯНКА – ОДЕСА

Практично на всіх залізничних лініях обертаються поїзди різних категорій, а саме: пасажирські з різними швидкостями руху, приміські, прискорені вантажні і вантажні. Різність швидкостей руху пасажирських та вантажних поїздів впливають на пропускну спроможність залізничних напрямків, що приводить до непаралельного графіка руху поїздів та зменшенню пропускну спроможності.

Пропускна спроможність залізничних напрямків розраховується в парах вантажних поїздів, а зв'язок між розмірами руху пасажирських та вантажних поїздів здійснюється через приведення розмірів руху пасажирських поїздів до вантажних з використанням коефіцієнтів зйому. Коефіцієнт зйому залежить від різниці швидкостей руху пасажирських (звичайних, прискорених, швидкісних) та вантажних поїздів і показує зменшення можливої кількості поїздів у вантажному русі у зв'язку з пропуском пасажирських поїздів.

Залізничний напрямок з паралельними ходами Знамянка – Одеса характеризується різними розмірами руху по основному та паралельному напрямку. По основному напрямку в обертанні знаходяться 18 пар пасажирських поїздів, а по паралельному напрямку обертаються 2 пари пасажирських поїздів, що окажує вплив на графік руху поїздів відповідно: паралельний та непаралельний.

Розміри пасажирського руху приймаються як задані. Отже, розрахунок пропускну спроможності паралельних залізничних напрямків зводиться до визначення кількості вантажних поїздів, які можуть бути пропущені при заданій кількості пасажирських поїздів.

Методики розрахунку коефіцієнтів зйому вантажних поїздів пасажирськими при звичайних швидкостях руху (до 120 км/год) відомі, але при застосуванні прискореного (120-160 км/год) та швидкісного (160-200 км/год) руху не можуть використовуватися із-за вимог безпеки руху пасажирських поїздів при прослідкуванні станцій.

У зв'язку з скороченням нічного руху пасажирських поїздів та введенням на залізничних напрямках УЗ прискорених денних експресів, необхідно оцінити їхній коефіцієнт зйому та його вплив на пропускну спроможність залізничних напрямків.

#### **4.1 Дослідження коефіцієнту зйому вантажних поїздів пасажирськими**

На основному напрямку залізничних перевезень Знамянка – Помічна – Колосівка – Одеса самою вантажонапруженою дільницею є Помічна – Колосівка, на якій знаходяться 4 одноколіїні вставки, обладнані двостороннім автоблокуванням: Трикратне – Олександрівка, Вознесенськ – блокпост 1141 км, Висоцьке – Олійникове, Трикратне – блокпост 1113 км.

На паралельному напрямку залізничних перевезень Знам'янка – Помічна – Котовськ - Роздільна – Одеса самою вантажонапруженою дільницею є Помічна – Котовськ, на якій знаходяться 5 одноколійних вставок, які обладнані двостороннім автоблокуванням: Кінцель – Первомайськ, Врадіївка – Сирово, Любашівка – Заплази, Жеребкове - Балта, Балта – Обхідна.

Необхідно відзначити, що у зв'язку з тим, що на паралельному напрямку обертаються 2 пари пасажирських поїздів, графік руху поїздів можливо характеризувати як відносно паралельний. На основному напрямку перевезень використовується непаралельний графік руху поїздів. З урахуванням [1] та концепцією переходу руху пасажирських поїздів на денний час слідування, велике значення набуває дослідження коефіцієнта зйому вантажних поїздів пасажирськими.

Розрахункова величина коефіцієнта зйому для звичайних швидкостей руху пасажирських поїздів [66] складається з двох частин. Перша частина характеризується різницею часів ходу по розрахунковій дільниці пасажирського і вантажного поїзда (основний зйом -  $\varepsilon_{oc}$ ). Друга частина обумовлюється не кратністю інтервалів між попутними пасажирськими поїздами розрахунковим між поїзним інтервалам (додатковий зйом -  $\varepsilon_{дод}$ ).

На одноколійних лініях з двохколійними вставками основного напрямку перевезень організовується беззупинкове схрещення та обгін вантажних поїздів, коефіцієнти зйому для пасажирських (приміських) і прискорених вантажних поїздів, що мають більшу швидкість руху по ділянкам ніж вантажні визначаються за формулою [66]

$$\varepsilon_{пс} = \varepsilon_{oc} + \varepsilon_{дод} = n_p - n_o + 0,5, \quad (4.1)$$

де  $n_p$  – розрахункова кількість обгонів вантажних поїздів на ділянці;

$n_o$  – фактична кількість обгонів вантажних поїздів на ділянці.

Розрахункова кількість обгонів вантажних поїздів на ділянці визначається за формулою:

$$n_p = \frac{t_{ван}(1 - \Delta)}{J_p} + 1, \quad (4.2)$$

де  $t_{ван}$  – час ходу вантажного поїзда по розрахунковій ділянці, хв.;

$\Delta$  – середнє співвідношення чистого часу ходу пари поїздів, що мають більшу швидкість, ніж вантажні, і часу ходу пари вантажних поїздів на розрахунковій ділянці;

$J_p$  – розрахунковий інтервал між попутними поїздами.

Фактична кількість обгонів вантажних поїздів на ділянці визначається за формулою

$$n_o = \frac{t_{\text{ван}}}{t_o}, \quad (4.3)$$

де  $t_o$  – час ходу вантажного поїзда між обгонами, *хв*.

Час ходу вантажного поїзда між обгонами визначається за формулою

$$n_o = \frac{\tau_{\text{пс}} + t_{\text{уп}}}{1 - \Delta}, \quad (4.4)$$

де  $\tau_{\text{пс}}$  – середній інтервал прибуття пасажирського поїзда за вантажним на станції обгону, *хв*;

$t_{\text{уп}}$  – час уповільнення вантажного поїзда на перегоні перед станцією обгону, *хв*.

Середній інтервал прибуття пасажирського поїзда за вантажним на станції обгону визначається за формулою

$$\tau_{\text{пс}} = \tau_{\text{пс}}^{\text{н}} (1 + \gamma), \quad (4.5)$$

де  $\tau_{\text{пс}}^{\text{н}}$  – розрахунковий інтервал, *хв*;

$\gamma$  – коефіцієнт не ідентичності розташування перегонів.

Додаткове знімання пропускної спроможності обґрунтовується не кратністю інтервалу між пасажирськими поїздами розрахунковому інтервалу між вантажними поїздами. Він може змінюватися від 0 до 1. Фактична величина  $\epsilon_{\text{дод}}$  носить імовірнісний характер; у розрахунках  $\epsilon_{\text{дод}}$  приймається 0,5.

В умовах прискореного (від 120 до 160 *км/год*) та швидкісного (від 160 до 200 *км/год*) руху пасажирських поїздів дана методика розрахунку коефіцієнтів зйому підлягає уточненню відповідно до [123]. Вживання формул 4.1 – 4.5 недопустимо, оскільки вони не враховують умови безпеки пропуску прискорених та швидкісних поїздів по станціях під час обгону вантажних поїздів та беззупинкове схрещення прискорених та швидкісних поїздів з вантажними.

По-перше, це проведення перевірочних розрахунків існуючих довжин блок-ділянок АБ за затвердженою методикою визначення їхньої довжини у відповідності до гальмових шляхів всіх категорій поїздів, що на максимально дозвільній швидкості будуть рухатися по швидкісній залізничній лінії [124].

Відповідність довжин блок-ділянок вимогам безпечної зони зближення поїздів у відповідності до довжини гальмового шляху найбільш швидкісних поїздів із збереженням значності сигналізації АБ (три-, чотиризначна).

У даному випадку необхідне перерахування (фактично збільшення) довжини блок-ділянок у відповідності до швидкості пасажирських поїздів до 200 *км/год*, вантажних - до 120 *км/год*. Але збільшення довжини блок-ділянок суттєво зменшить (принаймні, на 35 - 40 %) пропускну спроможність перегонів і є економічно складною технічною задачею [125, 126].



По-друге, при використанні існуючого пасажирського та вантажного рухомого складу із його рухом по швидкісним залізничним лініям за встановленими, у відповідності до існуючих нормативних документів, швидкостями дозволити швидкісний рух (до 200 км/год) лише тому спеціалізованому пасажирському рухомому складу, гальмовий шлях якого забезпечує безпечну зону зближення між сусідніми, які прямують в одному напрямку, поїздами за існуючими довжинами блок-ділянок (до 2,6 км) [126].

Коефіцієнт зйому ниток графіку пасажирськими поїздами на ділянках обладнаних автоблокуванням залежить від відстані ділянки, довжини блок-ділянок, часу ходу по блок-ділянці пасажирських та вантажних поїздів, станційних інтервалів по прибуттю та відправленню.

Інтервал по прибуттю поїздів на станцію при швидкісному русі пасажирських поїздів встановлюється в залежності від швидкості проходження пасажирським поїздом міжстанційних перегонів відповідно [127] складає:

- для швидкості руху до 120 км/год – 6 хв.;
- для швидкості руху від 120 до 160 км/год – 20 хв.;
- для швидкості руху від 160 до 200 км/год – 30 хв.

На рисунку 4.1 наведено загальну діаграму залежності коефіцієнтів зйому вантажних поїздів пасажирськими при постійній швидкості вантажних поїздів та змінній швидкості пасажирських поїздів з 90 до 200 км/год.



Рисунок 4.1 – Загальна діаграма зміни коефіцієнтів зйому вантажних поїздів пасажирськими при постійній швидкості руху вантажних поїздів 60 км/год та змінній швидкості руху пасажирських поїздів

Проведені дослідження параметрів коефіцієнту зйому вантажних поїздів довели, що при не пакетному проложенні пасажирських поїздів його чисельна характеристика залежить від співвідношення швидкості руху вантажного і пасажирського поїзда та станційних інтервалів при обгонах та схрещеннях на станціях. Різке збільшення значень коефіцієнтів зйому вантажних поїздів при швидкості 110 -120 км/год та 160 – 170 км/год викликано збільшенням станційних інтервалів перед проходженням прискореним та швидкісним пасажирським поїздом станції з обгоном. Для швидкості руху пасажирських поїздів від

110 до 160 км/год станційний інтервал по прибуттю складає 20 хв., при швидкості руху пасажирських поїздів від 160 до 200 км/год станційний інтервал по прибуттю складає 30 хв.

В Додатку Г проведені дослідження залежності коефіцієнтів зйому вантажних поїздів пасажирськими в залежності від довжини блок ділянок, яка змінюється від 1,0 до 2,6 км. при постійній швидкості вантажних поїздів 60 км/год.

На рисунку 4.2 наведено діаграму зміни коефіцієнтів зйому вантажних поїздів пасажирськими в залежності від довжини блок-ділянок при постійній швидкості вантажного поїзда 60 км/год та швидкості пасажирських поїздів від 60 до 110 км/год.

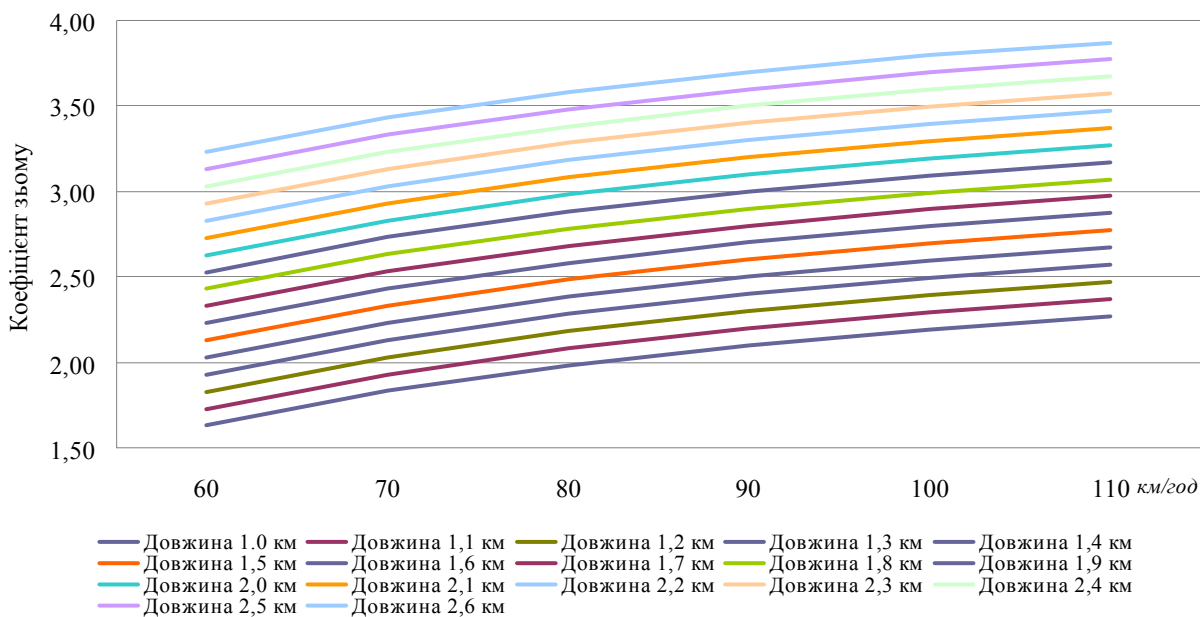


Рисунок 4.2 - Діаграма зміни коефіцієнтів зйому вантажних поїздів пасажирськими в залежності від довжини блок-ділянки при постійній швидкості вантажних поїздів 60 км/год та швидкості руху пасажирських поїздів від 60 до 120 км/год.

Апроксимацію коефіцієнту зйому при швидкості руху вантажних поїздів 60 км/год та звичайній швидкості руху пасажирських поїздів наведено на рисунку 4.3.

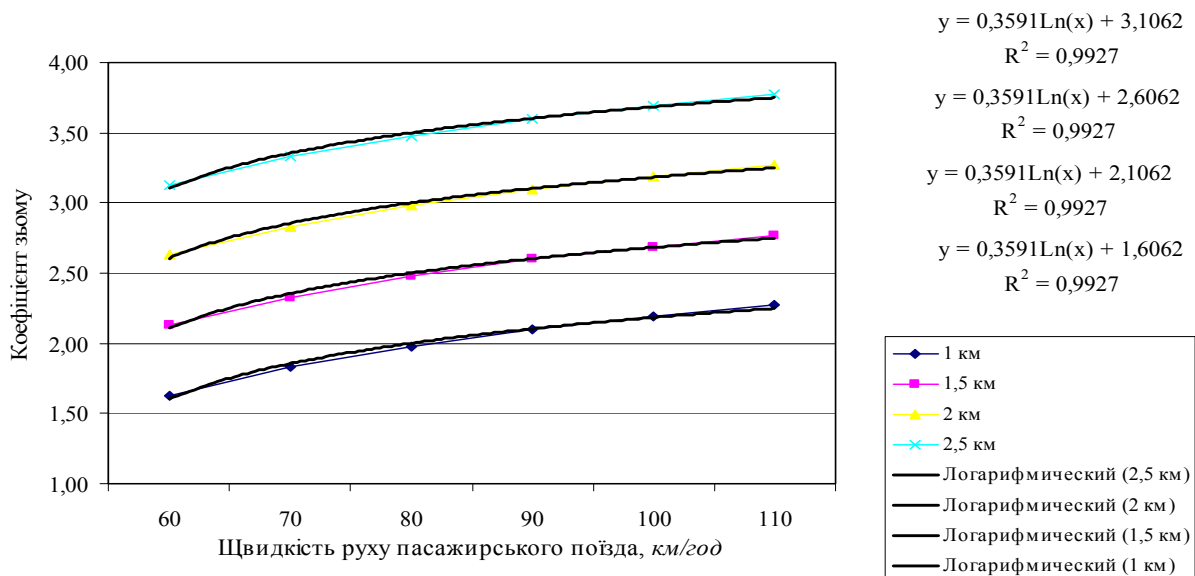


Рисунок 4.3 – Апроксимація коефіцієнту зйому при швидкості руху вантажних поїздів 60 км/год та звичайній швидкості руху пасажирських поїздів

Проведеними дослідженнями з використанням регресивного аналізу встановлено, що коефіцієнт зйому вантажних поїздів пасажирськими для швидкості до 120 км/год (при  $V_{\text{ван}} = 60$  км / год.) можливо розраховувати за формулою

$$\varepsilon_{\text{пас}} = 0,3591\ln(V_{\text{пас}}) + l_{\text{б/д}} + \varepsilon_{\text{дод}} \quad (4.6)$$

де  $l_{\text{б/д}}$  – довжина блок-ділянки, км;

$V_{\text{пас}}$  – швидкість руху пасажирського поїзда, км/год, ( $V_{\text{ван}} = 60$  км / год)

$\varepsilon_{\text{дод}}$  – додатковий коефіцієнт зйому,  $\varepsilon_{\text{дод}} = 0,6$

На рисунку 4.4 наведено діаграму зміни коефіцієнтів зйому вантажних поїздів пасажирськими в залежності від довжини блок-ділянок при постійній швидкості вантажного поїзда 60 км/год та швидкості пасажирських поїздів від 120 до 160 км/год.

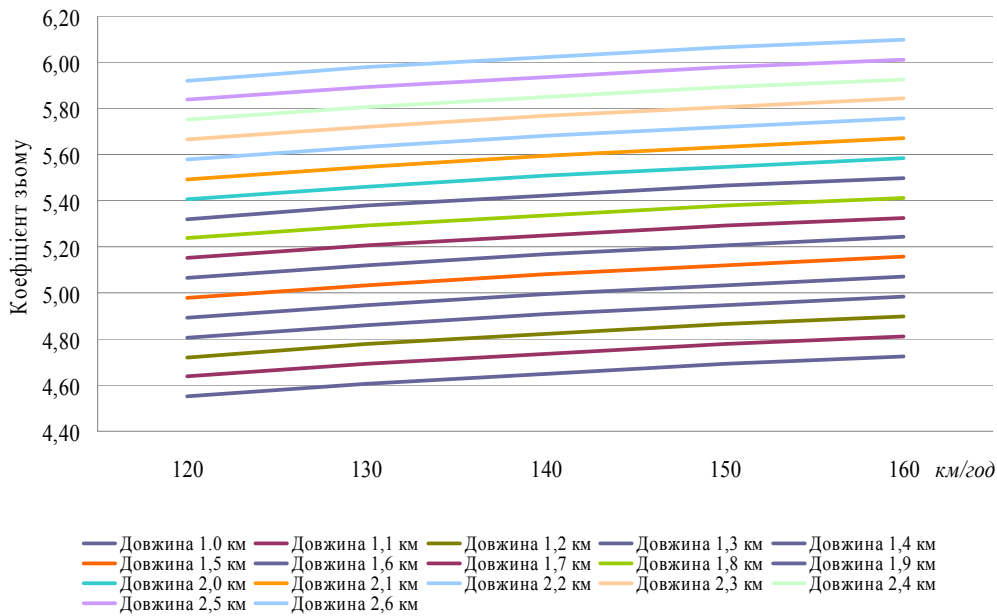


Рисунок 4.4 - Діаграма коефіцієнтів зйому вантажних поїздів пасажирськими в залежності від довжини блок-ділянки при постійній швидкості вантажних поїздів 60 км/год. та швидкості руху пасажирських поїздів від 120 до 160 км/год.

При прискореному русі пасажирських поїздів (від 120 до 160 км/год) та швидкості руху вантажних поїздів 60 км/год і довжині блок-ділянок від 1,0 до 2,6 км та трьох секційному автоблокуванні і довжини міжстанційного перегону 10 км коефіцієнт зйому має коливання від 4,5 до 6,1.

Апроксимацію коефіцієнту зйому при швидкості руху вантажних поїздів 60 км/год та швидкості руху пасажирських поїздів від 120 до 160 км/год наведено на рисунку 4.3.

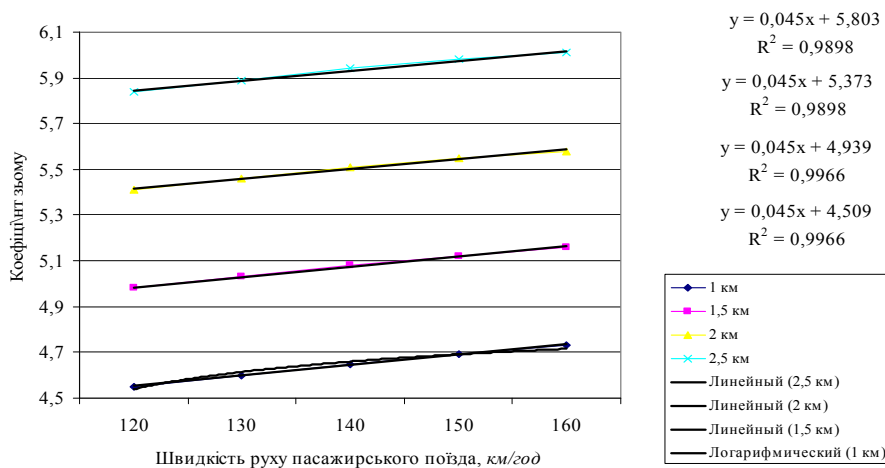


Рисунок 4.4 – Апроксимація коефіцієнту зйому при швидкості руху вантажних поїздів 60 км/год та швидкості руху пасажирських поїздів від 120 до 160 км/год

Проведеними дослідженнями з використанням регресивного аналізу встановлено, що коефіцієнт зйому вантажних поїздів пасажирськими для прискореного руху можливо розраховувати за формулою

$$\varepsilon_{\text{пас}} = 0,045 \cdot V_{\text{пас}} + l_{\text{б/д}} + \varepsilon_{\text{дод}} \quad (4.7)$$

де  $\varepsilon_{\text{дод}}$  – додатковий коефіцієнт зйому,  $\varepsilon_{\text{дод}} = 3,4$

На рисунку 4.5 наведено діаграму зміни коефіцієнтів зйому вантажних поїздів пасажирськими в залежності від довжини блок-ділянок при постійній швидкості вантажного поїзда 60 км/год та швидкості пасажирських поїздів від 170 до 200 км/год.

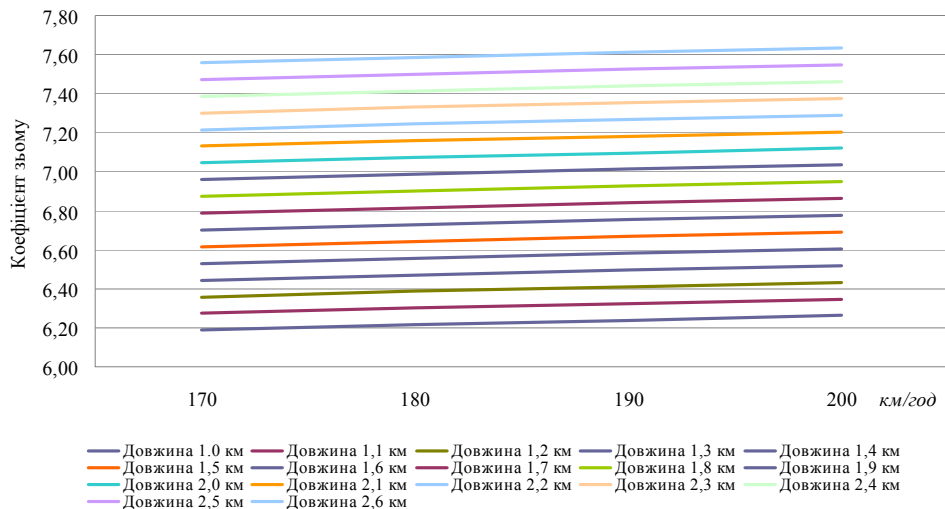


Рисунок 4.5 - Діаграма коефіцієнтів зйому вантажних поїздів пасажирськими в залежності від довжини блок-ділянки при постійній швидкості вантажних поїздів 60 км/год та швидкості руху пасажирських поїздів від 170 до 200 км/год.

При швидкісному русі пасажирських поїздів (170 до 200 км/год) і швидкості руху вантажних поїздів 60 км/год та довжині блок-ділянок від 1,0 до 2,6 км при трьох секційному автоблокуванні і довжині міжстанційного перегону 10 км коефіцієнт зйому має коливання від 6,15 до 7,65.

Апроксимацію коефіцієнту зйому при швидкості руху вантажних поїздів 60 км/год та швидкості руху пасажирських поїздів від 120 до 160 км/год наведено на рисунку 4.6.

Проведеними дослідженнями з використанням регресивного аналізу встановлено, що коефіцієнт зйому вантажних поїздів пасажирськими для прискореного руху можливо розраховувати за формулою

$$\varepsilon_{\text{пас}} = 0,024 \cdot V_{\text{пас}} + l_{\text{б/д}} + \varepsilon_{\text{дод}} \quad (4.8)$$

де  $\varepsilon_{\text{дод}}$  – додатковий коефіцієнт зйому,  $\varepsilon_{\text{дод}} = 5,2$

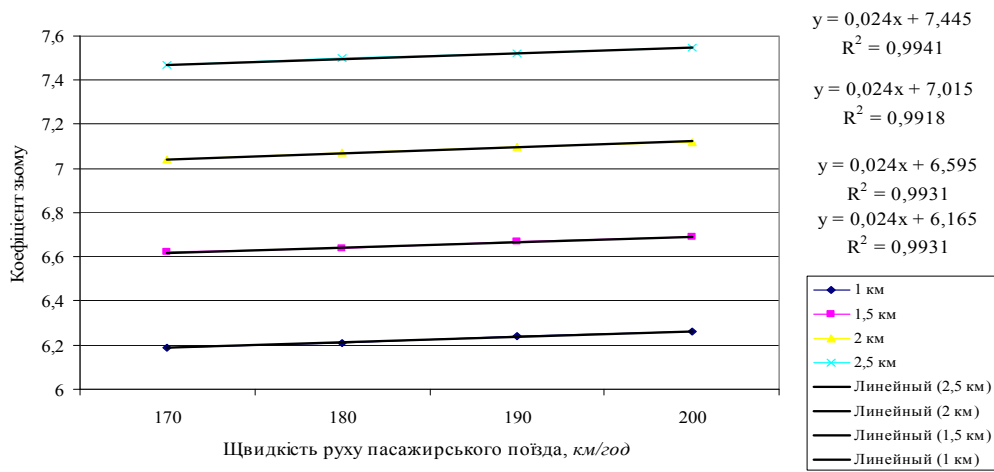


Рисунок 4.6 – Апроксимація коефіцієнту зйому при швидкості руху вантажних поїздів 60 км/год та швидкості руху пасажирських поїздів від 170 до 200 км/год

Наведені формули розрахунку коефіцієнтів зйому вантажних поїздів пасажирськими використані в дисертаційній роботі при розрахунках пропускної спроможності залізничних напрямків з паралельними ходами Знам'янка - Одеса.

Необхідно відмітити, що апроксимація коефіцієнту зйому при швидкостях вантажного поїзда 60 км/год та пасажирського поїзда від 60 до 110 км/год розраховується за логарифмічним законом розподілення, а при прискореному та швидкісному русі пасажирських поїздів – за лінійною формулою.

**4.2 Дослідження технічної, маршрутної, дільничної швидкості руху поїздів та фактичного перегінного часу ходу вантажних поїздів по паралельним ходам напрямку Знам'янка - Одеса**

За даними виконаних графіків руху поїздів у 2011 році по основному та паралельному напрямкам Знам'янка – Одеса здійснений аналіз технічної, маршрутної та дільничної швидкості руху поїздів.

В таблиці 4.1 наведено аналіз за 2011 рік швидкості руху вантажних і пасажирських поїздів на напрямку Знам'янка – Одеса по основному та паралельному ходам.

Таблиця 4.1 - Технічна, маршрутна і дільнична швидкість на напрямку Знам'янка – Одеса

Найменування дільниці	Пасажирські поїзда		Вантажні поїзда		
	$V_m, км/год$	$V_{м}, км/год$	$V_m, км/год$	$V_о, км/год$	$\beta_о$
Знам'янка – Помічна – Колосівка - Одеса					
Знам'янка - Помічна	-	-	86,6	56,9	0,66
Помічна - Колосівка	-	-	82,4	54,2	0,65

Колосівка – Одеса-Сор.	-	-	90,02	84,3	0,94
Разом по напрямку	105,07	102,14	-	-	-
Знам'янка – Помічна – Котовськ – Роздільна - Одеса					
Знам'янка - Помічна	108,42	105,32	86,6	56,9	0,66
Помічна - Котовськ	92,84	89,66	84,4	53,6	0,64
Котовськ - Роздільна	111,62	107,58	88,2	83,8	0,95
Роздільна – Одеса-Заст.	109,18	106,04	90,6	85,8	0,95

Аналіз реалізації середньої швидкості руху вантажних поїздів непарного основного напрямку перевезень за 2011 рік наведено на рисунку 4.7.

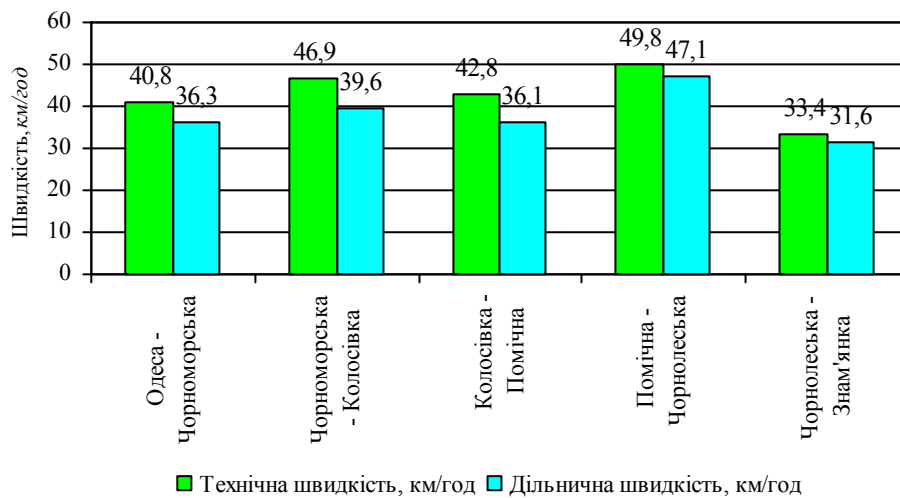


Рисунок 4.7 – Аналіз швидкості руху вантажних поїздів по ділянках непарного основного напрямку

Аналіз реалізації середньої швидкості руху вантажних поїздів парного основного напрямку за 2011 рік на рисунку 4.8.

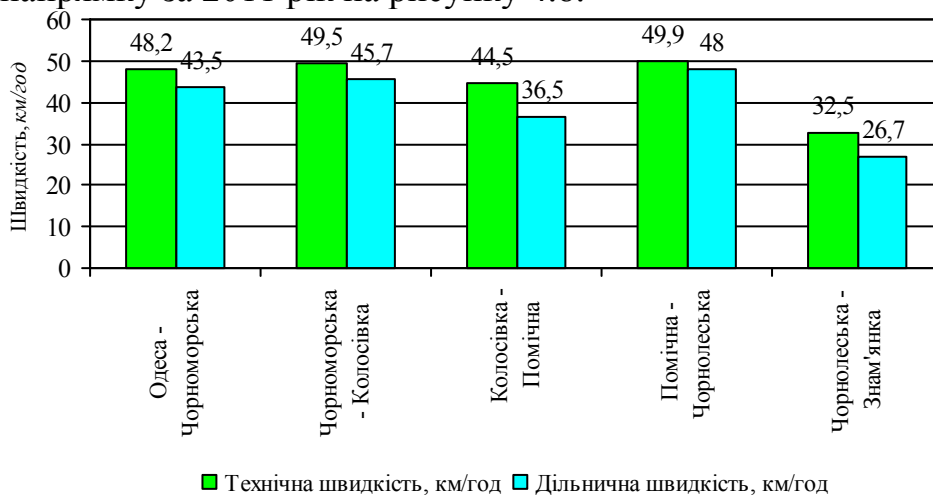


Рисунок 4.8 – Аналіз швидкості руху вантажних поїздів по ділянках парного основного напрямку

В непарному основному напрямку Знам'янка – Помічна – Клосівка – Одеса найменша технічна швидкість на ділянці Чорноліська – Знам'янка складає 33,4 км/год, а дільнична швидкість – 31,6 км/год, найбільша технічна швидкість на ділянці Помічна – Чорноліська складає 49,8 км/год, а дільнична швидкість – 47,1 км/год.

В парному основному напрямку Знам'янка – Помічна – Клосівка – Одеса найменша технічна швидкість на ділянці Чорноліська – Знам'янка складає 32,5 км/год, а дільнична швидкість – 26,7 км/год, найбільша технічна швидкість на ділянці Помічна – Чорноліська складає 49,9 км/год, а дільнична швидкість – 48,0 км/год.

Аналіз реалізації середньої швидкості руху вантажних поїздів непарного паралельного напрямку за 2011 рік наведено на рисунку 4.9.

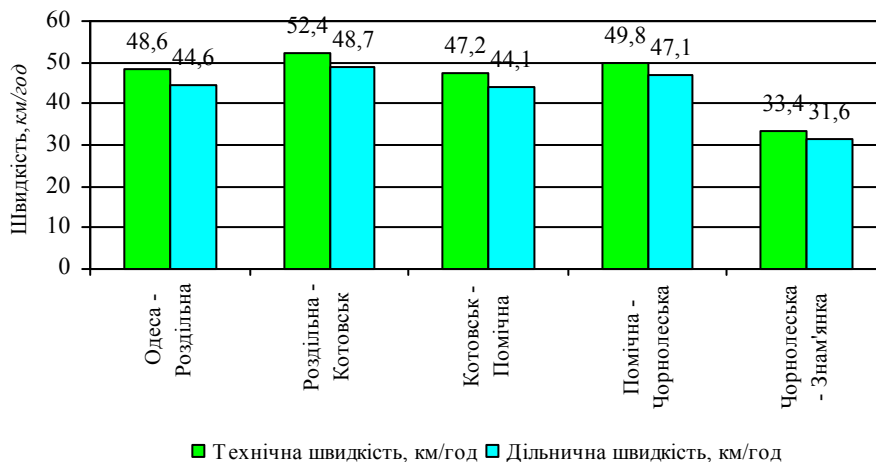


Рисунок 4.9 – Аналіз швидкості руху вантажних поїздів по ділянках непарного паралельного напрямку

Аналіз реалізації середньої швидкості руху вантажних поїздів парного паралельного напрямку за 2011 рік наведено на рисунку 4.10.

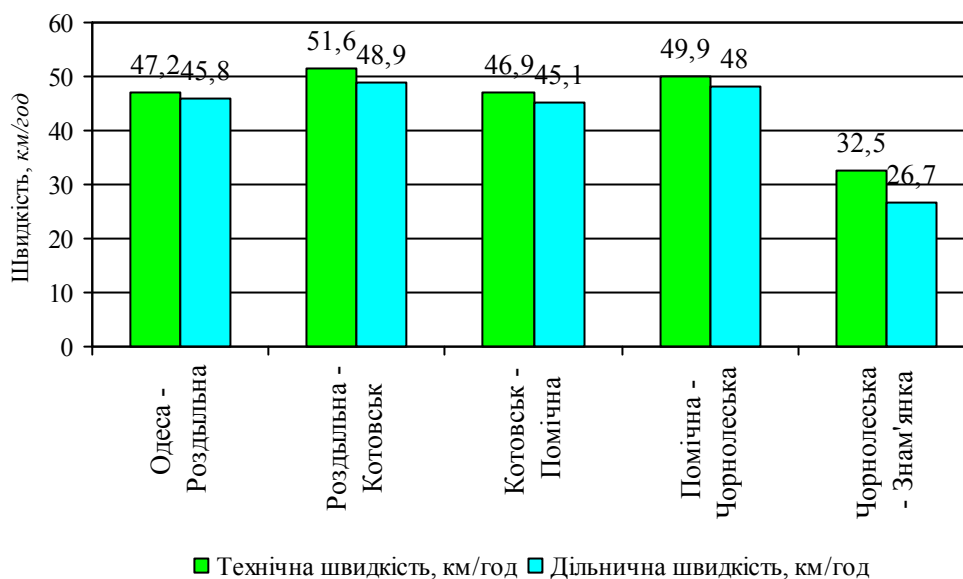


Рисунок 4.10 – Аналіз швидкості руху вантажних поїздів по ділянках парного паралельного напрямку



В непарному паралельному напрямку Знам'янка – Помічна – Котовськ - Роздільна – Одеса найменша технічна швидкість на ділянці Чорноліська – Знам'янка складає 33,4 км/год, а дільнична швидкість – 31,6 км/год, найбільша технічна швидкість на ділянці Помічна – Чорнолеська складає 49,8 км/год, а дільнична швидкість – 47,1 км/год.

В парному паралельному напрямку Знам'янка – Помічна – Котовськ - Роздільна – Одеса найменша технічна швидкість на ділянці Чорноліська – Знам'янка складає 32,5 км/год, а дільнична швидкість – 26,7 км/год, найбільша технічна швидкість на ділянці Помічна – Чорнолеська складає 49,9 км/год, а дільнична швидкість – 48,0 км/год.

На одноколінійній ділянці з двохколійними вставками Помічна – Котовськ у непарному та парному напрямках коефіцієнт дільничної швидкості складає 0,94, що вказує на те, що ділянка має резерв пропускної спроможності. Розглянуті вище дослідження наведені [8].

Виходячи з того, що одночасно реалізувати заходи щодо збільшення пропускної спроможності на напрямку Знам'янка - Одеса неможливо, необхідно оптимізувати поетапне збільшення пропускної спроможності залізничної дільниці на основі економіко-математичної моделі розвитку технічного оснащення і освоєння зростаючих в перспективі обсягів перевезень.

Вихідні данні для дослідження фактичного часу ходу вантажних поїздів на напрямку Помічна – Колосівка отримані з АСК ВП УЗ. В дисертаційній роботі проведені дослідження залежності фактичного та графікового часу ходу вантажних поїздів по перегонах напрямку Помічна – Колосівка, які наведені в Додатку Д. Результати обробки отриманих статистичних матеріалів представлені у таблиці 4.2 та у вигляді гістограм розподілення понаднормативного часу ходу вантажних поїздів ( $\Delta t_{\text{ход}}^{\text{факт}}$ ) по всім перегонам ділянок в парному та непарному напрямках (рисунок Д.1 – Д.24). В реальних умовах фактична дільнична швидкість руху вантажних поїздів може змінюватися як в більшу, так і в меншу сторони по відношенню к показникам, закладеним в нормативний графік руху поїздів на напрямку.

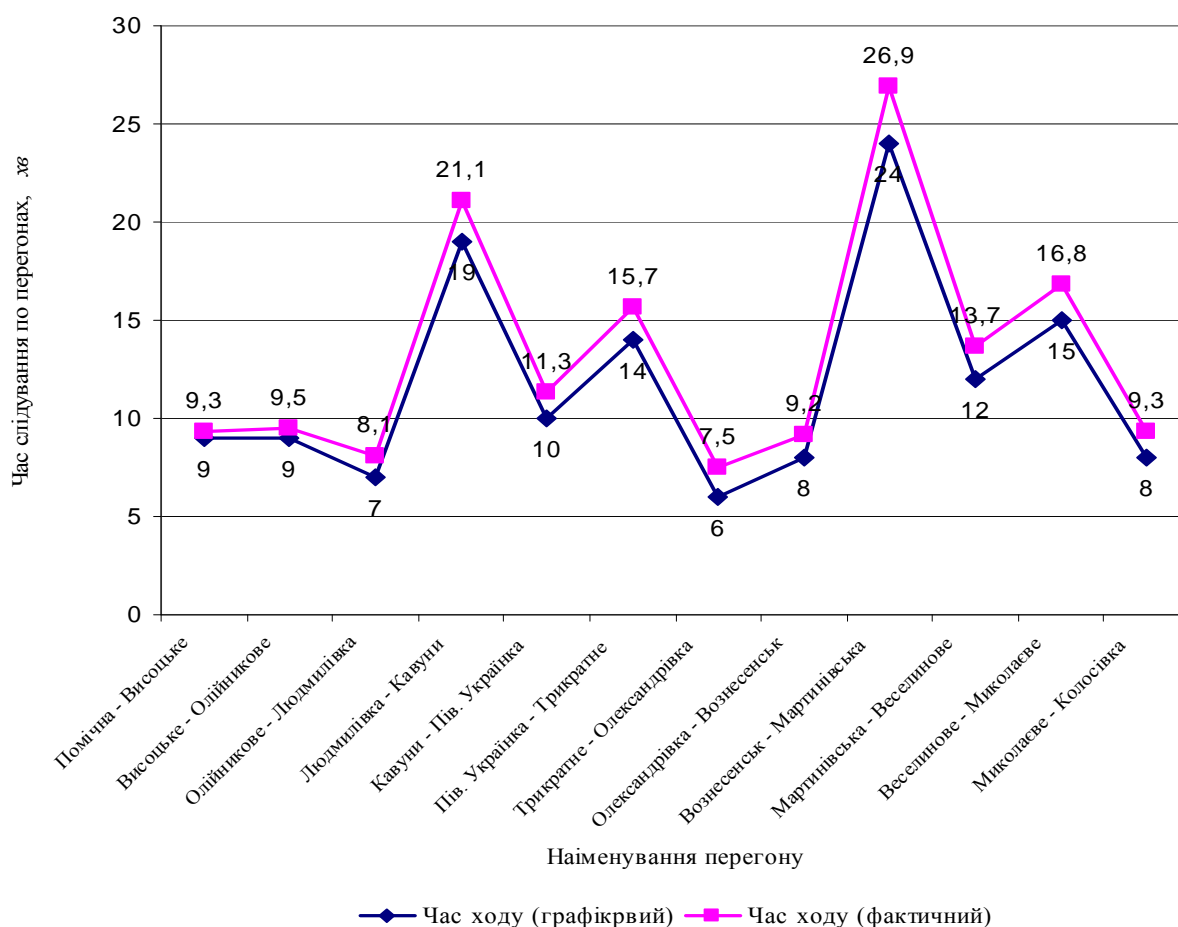
Таблиця 4.2 - Аналіз фактичного перегінного часу ходу вантажних поїздів на ділянці Помічна - Колосівка

№ п/п	Перегін	Напрямок	$t_{\text{ход}}^{\text{норм}}$ , хв.	Кількість поїздів	$t_{\text{ход}}^{\text{норм}} + M[t_{\text{ход}}^{\text{факт}}]$ , хв.	$M[\Delta t_{\text{ход}}^{\text{факт}}]$ , “+/-”, хв.	Дисперсія, $хв^2$ .	Середнє квадратичне відхилення, хв.
1	Помічна –	непарний	9	202	9,3	0,32	1,94	1,39
	Висоцьке	парний	12	141	11,9	-0,11	2,52	1,59
2	Висоцьке –	непарний	9	194	9,5	0,48	2,72	1,65
	Олійникове (1 колія)	парний	11	179	11,7	0,72	2,75	1,65
3	Олійникове -	непарний	7	201	8,1	1,09	2,55	1,50
	Людмилівка	парний	8	176	8,8	0,81	2,22	1,49
4	Людмилівка –	непарний	19	228	21,1	2,10	7,13	2,67
	Кавуни	парний	22	215	24,1	2,09	6,94	2,93
5	Кавуни –	непарний	10	194	11,3	1,32	2,60	1,61
	Пів. Українка	парний	14	219	15,5	1,53	3,23	1,80
6	Пів. Українка –	непарний	14	286	15,7	1,74	2,79	1,57
	Трикратне (1 колія)	парний	16	254	17,6	1,61	3,07	1,75
7	Трикратне –	непарний	6	190	7,5	1,45	1,77	1,33
	Олександрівка (1 колія)	парний	6	147	7,1	1,11	1,89	1,38
8	Олександрівка –	непарний	8	159	9,2	1,23	1,90	1,38
	Вознесенськ	парний	9	210	10,2	1,22	1,85	1,36
9	Вознесенськ – (1 колія)	непарний	24	322	26,9	2,88	8,36	2,89
	Мартинівська	парний	29	337	31,5	2,53	9,90	3,15
10	Мартинівська –	непарний	12	244	13,7	1,72	2,55	1,59
	Веселинове	парний	14	222	16,0	1,95	3,53	1,88
11	Веселинове –	непарний	15	230	16,8	1,79	3,19	1,78
	Миколаєве	парний	16	200	17,5	1,54	2,51	1,58
12	Миколаєве –	непарний	8	247	9,3	1,25	1,53	1,24
	Колосівка	парний	10	283	11,8	1,77	2,52	1,59
	Разом		12,8	5280	14,3	1,43	3,42	1,78

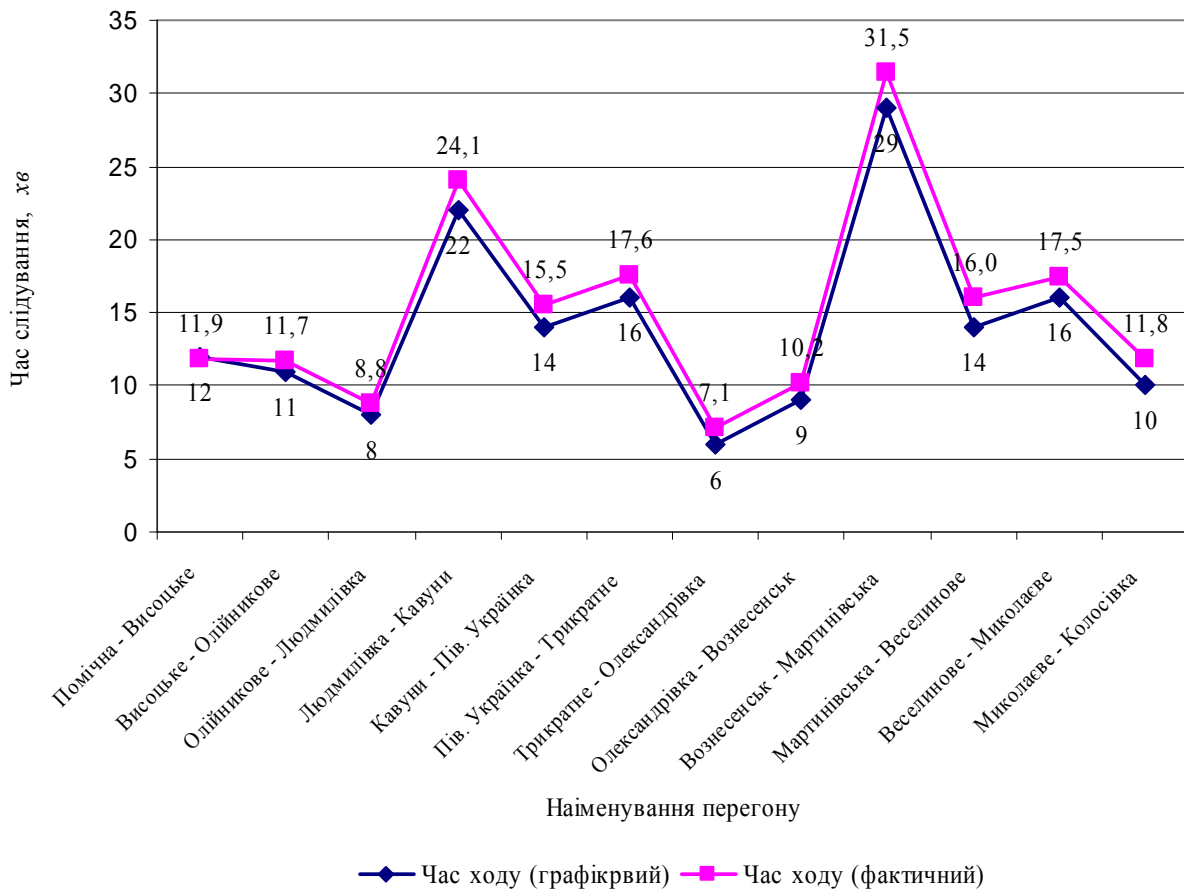
Відповідно проведеному дослідженню математичне очікування відхилення випадкової величини  $V_{\text{діл}}^{\text{факт}}$  від нормативу складає  $3,96 \text{ км/год}$ , а середньоквадратичне відхилення –  $9,16 \text{ км/год}$ .

Основними причинами коливання фактичного значення дільничної швидкості руху вантажних поїздів є відправлення на ділянку не за графіком руху та невиконання перегінного часу ходу. На дослідженому напрямку Помічна – Колосівка математичне очікування відхилення випадкової величини  $M[t_{\text{ход}}^{\text{факт}}]$  від нормативного значення складає  $1,43 \text{ хв.}$ , середньоквадратичне відхилення –  $\sigma[t_{\text{ход}}^{\text{факт}}] 1,78 \text{ хв.}$

За даними таблиці 4.2 проведено дослідження часу слідування непарних та парних вантажних поїздів по міжстанційним перегонам ділянки Помічна – Колосівка, які відповідно наведені на рисунках 4.11 та 4.12.



Рисунку 4.11 - Час слідування непарних вантажних поїздів по міжстанційних перегонах ділянки Помічна – Колосівка

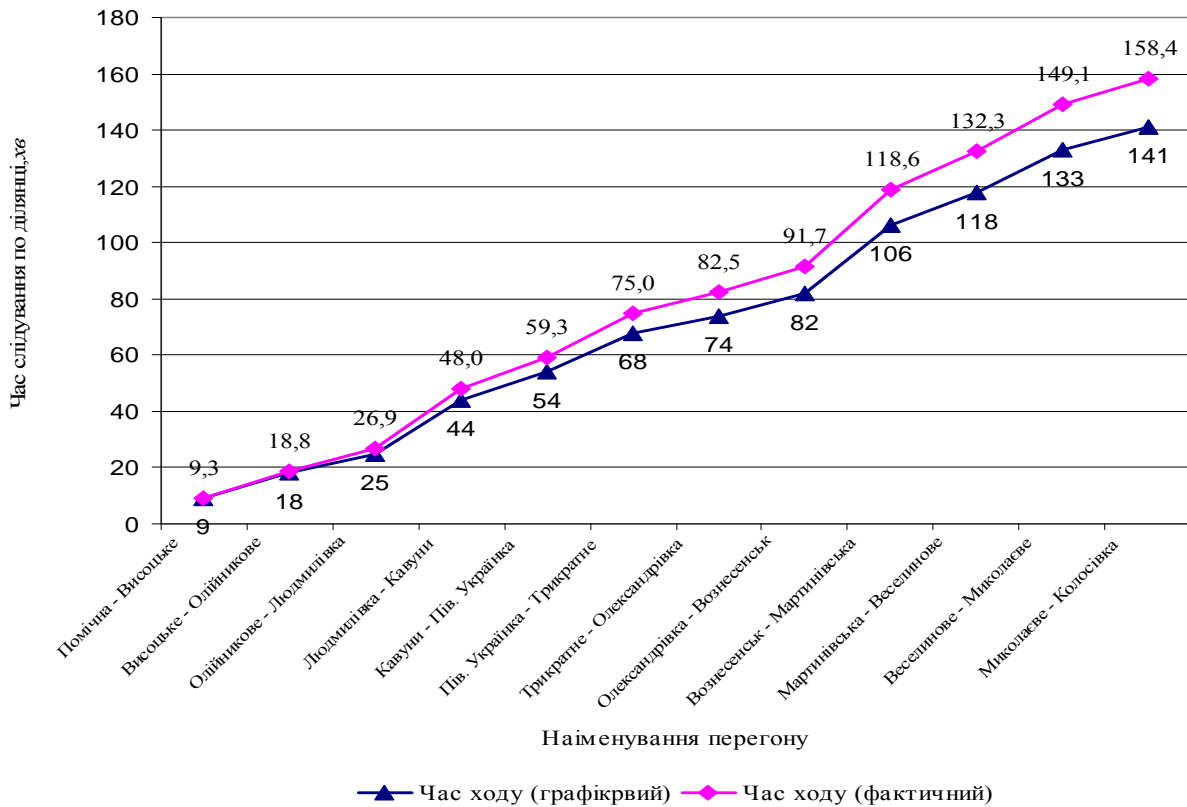


Рисунку 4.12 - Час слідування парних вантажних поїздів по міжстанційних перегонах ділянки Помічна – Колосівка

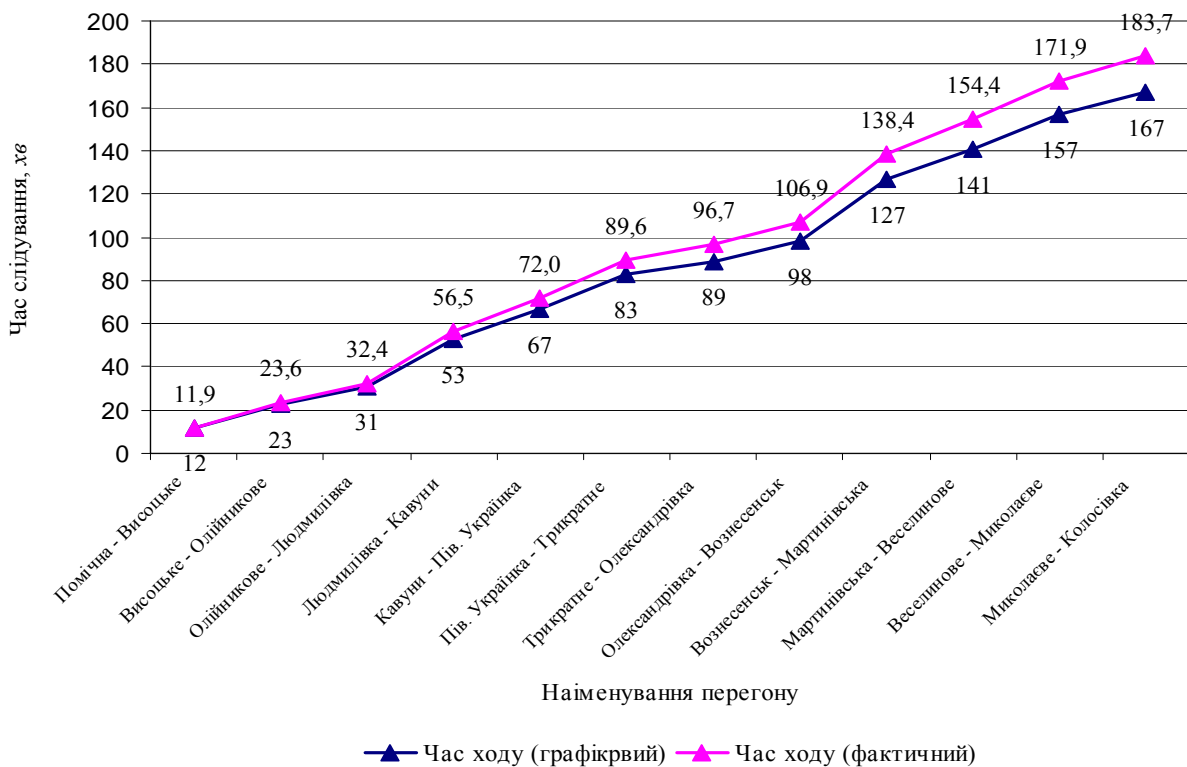
В непарному напрямку на всіх ділянках час слідування вантажних поїздів по міжстанційних перегонах більший, ніж час слідування по перегонах, закладений в графік руху поїздів.

В парному напрямку на всіх ділянках час слідування вантажних поїздів по міжстанційних перегонах більший, ніж час слідування по перегонах, закладений в графік руху поїздів за винятком міжстанційного перегону Помічна – Висоцьке, що обумовлюється відправленням з технічної станції.

За даними таблиці 4.2 проведено дослідження поступового накопичення часу слідування непарних та парних вантажних поїздів по міжстанційним перегонам ділянки Помічна – Колосівка, які відповідно наведені на рисунках 4.13 та 4.14.



Рисунку 4.13 – Поступове накопичення часу слідування непарних вантажних поїздів по міжстанційних перегонах ділянки Помічна – Колосівка



Рисунку 4.14 – Поступове накопичення часу слідування парних вантажних поїздів по міжстанційних перегонах ділянки Помічна – Колосівка

Фактичний час доставки вантажів залізничним транспортом суттєво відрізняється від технологічного часу доставки (часу розрахованого у відповідно-

сті з діючими нормативами організації руху вантажних поїздів). В непарному напрямку математичне очікування фактичного часу ходу вантажних поїздів в порівнянні з графіковим на напрямку Помічна – Колосівка складає 17,4 хв., в парному напрямку – 16,7 хв. Спізнення вантажних поїздів по відношенню до графіку викликано наявністю штучних споруд (чотири мостових переходи), по яких існує обмеження швидкості руху вантажних поїздів від 20 до 40 км/год.

Фактичний час руху по відношенню до графікового на напрямку Помічна – Колосівка має коливання до 12 % по відношенню до математичного очікування.

Удосконаленню організації процесів і технології перевезень в залізничній транспортній системі з метою прискорення доставки вантажів на основі системного підходу до вибору найважливіших параметрів та створення економіко-математичних моделей для їх оптимізації наведено [129]. В роботі застосовано методику техніко-економічного обґрунтування оптимальної норми маси состава вантажних поїздів залежно від умов організації їх руху та запропоновано методику технолого-економічного обґрунтування оптимального співвідношення маси та швидкості вантажних поїздів.

#### **4.3 Дослідження пропускної спроможності залізничного напрямку з паралельним ходам Знам'янка - Одеса**

Дослідження пропускної спроможності залізничного напрямку використовується для обмеження розмірів руху по ділянках при моделюванні роботи та розподіленні поїзної роботи між основним і паралельним напрямками.

Розрахунок пропускної спроможності виконується по кожному перегону, а результуючої пропускної спроможності ділянки - по обмежуючому перегону.

На основному напрямку залізничних перевезень Знам'янка – Помічна – Колосівка – Одеса самою вантажонапруженою дільницею є Помічна – Колосівка, на якій знаходяться 4 одноколійні вставки, обладнані двостороннім автоблокуванням.

На паралельному напрямку залізничних перевезень Знам'янка – Помічна – Котовськ - Роздільна – Одеса самою вантажонапруженою дільницею є Помічна – Котовськ, на якій знаходяться 5 одноколійних вставок, обладнані двостороннім автоблокуванням.

Максимально можлива кількість вантажних поїздів, яка може бути пропущена по ділянці за добу при непаралельному графіку руху, визначається за методикою, наведеною [66].

Збірні поїзда по одноколійних ділянках з двохколійними вставками не обертаються. Розвезення місцевого вантажу здійснюється з використанням диспетчерських локомотивів.

Необхідно відзначити паралельність графіка руху поїздів на ділянці Помічна – Котовськ (2 пари пасажирських поїздів).

На ділянці Помічна – Колосівка використовується непаралельний графік руху поїздів, при якому обертаються 17 пар пасажирських поїздів з яких 2 пари є прискореними зі швидкістю до 160 км/год.

На залізничному напрямку з паралельними ходами Знам'янка – Одеса використовується пакетний графік пропуску вантажних поїздів по обмежуючим перегонам і пачечна прокладка пасажирських поїздів.

Пропускна спроможність перегонів на одноколійних ділянках, що мають роздільні пункти подовжнього типу або двоколійні вставки, що дозволяють робити безупинні схрещення поїздів. Безупинне схрещення поїздів може виконуватися на двоколійних вставках і станційних коліях.

За наявності на ділянці декілька двоколійних перегонів, пропускна спроможність одноколійного перегону, що безпосередньо примикає до двоколійного, розраховується з умови забезпечення безупинного схрещення поїздів.

Безупинне схрещення вантажних з прискореними пасажирськими поїздами забороняється.

З урахуванням вищенаведеного, наявну пропускну спроможність напрямку наведено в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Наявна пропускна спроможність ділянок напрямку Знам'янка – Одеса при використанні пакетного графіку руху поїздів на обмежуючих перегонах

Найменування перегону	Період графіка, $T_{гр}^{max}$ , хв	Існуюча пропускна спроможність, $N_{б.с.}$ , поїздів	Розміри руху пасажирських поїздів $N^{пас}$	Коефіцієнт зйому пасажирськими поїздами, $\epsilon^{пас}$	Наявна пропускна спроможність для вантажного руху, $N^{нал}$
<b>Ділянка Помічна – Колосівка</b>					
Трикатне – Олександрівка	41	67,3	15/2	1,53/4,78	45,1
Вознесенськ – пост 1141 км	42	65,7	15/2	1,53/4,78	39,8
Висоцьке – Олійникові	42	65,7	15/2	1,53/4,78	39,8
Трикатне – пост 1113 км	37	74,6	15/2	1,53/4,78	50,5
<b>Ділянка Помічна – Котовськ</b>					
Кінцель – Первомайськ	48	57,5	2	2,06	55,3
Врадіївка – Любашівка	47	58,7	2	2,06	56,3
Любашівка – Заплази	46	62,6	2	2,06	60,6
Жеребкове – Балта	40	69,0	2	2,06	66,7
Балта – Обхідна	42	65,7	2	2,06	63,6

Примітка. В графах «розмірах руху пасажирських поїздів» та «коефіцієнт зйому пасажирськими поїздами» в чисельнику - пасажирські, в знаменнику – пасажирські прискорені.

За даними таблиці 4.3 можливо зробити висновок про необхідність підсилення пропускної спроможності ділянки Помічна – Колосівка основного напрямку. Наявна пропускна спроможність для вантажного руху складає 39,8 пар

поїздів на добу. Потрібна пропускна спроможність для вантажного руху складає в парному напрямку 38 пар поїздів на добу. Коефіцієнт завантаження ділянки вантажним рухом складає 96 %, що вказує на неможливе подальше використання ділянки без перерозподілу вантажного руху між паралельними ходами. Наявна пропускна спроможність паралельного напрямку Помічна – Котовськ задовольняє існуючим розмірам руху вантажних поїздів та має завантаження 36 %.

#### 4.4 Висновки

Проведеними дослідженнями встановлено, що при прискореному русі пасажирських поїздів (120 до 160 км/год), постійній швидкості руху вантажних поїздів 60 км/год, довжині блок-ділянок від 1,0 до 2,6 км і трьох секційному автоблокуванні коефіцієнт зйому вантажних поїздів пасажирськими має коливання від 4,5 до 6,1.

При швидкісному русі пасажирських поїздів (170 до 200 км/год), постійній швидкістю руху вантажних поїздів 60 км/год, довжині блок-ділянок від 1,0 до 2,6 км і трьох секційному автоблокуванні коефіцієнт зйому вантажних поїздів пасажирськими має коливання від 6,15 до 7,65.

Проведеними дослідженнями з використанням регресивного аналізу встановлено, що апроксимація коефіцієнту зйому при швидкостях вантажного поїзда 60 км/год та пасажирського поїзда від 60 до 110 км/год розраховується за логарифмічним законом розподілення, а при прискореному та швидкісному русі пасажирських поїздів – за лінійною залежністю.

Фактичний час доставки вантажів залізничним транспортом суттєво відрізняється від технологічного часу доставки (часу розрахованого у відповідності з діючими нормативами організації руху вантажних поїздів). Коефіцієнт завантаження ділянки вантажним рухом основного напрямку складає 96 %.

В реальних умовах фактична дільнична швидкість руху вантажних поїздів може змінюватися як в більшу, так і в меншу сторони по відношенню до показників, закладених в нормативний графік руху поїздів на напрямку. Відповідно проведеному дослідженню математичне очікування відхилення випадкової величини  $V_{\text{діл}}^{\text{факт}}$  від нормативу складає 3,96 км/год, а середньоквадратичне відхилення – 9,16 км/год.

Основними причинами коливання фактичного значення дільничної швидкості руху вантажних поїздів є відправлення на ділянку не за графіком руху та невиконання перегінного часу ходу. На дослідженому напрямку Помічна – Колосівка математичне очікування відхилення випадкової величини  $M[t_{\text{ход}}^{\text{факт}}]$  від нормативного значення складає 1,43 хв., середньоквадратичне відхилення –  $\sigma[t_{\text{ход}}^{\text{факт}}]$  1,78 хв.

Наявна пропускна спроможність для вантажного руху складає 39,8 пар поїздів на добу. Потрібна пропускна спроможність для вантажного руху складає в парному напрямку 38 пар поїздів на добу.

Наявна пропускна спроможність паралельного напрямку Помічна – Котовськ задовольняє існуючим розмірам руху вантажних поїздів та має завантаження 36 %.



## РОЗДІЛ 5

### ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОПУСКУ ПОЇЗДІВ ПО ЗАЛІЗНИЧНОМУ НАПРЯМКУ З ПАРАЛЕЛЬНИМИ ХОДАМИ ЗНАМ'ЯНКА – ОДЕСА

#### 5.1 Економіко-математичне моделювання розподілу поїздопотоків між паралельними ходами на залізничному напрямку Знам'янка – Одеса

Економіко-математичне моделювання перевезень вантажів є головним складовим важелем вдосконалення експлуатаційної роботи і засновано на якісному інформаційному забезпеченні її управління на базі автоматизації перевізного процесу. Моделювання управління вантажними перевезеннями базується на розцінці всіх ділянок залізниць за показниками різних складових собівартості, що дає можливість в автоматичному режимі отримувати інформацію про витрати і доходи як на окремих напрямках, так і на всій ділянці слідування поїздопотоків.

Вже на цей час на окремих залізничних напрямках української мережі, особливо по напрямках до чорноморських морських портів, відчувається дефіцит пропускної спроможності, який можливо ліквідувати за рахунок підвищення технічного оснащення, удосконалення технології пропуску поїздопотоків та розподілу їх між паралельними ходами.

Методика визначення собівартості вантажних перевезень є вихідною базою подальших розрахунків показників ефективності. Її автоматизація дає можливість оперативно оцінювати результати використання методів експлуатаційної роботи з метою підвищення ефективності всього перевізного процесу. Для формування моделі процесу управління вантажними перевезеннями необхідно встановити економіко-математичні складові, що враховують особливості експлуатаційної діяльності [7].

Для вирішення задачі розподілу поїздопотоків між паралельними ходами залізничного напрямку в оперативних умовах використані лінійні моделі і методи лінійного програмування. Вживання цих методів як обов'язкову передумову вимагає, щоб питома вартість перевезень на ланці мережі була постійною і не залежала від розмірів вагонопотоків і поїздопотоків.

При незмінному технічному стані елементів інфраструктури одноколіїсної мережі з двохколійними вставками, додаткові витрати на перевезення кожного подальшого поїзда зазвичай зростають, що пов'язано з збільшенням схрещень та обгонів поїздів між собою, та збільшує кількість розгонів та гальмувань поїздів.

Сформована таким чином розширена мережа, яка включає як дійсні ланки, по яких безпосередньо здійснюються перевезення, так і додаткові ланки - функції витрат на перевезення, які представляють собою відповідні залежності витрат на переробку поїздопотоків у вузлах. При економіко-математичному моделюванні ця специфіка врахована наступним чином: функції витрат на перевезення вказані в самій схемі транспортної мережі, по ланках яких не допускається перевезення таких поїздопотоків (див. рис. 3.1 та табл. 3.1).

Всі вантажні поїздопотоки напрямку розділені на нерозподілювальні поїздопотоки – які остаються незмінними для усіх варіантів моделювання та розподілювальні – які можливо перерозподілювати у деяких розмірах між паралельними ходами залізничного напрямку. У якості нерозподілювальних поїздопотоків на даній мережі прийнято: Знам'янка – Берегова через Котовськ, Знам'янка – Миколаїв, Знам'янка – Херсон.

Обмеження транспортної мережі по наявній пропускній спроможності залізничного напрямку з паралельними ходами Знам'янка – Одеса є необхідною умовою для розподілу поїздопотоків між паралельними ходами з урахуванням перспективного розвитку портів Одеського регіону, які наведено в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Зрівняльний аналіз потрібної та наявної пропускної спроможності напрямку Знам'янка – Одеса по паралельним ходам

Найменування ділянки	Наявна пропускна спроможність, пар поїздів	Потрібна пропускна спроможність за роками, пар поїздів									
		2009	2010	2011	2012	2013 (проект)	2014 (проект)	2015 (проект)			
Знам'янка - Помічна	51,4	39,5	45,0	47,6	50,5	51,8	53,4	54,8			
Ділянка Помічна – Колосівка – Одеса –Сорт (нерозподільовальний поїздопотік)											
Помічна - Колосівка	39,8	16,3	20,1	22,3	25,1	25,9	26,7	27,4			
Колосівка – Одеса Сорт.	44,6	9,8	11,7	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8			
Ділянка Помічна – Колосівка – Одеса (розподільовальний поїздопотік)											
Помічна - Колосівка	39,8	23,2	24,9	25,3	25,4	25,9	26,7	27,4			
Колосівка – Одеса Сорт.	44,6	23,2	24,9	25,3	25,4	25,9	26,7	27,4			
Разом	39,8	39,5	45,0	47,6	50,5	51,8	53,4	54,8			
Ділянка Помічна – Котовськ – Роздільна – Одеса-Застава (нерозподільовальний поїздопотік)											
Помічна – Котвськ	55,3	5,2	6,6	6,7	6,9	7,0	7,1	7,2			
Котовськ – Роздільна	132,6	5,2	6,6	6,7	6,9	7,0	7,1	7,2			
Ділянка Помічна – Котовськ – Роздільна – Одеса-Застава (розподільовальний поїздопотік)											
Помічна – Котвськ	55,3	8,8	8,8	9,0	9,0	9,0	9,1	9,1			
Котовськ – Роздільна	132,6	8,8	8,8	9,0	9,0	9,0	9,1	9,1			
Разом	55,3	14,0	15,4	15,7	15,9	16,0	16,2	16,3			

При веденні розподілювальних транзитних поїздопотоків по основному напрямку Помічна – Колосівка – Одеса-Сортувальна призначенням на станції Ізмаїл, Рені, Білгород-Дністровський та Іллічівськ на станціях Помічна і Одеса-Сортувальна вантажний поїзд простоює 2 год. для зменшення маси до критичної норми. В цей час проходить зміна локомотива та локомотивної бригади. Час на здачу локомотива складає 1,25 год., час слідування поїзда між станціями Одеса-Сортувальна та Одеса-Застава складає 40 хв.

При моделюванні процесу розподілу поїздопотоків між паралельними ходами включені наступні витрати:

1. Витрати на механічну роботу по просуванню поїздопотоків в прямому та зворотному напрямках (3.38).

2. Витрати на механічну роботу по перевезенню порожніх поїздопотоків (3.43).

3. Витрати, пропорційні часу перевезення (3.49).

4. Витрати, пропорційні довжині пробігу поїздів (3.50).

5. Витрати, пропорційні об'єму вантажу, що перевозиться (3.52).

6. Додаткові витрати, пов'язані з простоем розподілювальних поїздопотоків на станції Одеса-Сортувальна.

7. Додаткові витрати, пов'язані з простоем розподілювальних поїздопотоків на станції Помічна.

Функціонал сумарних витрат на перевезення по паралельному напрямку всіх видів поїздопотоків -  $\hat{A}$ .

Економіко-математична модель представлена за формулою 3.2.

На дугах мережі заданий вектор нерозподілювального поїздопотоків  $X^H$ , завдяки якому модель набере вигляду 3.3.

В якості нерозподілювального поїздопотоків ( $X^H$ ) в моделі приймається

- для ділянки Помічна – Колосівка 22 поїзда призначенням в порти Херсон, Миколаїв та «Південий»;

- для ділянки Помічна – Котовськ 7 поїздів призначенням на залізниці Молдови.

В якості розподілювального поїздопотоків ( $X$ ) в моделі приймається:

- для ділянки Помічна – Колосівка 36 поїздів призначенням в порти Одеса, Іллічівськ, Рені та Ізмаїл;

- для ділянки Помічна – Котовськ 12 поїздів призначенням в порти Одеса, Іллічівськ, Рені та Ізмаїл.

Метою економіко-математичного моделювання є розподілення поїздопотоків  $X$  між напрямками Помічна – Колосівка – Одеса-Сортувальна та Помічна – Котовськ – Роздільна – Одеса-Застава з мінімальними витратами на перевезення.

$$B_1(\Gamma_1, \Gamma_2) = \sum_{i=1}^{i=6} C_i(X + X^H) + \Delta B_{\text{рух}}^{\text{од}}(N_{\text{ван}}) \rightarrow \min \quad (5.1)$$

де  $\Gamma_1, \Gamma_2$  – вантажопотік відповідно парного та непарного напрямку Знам'янка – Одеса,  $m$ ;

$C_1(X + X^H)$ ,  $C_2(X + X^H)$  – витрати на механічну роботу по просуванню поїздопотоків в парному та непарному напрямках, грн.;

$C_3(X + X^H)$  – витрати на механічну роботу по перевезенню порожніх поїздопотоків, грн.;

$C_4(X + X^H)$  – витрати, пропорційні часу перевезення поїздопотоків, грн.;

$C_5(X + X^H)$  – витрати, пропорційні довжині пробігу поїздопотоків, грн.;

$C_6(X + X^H)$  – витрати, пропорційні об'єму вантажу, що перевозиться поїздопоток, грн.;

$C_7(X)$  – додаткові витрати, пов'язані з простоем розподілювальних поїздопотоків на станції Одеса-Застава, грн.;

$C_8(X)$  – додаткові витрати, пов'язані з простоем розподілювальних поїздопотоків на станції Помічна, пов'язаних з виконанням операцій зменшення маси до встановленої норми, грн.;

$\Delta B_{\text{рух}}^{\text{од}}(N_{\text{ван}})$  – додаткові витрати, пов'язані з наданням вікон або простоями при неможливості організації безупинного схрещення по одноколійних ділянках з двоколійними вставками, грн.

Управляючими параметрами при моделюванні виступають розподілувальні поїздопотоки у прямому і зворотному напрямках (відповідно  $N_1$  та  $N_2$ ) і коефіцієнти  $C_i$ .

Критерієм вибору варіанту розподілу поїздопотоків між паралельними ходами та процедурою оцінювання є найменші експлуатаційні витрати залізничні на вантажні перевезення розподілювального поїздопотоків в умовах прискореного руху пасажирських поїздів та диференційованих тарифів на електроенергію за періодами доби.

Процедура оптимізації розподілу поїздопотоків між паралельними ходами напрямку Знам'янка – Одеса наведено на рисунку 5.1.

У якості первинного плану економіко-математичного моделювання розподілу поїздопотоків між паралельними ходами прийнято існуючі розмірами руху між паралельним ходам:

1. Непарний напрямок:

- ділянка Знам'янка – Помічна – загальний поїздопотік 48 пар поїздів;
- ділянка Помічна – Колосівка:
  - нерозподілювальний поїздопотік - 22 пари поїздів;
  - розподілювальний поїздопотік - 14 пар поїздів;
- ділянка Колосівка – Одеса-Сортувальна:
  - нерозподілювальний поїздопотік - 15 пари поїздів;
  - розподілювальний поїздопотік - 14 пар поїздів;
- ділянка Помічна – Котовськ:
  - нерозподілювальний поїздопотік - 7 пар поїздів;
  - розподілювальний поїздопотік - 6 пар поїздів;
- ділянка Котовськ – Одеса – Застава 1:
  - нерозподілювальний поїздопотік - 7 пар поїздів;
  - розподілювальний поїздопотік - 6 пар поїздів.

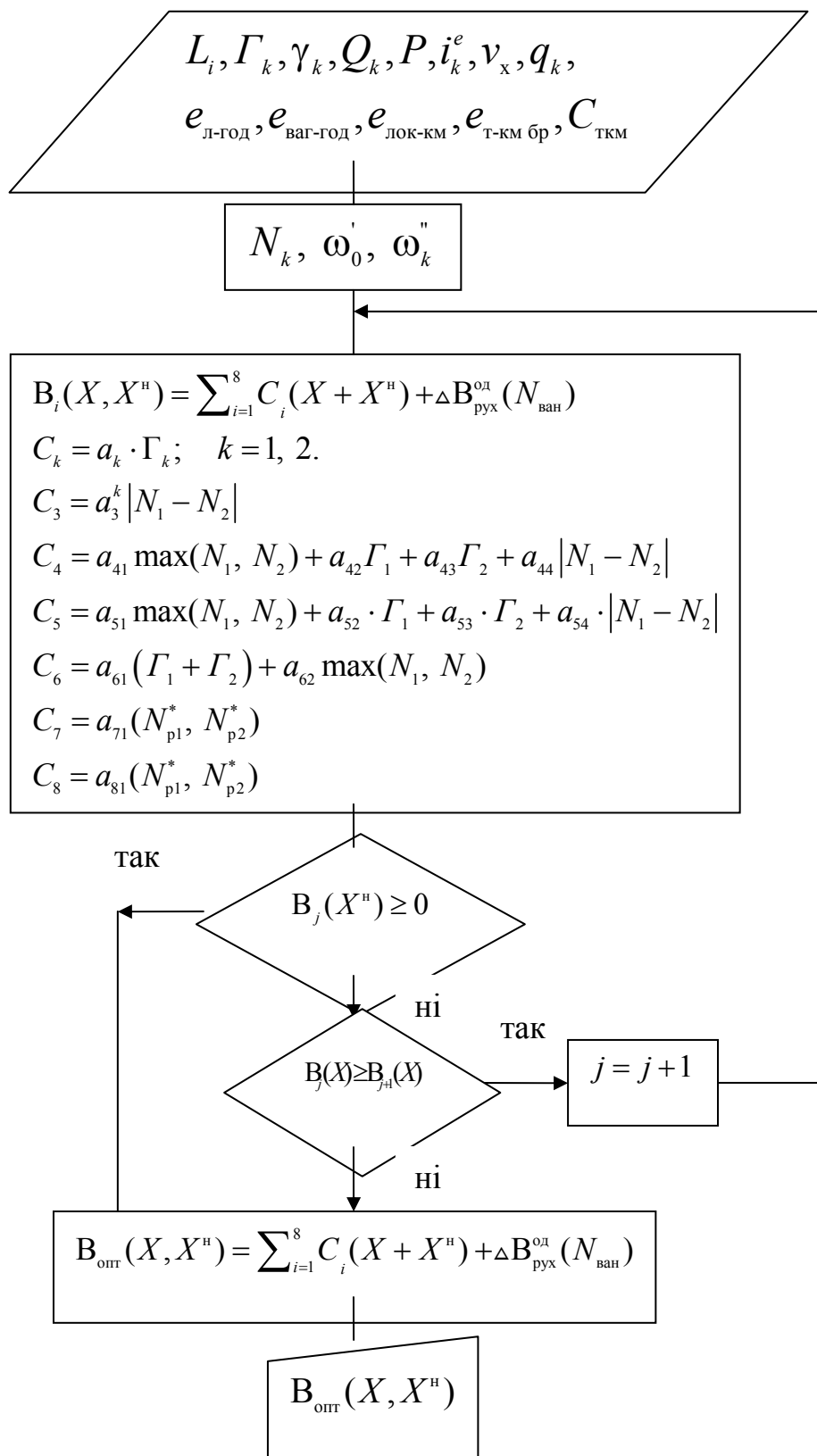


Рисунок 5.1 - Процедура розподілу поїздопотоків між паралельними ходами залізничного напрямку Знам'янка – Одеса

## 2. Парний напрямок:

- ділянка Помічна – Знам’янка – загальний поїздопотік 34 пари поїздів;
- ділянка Колосівка – Помічна:
  - нерозподілювальний поїздопотік - 12 пари поїздів;
  - розподілювальний поїздопотік - 14 пар поїздів;
- ділянка Одеса-Сортувальна – Колосівка:
  - нерозподілювальний поїздопотік - 10 пари поїздів;
  - розподілювальний поїздопотік - 16 пар поїздів;
- ділянка Котовськ – Помічна:
  - нерозподілювальний поїздопотік - 6 пар поїздів;
  - розподілювальний поїздопотік - 2 пари поїздів;
- Ділянка Одеса – Застава 1 – Котовськ:
  - нерозподілювальний поїздопотік - 6 пар поїздів;
  - розподілювальний поїздопотік - 2 пари поїздів.

При економіко-математичному моделюванні на кожній ітерації, починаючи з первинного плану, один вантажний поїзд з основного напрямку передається на паралельний. На кожному шагу ітерації, починаючи з первинного плану, виконується контроль обмеження пропускної спроможності напрямку. При передачі кожного вантажного поїзда з основного напрямку перевезень на паралельний, зменшується кількість схрещень вантажних поїздів між собою та кількість обгонів вантажних поїздів пасажирськими, що зменшує загальну кількість зупинок поїздів для виконання цих операцій. В той же час, збільшення кількості поїздів на паралельному напрямку збільшує кількість схрещень вантажних поїздів між собою, але не збільшує кількість обгонів вантажних поїздів пасажирськими, оскільки при двох парах пасажирських поїздів графік руху по паралельному напрямку можливо вважати умовно паралельним.

Економіко-математичне моделювання здійснюється до тих пір, поки функція загальних річних витрат не набрала мінімального значення і не почала зростати. Оптимальний варіант пропуску вантажних поїздів між паралельними ходами склав передачу 8 парних та 8 непарних поїздів з основного напрямку перевезень на паралельний. Річні загальні витрати на перевезення при економіко-математичному моделюванні розподілу поїздопотоків між паралельними ходами наведено в таблиці 5.2.

В оптимальному варіанті розміри руху по паралельним ходам склали:

### 1. Непарний напрямок:

- ділянка Знам’янка – Помічна – загальний поїздопотік 48 пар поїздів;
- ділянка Помічна – Колосівка:
  - нерозподілювальний поїздопотік - 22 пари поїздів;
  - розподілювальний поїздопотік - 6 пари поїздів;
- ділянка Колосівка – Одеса-Сортувальна:
  - нерозподілювальний поїздопотік - 15 пари поїздів;
  - розподілювальний поїздопотік - 6 пар поїздів;
- ділянка Помічна – Котовськ:
  - нерозподілювальний поїздопотік - 7 пар поїздів;
  - розподілювальний поїздопотік - 14 пар поїздів;

- ділянка Котовськ – Одеса – Застава 1:
  - нерозподілювальний поїздопотік - 7 пар поїздів;
  - розподілювальний поїздопотік - 14 пар поїздів.
- 2. Парний напрямок:
- ділянка Помічна – Знам’янка – загальний поїздопотік 34 пари поїздів;
- напрямок Колосівка – Помічна:
  - нерозподілювальний поїздопотік - 12 пари поїздів;
  - розподілювальний поїздопотік - 6 пар поїздів;
- ділянка Одеса-Сортувальна – Колосівка:
  - нерозподілювальний поїздопотік - 10 пари поїздів;
  - розподілювальний поїздопотік - 8 пар поїздів;
- ділянка Котовськ – Помічна:
  - нерозподілювальний поїздопотік - 6 пар поїздів;
  - розподілювальний поїздопотік - 10 пари поїздів;



Таблиця 5.2 – Річні витрати залізниці при економіко-математичному моделюванні розподілу поїздопотоків між паралельними ходами, млн. грн

Найменування ділянки	Кількість поїздів розподілювального поїздопотоку в варіанті моделювання (чисельник – основний напрямок, знаменник - паралельний)							
	36/12	34/14	32/16	30/18	28/20	26/22	24/24	
<b>Ділянка Знам'янка – Помічна (загальний для двох напрямків)</b>								
Знам'янка - Помічна	50,558	50,558	50,558	50,558	50,558	50,558	50,558	50,558
<b>Ділянка Помічна – Колосівка – Одеса (основний напрямок)</b>								
Помічна – Колосівка (не розподілювальний)	33,846	33,846	33,846	33,846	33,846	33,846	33,846	33,846
Колосівка – Одеса (не розподілювальний)	14,139	14,139	14,139	14,139	14,139	14,139	14,139	14,139
Разом не розподілювальний Помічна - Колосівка – Одеса	47,985	47,985	47,985	47,985	47,985	47,985	47,985	47,985
Помічна - Колосівка (розподілювальний)	20,293	17,161	14,127	11,116	8,105	5,094	2,060	
Колосівка – Одеса (розподілювальний)	13,404	11,455	9,506	7,587	5,682	3,733	1,784	
Разом розподілювальний Помічна - Колосівка – Одеса	33,697	28,616	23,633	18,703	13,787	8,827	3,844	
<b>Разом загальні по основному напрямку Помічна - Колосівка – Одеса</b>	<b>81,682</b>	<b>72,601</b>	<b>65,618</b>	<b>60,688</b>	<b>55,772</b>	<b>53,312</b>	<b>51,829</b>	
<b>Ділянка Помічна – Котовськ – Роздільна – Одеса (паралельний напрямок)</b>								
Помічна – Котовськ (не розподілювальний)	9,245	9,245	9,245	9,245	9,245	9,245	9,245	9,245
Котовськ - Одеса (не розподілювальний)	11,014	11,014	11,014	11,014	11,014	11,014	11,014	11,014
Разом не розподілювальний Помічна - Котовськ - Одеса	20,259	20,259	20,259	20,259	20,259	20,259	20,259	20,259
Помічна - Котовськ (розподілювальний)	8,864	10,378	11,928	13,716	15,248	16,890	18,440	
Котовськ - Одеса (розподілювальний)	8,667	10,444	12,055	13,764	15,430	17,097	18,625	
Разом розподілювальний Помічна - Котовськ - Одеса	17,531	20,822	23,984	27,480	30,678	33,987	37,065	
<b>Разом загальні по паралельному напрямку Помічна - Котовськ - Одеса</b>	<b>37,790</b>	<b>39,081</b>	<b>41,543</b>	<b>44,738</b>	<b>49,137</b>	<b>53,245</b>	<b>57,323</b>	
<b>Загальні витрати по напрямку</b>	<b>119,472</b>	<b>111,682</b>	<b>107,160</b>	<b>105,426</b>	<b>104,909</b>	<b>106,557</b>	<b>109,153</b>	

- ділянка Одеса – Застава 1 – Котовськ:

- нерозподілювальний поїздопотік - 6 пар поїздів;

- розподілювальний поїздопотік - 10 пари поїздів.

За результатами економіко-математичного моделювання перерозподілу поїздопотоків на залізничному напрямку з паралельними ходами отримано графічну залежність мінімальних експлуатаційних витрат на вантажні перевезення від розмірів та напрямку слідування розподілювального поїздопотіку, яку наведено на рисунку 5.2.

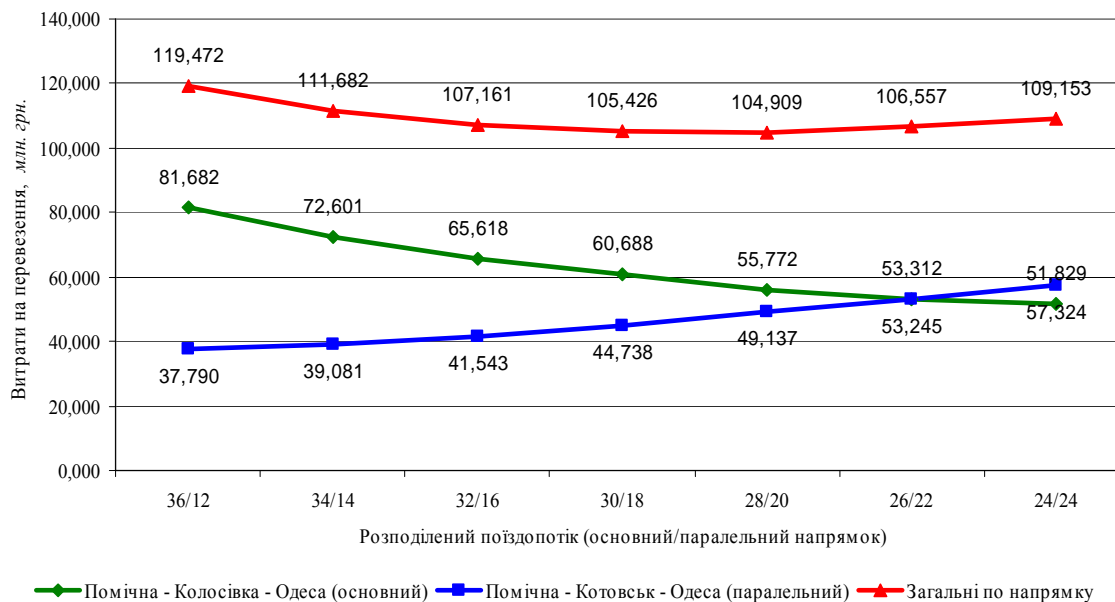


Рисунок 5.2 – Графік змін річних витрат на перевезення розподілювального поїздопотіку по кожній ітерації моделювання на напрямку з паралельними ходами Знам'янка - Одеса

За первинний варіант розподілу вантажних поїздів між паралельними ходами прийнятий існуючий варіант, при якому розміри руху розподілювальних поїздопотіків по основному ходу складає 36 пар вантажних поїздів, по паралельному – 12 пар вантажних поїздів. Загальні витрати на перевезення складають 119,472 млн. грн. При вирішенні оптимізаційної задачі розподілювальний поїздопотік з основного ходу напрямку залізничних перевезень при кожній ітерації моделювання передавався на паралельний хід напрямку до тих пір, коли загальні експлуатаційні витрати на перевезення не набули мінімального значення.

Проведені в дисертаційній роботі дослідження довели, що найбільш ефективним пропуском розподілювального вантажного поїздопотіку між паралельними ходами напрямку Знам'янка – Одеса є направлення 22 пар поїздів по основному напрямку та передачі 8 пар вантажних поїздів на паралельний хід. При цьому загальні експлуатаційні витрати на перевезення складають 104,909 млн. грн. Річна економічна ефективність перерозподілу поїздопотіку між паралельними ходами напрямку Знам'янка - Одеса складає 14,563 млн. грн. (8,9 %).

## **5.2 Вплив перерозподілу вантажних поїздопотоків по паралельним ходам на пропускну спроможність залізничних напрямків**

За результатами економіко-математичного моделювання розподілу поїздопотоків на залізничному напрямку з паралельними ходами: Знам'янка – Помічна – Колосівка – Одеса та Знам'янка – Колосівка – Котовськ – Роздільна – Одеса встановлено необхідність перенесення 8 пар поїздів на добу з основного на паралельний напрямок при існуючих обсягах руху.

Результати дослідження коефіцієнтів завантаження основного та паралельного напрямків залізничних перевезень до та після розподілу поїздопотоків, при урахуванні обмежень пропускнуї спроможності, наведено в таблиці 5.3.

Перерозподіл обсягів поїздопотоків між основним та паралельним напрямкам залізничних перевезень (див. табл. 5.2) дозволив зменшити завантаження основного напрямку з 96 % до 77 % та підвищити використання паралельного напрямку з 26 % до 53 %.

При введенні в дію Укрзалізницею в 2012 році на залізничних напрямках прискореного руху денних пасажирських експресів, які мають коефіцієнт зйому від 4,5 до 6,1 (див. главу 4), частину вантажних поїздів напрямку необхідно перенести на нічний графік слідування.

Було виконано моделювання варіантних графіків руху поїздів по однокільних ділянках з двохколійними вставками Помічна - Колосівка та Помічна – Котовськ з використанням програми КАСКАД.

Таблиця 5.3 – Розміри руху поїздів по залізничних напрямках Помічна – Колосівка і Помічна – Котовськ після моделювання

Найменування перегону	Існуюча пропускна спроможність, $N_{б.с.}$ , поїздів	Розміри руху пасажирських поїздів, $N^{пас}$ , поїздів	Коефіцієнт зйому пасажирськими поїздами вантажних при звичайному типу графіку, $\epsilon^{пас}$	Наявна пропускна спроможність для вантажного руху при звичайному типу графіку руху поїздів, $N^{нал}$	Потрібна пропускна спроможність для вантажного руху до перерозподілу, $N^{потр}$	
					до перерозподілу поїздів	після перерозподілу поїздів
Ділянка Помічна – Колосівка						
Трикратне – Олександрівка	51,3	15/2	1,03/3,39	45,1*	36	28
Вознесенськ – пост 1141 км	49,3	15/2	1,22*/3,82*	39,8*	36	28
Висоцьке – Олійникові	49,3	15/2	1,21*/3,81*	39,8*	36	28
Трикратне – пост 1113 км	61,1	15/2	1,20/3,48	36,4	36	28
Ділянка Помічна – Котовськ						
Кінцель - Первомайськ	40,1	2	1,21	37,7	12	20
Врадіївка Любашівка	41,4	2	1,29	38,8	12	20
Любашівка Заплази	42,8	2	1,27	40,4	12	20
Жеребкове Балга	53,4	2	1,22	51,0	12	20
Балга - Обхідна	49,3	2	1,09	47,1	12	20
					25	42

Примітка. В графах «розмірах руху пасажирських поїздів» та «коефіцієнт зйому пасажирськими поїздами» в чистельнику - пасажирські, в знаменнику – пасажирські прискорені.

\* - при використанні пакетного графіка руху поїздів.

Метою моделювання є визначення кількості зупинок вантажних поїздів під схрещенням та обгонами на паралельних напрямках перевезень в умовах прискороного руху пасажирських поїздів по основному напрямку в денний час доби та розрахунок показників по варіантах моделювання.

Варіанти моделювання графіків руху поїздів по паралельним ходам між залізничними напрямками розроблялися при наступних обмеженнях:

- за первинний план моделювання були прийнятий існуючі розміри руху вантажних поїздів між паралельними ходами;

- графік руху пасажирських поїздів був незмінним у всіх варіантах моделювання;

- рух вантажних поїздів по основному напрямку перевезень Помічна – Колосівка в період часу з 7<sup>30</sup> до 8<sup>30</sup> (у парному напрямку), 14<sup>00</sup> до 16<sup>00</sup> (в обох напрямках) та з 21<sup>30</sup> до 22<sup>30</sup> (в непарному напрямку) не виконувався;

- на кожній ітерації один вантажний поїзд розподілювального поїздопоту з основного напрямку передавався на паралельний напрямок перевезень.

Результати моделювання кількості схрещень у варіантних графіках руху поїздів по ділянках Помічна – Колосівка та Помічна – Котовськ, що приходяться на один вантажний поїзд наведено в таблиці 5.4 а графічне їх зображення – на рисунку 5.3.

Таблиця 5.4 – Кількість схрещень вантажних поїздів на паралельних ділянках, що приходяться на один вантажний поїзд

Найменування ділянки	Кількість поїздів розподілювального поїздопоту в варіанті моделювання						
	36/12	34/14	32/16	30/18	28/20	26/22	24/24
Помічна - Колосівка	2,42	2,27	2,11	1,96	1,81	1,65	1,51
Помічна - Котовськ	1,33	1,61	1,89	2,17	2,44	2,72	3,00
Загальна кількість схрещень	3,75	3,88	4,00	4,13	4,25	4,37	4,51

Примітка. В чисельнику наведено розміри руху по основному напрямку, в знаменнику – по паралельний напрямку

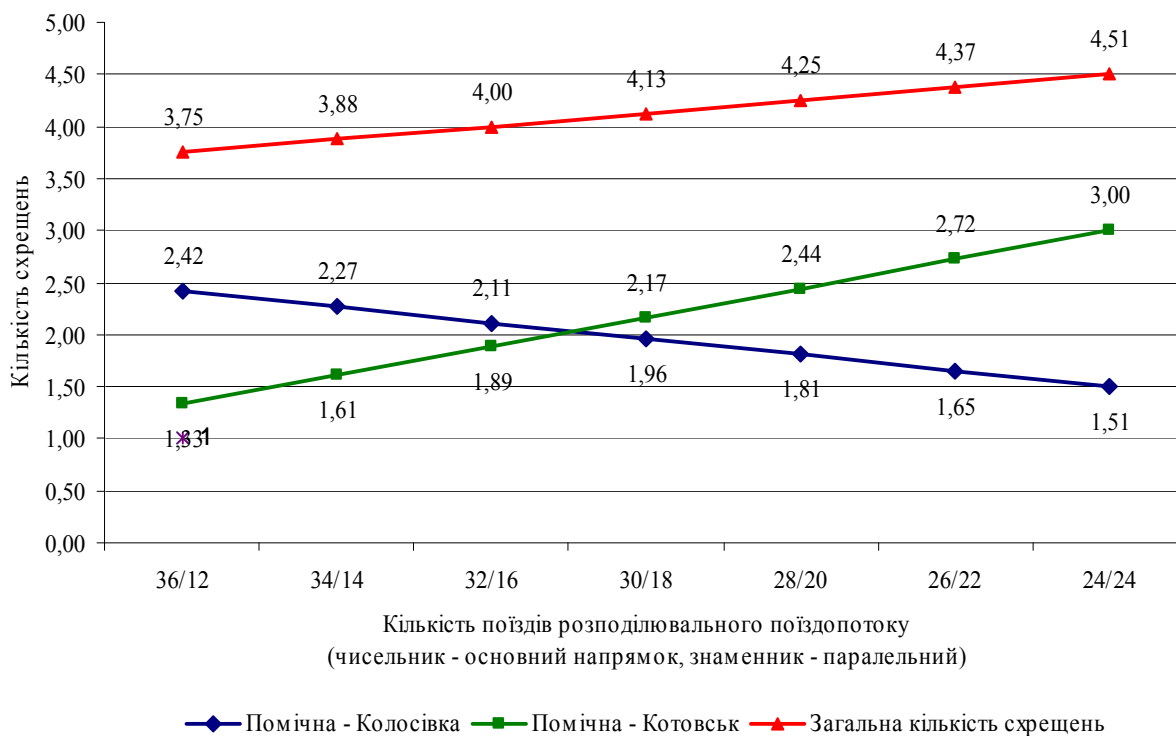


Рисунок 5.3 – Графік моделювання кількості схрещень вантажних поїздів на ділянках напрямку з паралельними ходами

За результатами моделювання кількості схрещень вантажних поїздів на ділянках основного і паралельного напрямків перевезень та при використанні методів регресійного аналізу, необхідно зробити наступні висновки:

- кількість схрещень вантажних поїздів, що приходяться на один поїзд, по основному напрямку перевезень зменшується з 2,42 у початковому варіанті до 1,81 у оптимальному варіанті, по паралельному напрямку – збільшується відповідно з 1,31 до 2,44. Загальна кількість схрещень в оптимальному варіанті складає 4,25, що припадає на один поїзд по обом напрямкам;
- кількість схрещень на основному напрямку перевезень зменшується за лінійною залежністю від кількості вантажних поїздів розподілювального поїздопотоку за формулою

$$n_{\text{схр}}^{\text{осн}} = -0,1525 \cdot N_{\text{пер}}^{\text{розп}} + 2,5714 \quad (5.2)$$

де  $N_{\text{пер}}^{\text{розп}}$  – кількість поїздів розподілювального поїздопотоку за варіантом

- кількість схрещень на паралельному напрямку перевезень збільшується за лінійною залежністю від кількості вантажних поїздів розподілювального поїздопотоку за формулою

$$n_{\text{схр}}^{\text{пар}} = 0,2779 \cdot N_{\text{пер}}^{\text{розп}} + 1,0543 \quad (5.3)$$

- загальна кількість схрещень на напрямку монотонно зростає та може бути розраховано за формулою

$$n_{\text{схр}}^{\text{пар}} = 0,1254 \cdot N_{\text{пер}}^{\text{розп}} + 3,6257 \quad (5.4)$$

Крім кількості схрещень, на зупинки поїздів впливають обгони вантажних поїздів пасажирськими.

Результати моделювання кількості обгонів у варіантних графіках руху поїздів по ділянці Помічна – Колосівка та загальна кількість зупинок вантажних поїздів, що приходяться на один поїзд по паралельним напрямкам наведено в таблиці 5.5 та графічно зображено на рисунку 5.4.

Таблиця 5.5 – Кількість обгонів вантажних поїздів на ділянці Помічна – Колосівка та загальна кількість зупинок, що приходяться на один вантажний поїзд

Найменування операції	Кількість поїздів розподільного поїздопоту в варіанті моделювання						
	36/12	34/14	32/16	30/18	28/20	26/22	24/24
Загальна кількість схрещень	3,75	3,88	4,00	4,13	4,25	4,37	4,51
Кількість обгонів по основному напрямку	2,85	2,75	2,64	2,54	2,44	2,34	2,23
Загальна кількість зупинок	6,60	6,63	6,64	6,67	6,69	6,71	6,74

Примітка. В чисельнику наведено розміри руху по основному напрямку, в знаменнику – по паралельний напрямку

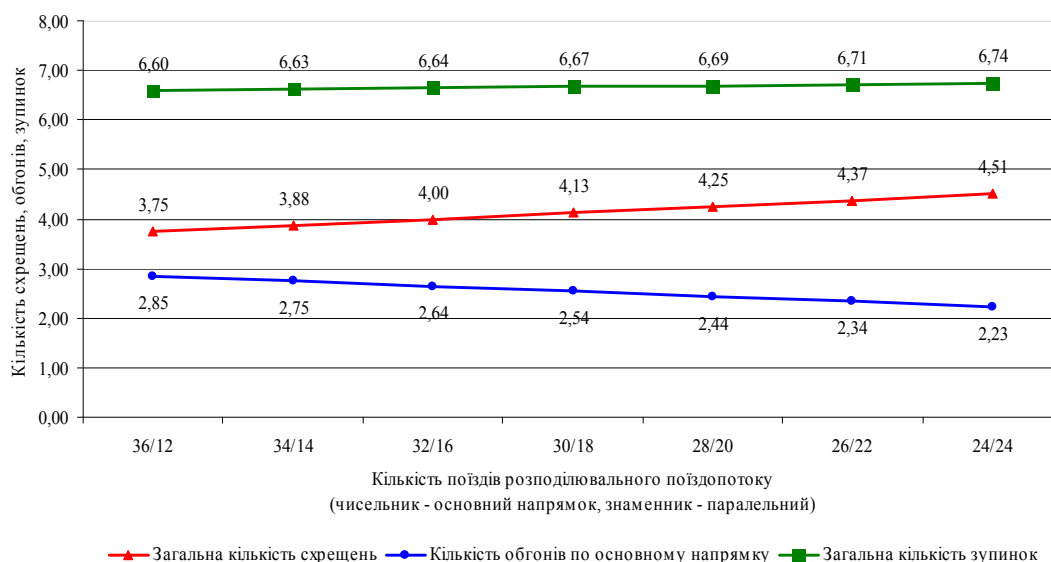


Рисунок 5.4 – Графік моделювання кількості обгонів вантажних поїздів на ділянці основного ходу та загальна кількість зупинок на напрямку з паралельними ходами

За результатами моделювання кількості обгонів вантажних поїздів пасажирськими на ділянці Помічна - Колосівка основного напрямку перевезень, що приходяться на один поїзд, та вплив загальної кількості схрещень на кількість

зупинок поїздів розподілювального поїздопоток при використанні методів регресійного аналізу, необхідно зробити наступні висновки:

- кількість обгонів вантажних поїздів пасажирськими, що приходяться на один вантажний поїзд, на основному напрямку перевезень зменшується з 2,85 до 2,44. Загальна кількість зупинок вантажних поїздів в первинному варіанті складає 6,60, а в оптимальному – 6,69, що можливо вважати не змінними.

- кількість обгонів на основному напрямку перевезень зменшується за лінійною залежністю від кількості вантажних поїздів розподілювального поїздопоток за формулою

$$n_{\text{обг}}^{\text{осн}} = -0,1024 \cdot N_{\text{пер}}^{\text{розп}} + 2,9524 \quad (5.5)$$

- загальна кількість зупинок на основному та паралельному напрямку перевезень при зміні напрямку руху розподілювального поїздопоток незначно збільшується за лінійною залежністю від кількості вантажних поїздів за формулою

$$n_{\text{обг}}^{\text{осн}} = 0,0275 \cdot N_{\text{пер}}^{\text{розп}} + 6,5786 \quad (5.6)$$

Таким чином, необхідно зробити висновок про те, що при розподіленні вантажного поїздопоток між паралельними напрямками загальна кількість зупинок вантажних поїздів під обгоном та схрещенням залишається незмінною.

Розрахунок показників варіантних графіків руху поїздів довів, що перерозподіл поїздопоток між паралельними ходами дозволив збільшити дільничну швидкість руху вантажних поїздів на основному напрямку перевезень на 9,4 км/год, але при цьому зменшується дільнична швидкість руху вантажних поїздів по паралельному напрямку на 3,8 км/год.

Оперативне рішення щодо пропуску вантажних поїздів розподілювального поїздопоток приймається оперативним відділом служби перевезень Укрзалізниці в залежності від попередньої інформації за призначенням поїздопоток по 3 – 6 годинним періодам бази даних АСК ВП УЗ.

### **5.3 Заходи щодо збільшення пропускної і провізної спроможності напрямку**

Для збільшення пропускної і провізної спроможності напрямку з паралельними ходами Знам'янка – Одеса існують два види заходів:

- організаційно-технічні;
- реконструктивні.

Насамперед, пропонуємо реалізувати організаційно-технічні заходи, які не потребують великих капітальних вкладень і значного часу на здійснення. До них відносяться:

- пропуск поїздів збільшеної маси по твердим ниткам графіка;
- зменшення станційних інтервалів та зміна типу графіка;



- зміна технології огляду вантажних поїздів;
- застосування нового виду тяги, підштовхування, частково подвійної тяги, трьох-чотирьох секційних локомотивів;
- подовження станційних колій по напрямках.

Реконструктивні заходи пов'язані з великими обсягами будівельно-монтажних робіт і потребує довгих термінів будівництва. До них необхідно віднести:

- подовження станційних колій по напрямках;
- будівництво головних і допоміжних колій на перегонах;
- підвищення швидкості руху вантажних та пасажирських поїздів.

В дисертаційній роботі були проведені теоретичні розрахунки за допомогою програми «Railway» з урахуванням технічного стану локомотивів ВЛ80т (чотири секції), які встановили можливу максимальну масу поїзда 6900 *t* для ділянки Помічна – Котовськ – Роздільна – Одеса-Застава 1 і до 9000 *t* для ділянки Помічна – Колосівка – Одеса-Сортувальна при формуванні поїздів з однорідного вантажу (маршрути) у гарні погодні умови, з відсутністю обмежень швидкості нижче 40 *км/год*, а на підйомах не нижче 45 *км/год* при умові, що не повинні проводитися колійні роботи (закриття перегонів із веденням поїздів по не правильній колії або потребуючих зупинки у червоного світлофора).

Ведення поїздів вагою більше 6000 *t* здійснюється з розміщенням електровозів ВЛ80 (дві секції) в голові і хвості состава з об'єднанням гальмівної магістралі.

Дослідженнями завантаження і режимів роботи локомотивів у різні періоди року було встановлено, що на ділянках, де систематично спостерігаються особливо несприятливі погодні умови, раніше встановлені норми маси поїздів часто не можуть бути реалізовані локомотивами без зниження надійності їх роботи, що впливає на стійкість руху поїздів на цілому напрямку.

Тягово-енергетичною лабораторією Одеської залізниці у різні пори 2011 року було проведено 20 дослідних поїздок електровозом ВЛ80с №2536 по системі багатьох одиниць (три секції) по залізничним напрямкам Помічна – Колосівка та Помічна – Котовськ з метою перевірки відповідності маси поїзда та витрат електроенергії, застосованої на тягу поїздів, отриманої за розрахунками програми «Railway» та наявної спроможності локомотивного парку.

За результатами дослідних поїздок встановлено:

- у поїздів масою 7130 *t* (80 вагонів) - 7301 *t* (88 вагонів) швидкість на розрахункових підйомах знижується нижче розрахункової для електровоза ВЛ80с на відстанях декількох кілометрів (згідно [142] не більш 500 *m*), з перевантаженням тягових двигунів;

- за поганих погодних умов (дощ, сніг, туман) знижується коефіцієнт зчеплення з рейками (дослідна поїздка №13, №14), що призводить до тривалого буксування і зниження швидкості нижче розрахункової – 43,4 *км/год*. Довжина складу поїзда досягає 1300 *m*. При русі на вибігу й гальмуваннях відбуваються сильні поздовжні реакції в поїзді, не задовільна робота гальмового устаткування вагонів, що призводить до зупинки поїздів по нагріванню букс (дослідні поїздки №2, №5, №13, №14, №18);

- чергові по станціях не вчасно вказують маршрут руху великовагового поїзда.

За результатами дослідних поїздок у частині встановлення максимальної маси поїзда з розрахунку фактичного технічного стану тягового рухомого складу, рекомендується маса поїзда на ділянці Помічна – Одеса-Сортувальна для одного локомотива не вище 4600 т для електровоза ВЛ80с. Необхідно відмітити можливість використання подвійної та потрійної тяги при веденні поїздів масою до 9000 т.

Одним із головних напрямків вдосконалення перевізного процесу є поетапна комплексна реконструкція станційних колій для можливості беззупинкового пропуску та схрещення поїздів підвищеної довжини парного та непарного напрямку. Для веденню поїздів масою до 9000 т одночасно парного і непарного напрямків необхідно здійснювати перехід до стандартів довжини станційних колій до 1500 і 2100 м, а в окремих випадках і до 3 км на тих станціях, де великовантажні поїзда будуть мати зупинки (10 – 20 % від загальної кількості) при використанні наявних вагонів з навантаженням на вісь 23,5 і 25 т.

Отже, на основі тягових розрахунків і заданих розмірів руху пасажирських і вантажних поїздів можливо ввести у графік руху поїздів наскрізні вантажні поїзда (маршрути) масою 6000 т, які будуть відхилені з основного на паралельний напрямок Знам'янка – Помічна – Котовськ – Одеса.

Для підвищення пропускної спроможності напрямку необхідно реалізувати комплекс заходів, які наведені на рисунку 5.5.



Рисунок 5.5 - Взаємодія ефективності роботи сортувальної станції з ефектом від подовження колії

## 5.4 Розробка енергооптимального графіка руху поїздів

Одним із напрямків збільшення пропускної спроможності дільниці та реалізації енергозбереження на тягу поїздів є в перспективі впровадження інтелектуальних систем авто ведення поїздів типу «УСАВП-П» розробленої науковим центром «АВП-Технологія» (Росія). Даний комплекс призначений для автоматизованого управління локомотивами. В системі закладена програма «енергооптимального тягового розрахунку» на основі оптимальної траєкторії руху, яка дозволяє вибирати найбільш економічний режим руху поїзда, з урахуванням багатьох критеріїв (профіль колії, обмеження швидкості, маса поїзда), а також проводити автоматичний перерахунок швидкісного режиму при непередбаченій зупинці.

### 5.4.1 Проблеми руху поїздів в умовах оптового ринку електроенергії

Актуальність розвитку і удосконалення методів управління рухом поїздів пов'язано з необхідністю використання критеріїв мінімуму вартості електроенергії, спожитої на тягу поїздів, в той час як у більшості випадків застосовують на залізниці критерій мінімуму спожитої електроенергії. При змінних тарифах на електроенергію (різні ціни по періодам доби, а у деяких випадках і на різних залізничних дільницях) задача розрахунку суттєво ускладнюється. Одночасно з цим виникають додаткові проблеми щодо зміни планування і організації процесу перевезень.

Вибір оптимальних режимів руху поїздів є однією з основних задач залізничного транспорту. Задача оптимального руху поїздів, в першу чергу, визначається повнотою обліку сукупності факторів, які характеризують дільницю, моделлю поїздів, різноманітними факторами і умовами процесу руху поїздів по змінному профілю колії, а також силами, які при цьому виникають і т.д.

На основі даних про залізничну дільницю (поїзд, локомотив, час руху, обмеження швидкості, тарифи, які застосовуються на електроенергію та ін.) розраховується оптимальний за вартістю режим ведення поїзда у виді карти дільничних швидкостей або перегінних часів ходу.

Отримані результати можуть бути основою методики оцінювання економічної ефективності застосування змінних тарифів і вартісної організації процесу перевезень на електрифікованій дільниці та умов ОРЕ, а також створення такої технології.

При характеристиці задачі вибору оптимальних режимів ведення поїздів необхідно враховувати такі параметри, як координати колії і часу; управління (номер позиції контролера); швидкість центру маси поїзда; маси локомотива і поїзда; коефіцієнта інерції мас, які обертаються; прискорення сили тяжіння; сили тяги локомотива; опір поступального руху поїзда; діюча на поїзд гальмівна сила; температура перегріву тягових електродвигунів; теплові характеристики і струм тягового електродвигуна, сумарна сила натискання гальмівних колодок; напруга контактної мережі; сукупність випадкових факторів задачі. Крім того, необхідно враховувати наступні характеристики – активний струм

електровозу, еквівалентний опір тягової мережі, тарифи на оплату електроенергії по періодам доби.

#### 5.4.2 Аналіз роботи напрямку залізничних перевезень при умові вступу в оптовий ринок електроенергії

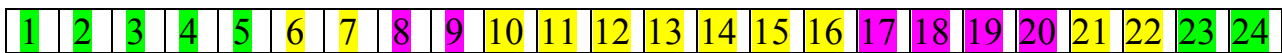
Вірогідні характеристики ціни електроенергії по періодам доби надані за станом квітня 2011 року.

При розрахунках оптимальних режимів руху поїздів виділяються три часові зони:

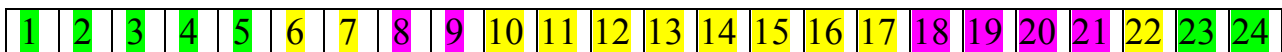
- нічна (зелений колір) з 22 до 5 годин;
- напівпікова (жовтий колір) з 5 до 7, з 9 до 17, з 21 до 22 годин;
- пікова (фіолетовий колір) з 7 до 9, з 17 до 21 годин.

При цьому слід зазначити, що періоди найвищої ціни можуть дещо змінюватися відповідно до періоду року, що зображено на рисунку 5.6.

Листопад, Грудень, Січень, Лютий



Вересень, Жовтень, Березень, Квітень



Липень, Серпень, Травень, Червень

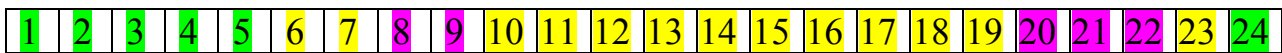


Рисунок 5.6 – Цінові періоди вартості електроенергії по часам доби  
Відмінність верхніх і нижніх значень ціни електроенергії для різних періодів доби вказано на рисунках 5.7 та 5.8.

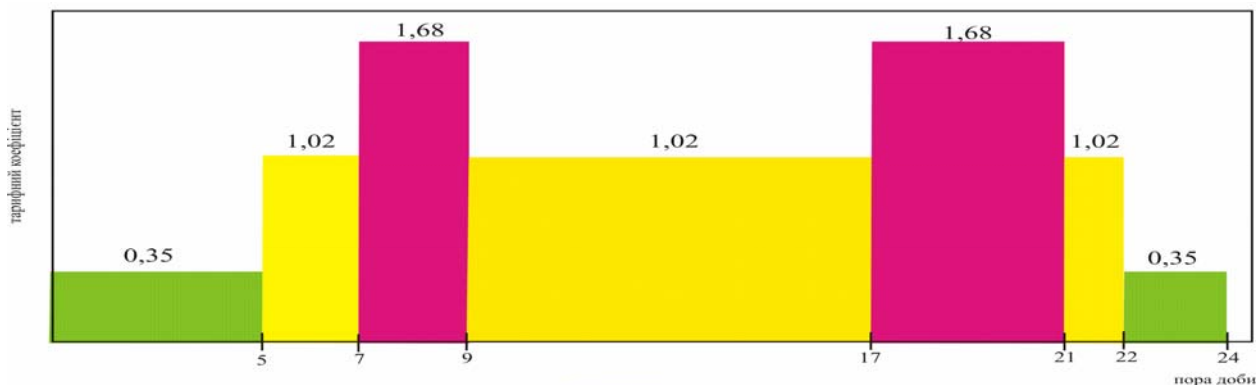


Рисунок 5.7 - Відмінність верхніх значень ціни електроенергії для різних періодів доби

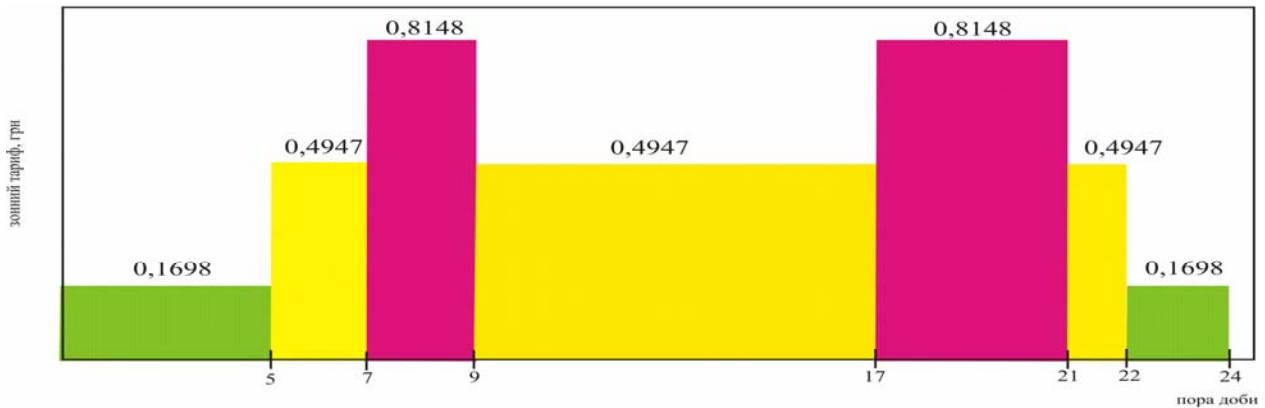


Рисунок 5.8 - Відмінність нижніх значень ціни електроенергії для різних періодів доби

Функція ціни на оптовому ринку електроенергії прогнозується оператором ринку, в залежності від показників маневрової потужності генерації і собівартості.

#### 5.4.3 Моделювання режимів руху поїздів

В умовах концепції Укрзалізниці по скороченню нічних пасажирських поїздів з заміною їх на денні експреси, денний час доби буде зайнятий пасажирськими перевезеннями, а з урахуванням коефіцієнтів зйому вантажних поїздів значний обсяг вантажних перевезень прийде на нічний час.

Висока міра кореляції між характеристиками маси поїздів бруто і енергоспоживання на тягу поїздів, відома з робіт [130, 131], дає можливість побудови ефективних інформаційних систем регулювання енергоспоживання.

Характеристики поїздопотоків в часі по відомих маршрутах руху служать вихідними даними для алгоритмів розрахунків оптимальних інтервалів між поїздами і маси поїздів, які мінімізують витрату електроенергії на тягу.

Важливим сучасним напрямком залізничних перевезень на електрифікованих ділянках постає задача зменшення постійно зростаючих питомих витрат на спожиті енергоресурси та вартість електроенергії. Зменшення обсягів енергоспоживання на тягу поїздів і вартості спожитої електроенергії є однією з найактуальних задач залізниць.

Задачею дослідження [131] є використання методики часткового переводу можливих розмірів руху вантажних поїздів на нічний рух для забезпечення енергоспоживання при мінімальній вартості електроенергії.

Додаткові можливості зменшення вартості електроенергії, споживаної на тягу поїздів, полягають в реалізації оперативного регулювання технічними і програмними засобами систем тягового енергопостачання, яка заснована на використанні в кожен момент ( $t$ ) електроенергії з найменшою вартістю, що поступає з систем зовнішнього енергопостачання. Вживання такої стратегії забезпечить реалізацію мінімуму вартості електроспоживання на тягу поїздів.

В дисертаційній роботі для розрахунку енергооптимального ведення поїздів та подачі електроенергії з тягових підстанцій використано моделі оперативного регулювання електроспоживання, яку запропоновано [131]. В умовах

надлишку потужності тягових підстанцій, які налічують оплату електроенергії по різних заздалегідь встановлених тарифах, а також за наявності на період доби ( $t$ ) оперативної інформації про обсяги перевезень, питому вартість електроенергії тягової підстанції, слід переходити на живлення зон між підстанцій з максимальним навантаженням тягових підстанцій (з числа заданих за технічними умовами), в яких в період ( $t$ ) вартість електроенергії найменша.

У узагальненому вигляді модель оперативного регулювання системою тягового електропостачання, відповідно [131], представлена в наступному вигляді

$$Y = F(X^e, U, C), \quad X^e = (X^*, X_E), \quad U = \phi(X^e, Y^*, Z^*), \quad C = (c_1, \dots, c_m). \quad (5.7)$$

де  $F(*)$  – оператор системи тягового енергоспоживання, як об'єкт управління, що задає алгоритм визначення виходу системи  $Y$  за вхідною інформацією  $X^e$  і управляючими діями  $U$ ;

$\phi(X^e, Y^*, Z^*)$  – алгоритм управління, який враховує задану мету управління і доступну інформацію;

$C = (c_1, \dots, c_m)$  – вектор параметрів системи тягового енергоспоживання, необхідних для використання моделі системи регулювання електропостачанням.

Регулювання електроспоживання на основі умови (5.7) можливо, якщо є методи і засоби для об'єднання інформації систем управління енергопостачанням (АРМ – Енергодиспетчера) і даних перевізного процесу (АРМ – Поїзного диспетчера), зокрема, архівів, сформованих при функціонуванні повагоной моделі відображення процесів вантажних перевезень ВМД.

Представлений варіант системи регулювання електроспоживання використовує як загальний модуль, в якості управляє мого модолю використовуються існуючі інформаційно-управляючі дільничні системи (АРМ – Е). Ці системи функціонують в реальному часі, і в даний час за допомогою їх здійснюється автоматичне і автоматизоване телекерування системою тягового електропостачання на більшості електрифікованих ділянок УЗ.

Залежність між обсягами перевезень, енергоспоживанням на тягу поїздів та вартістю електроенергії з урахуванням часових тарифних зон, отримані за результатами досліджень тягово-енергетичної лабораторії Одеської залізниці.

Розрахунки споживання електроенергії на тягу поїздів на напрямку Знам'янка – Помічна - Колосівка – Одеса, які були виконані для вантажних перевезень в квітні 2011 року, показали відмінності в показниках вартості ефективності [6].

В дисертаційній роботі представлені графіки фактичного споживання електроенергії при веденні вантажних поїздів по основному напрямку перевезень Знам'янка – Помічна – Колосівка - Одеса. Варто зазначити важливу особливість організації процесу перевезень, оптимальних, по критерію мінімальної вартості електроенергії спожитої на тягу поїздів. При вартісній оптимізації для дільниць необхідно створення пакету режимних карт, кожна з яких повинна використовуватись в різні періоди доби.

В умовах оптового ринку електроенергії задачі щодо розрахунку оптимальних режимів ведення поїздів повинні вирішуватися у взаємозв'язку з задачами по оцінюванню ефективності застосування змінних тарифів оплати електроенергії. Для забезпечення можливості комплексного аналізу необхідно розробляти уточнюючі критерії ефективності застосування змінних тарифів оплати активної та реактивної електроенергії для розрахунків оптимальних режимних карт ведення поїздів з врахуванням споживання.

Для визначення економічної доцільності важливо знати обсяги спожитої електроенергії на тягу поїздів по періодам доби, та співвідношення між цими показниками.

Існуючі витрати моделювання використання електроенергії по годинам доби та пропозиції по зміщенні прокладки поїздів на графіку руху з урахуванням пропуску вантажних поїздів в нічний час по ділянках тягових підстанцій наведено на рисунках 5.9 – 5.15.

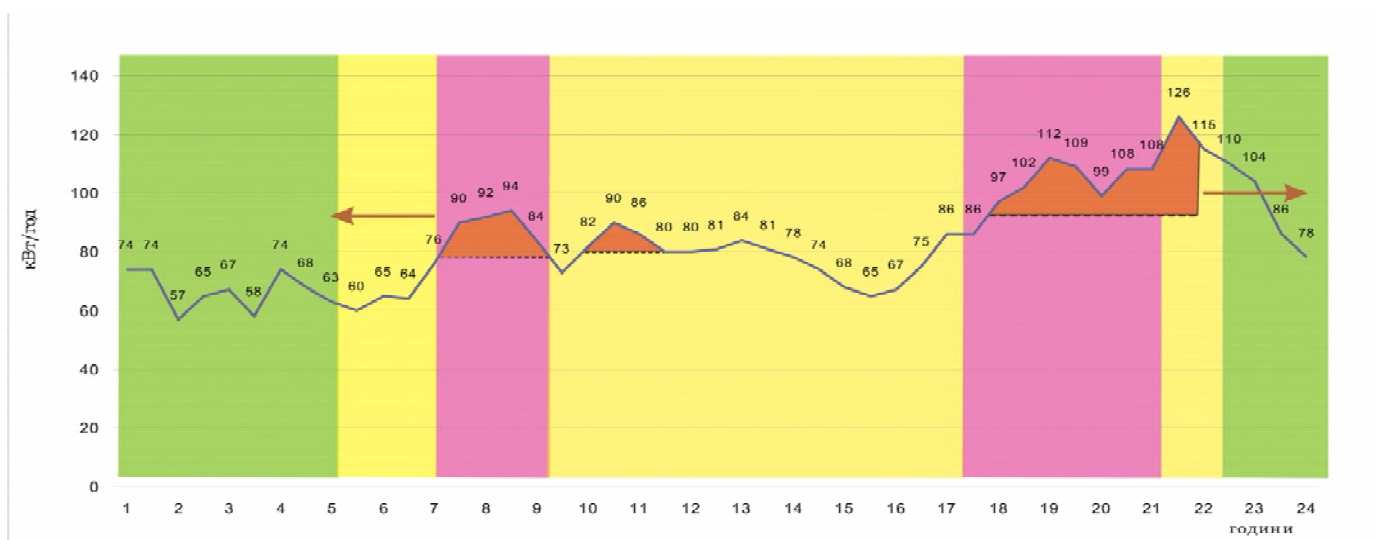


Рисунок 5.9 - Тягова підстанція «Знам'янка»

Розрахунки показують, що при умові зміни графіку руху вантажних поїздів з пікових зон в нічні зони по тяговій підстанції «Знам'янка» можлива економічна ефективність складає до 1 млн. 730 тис. грн. на рік.

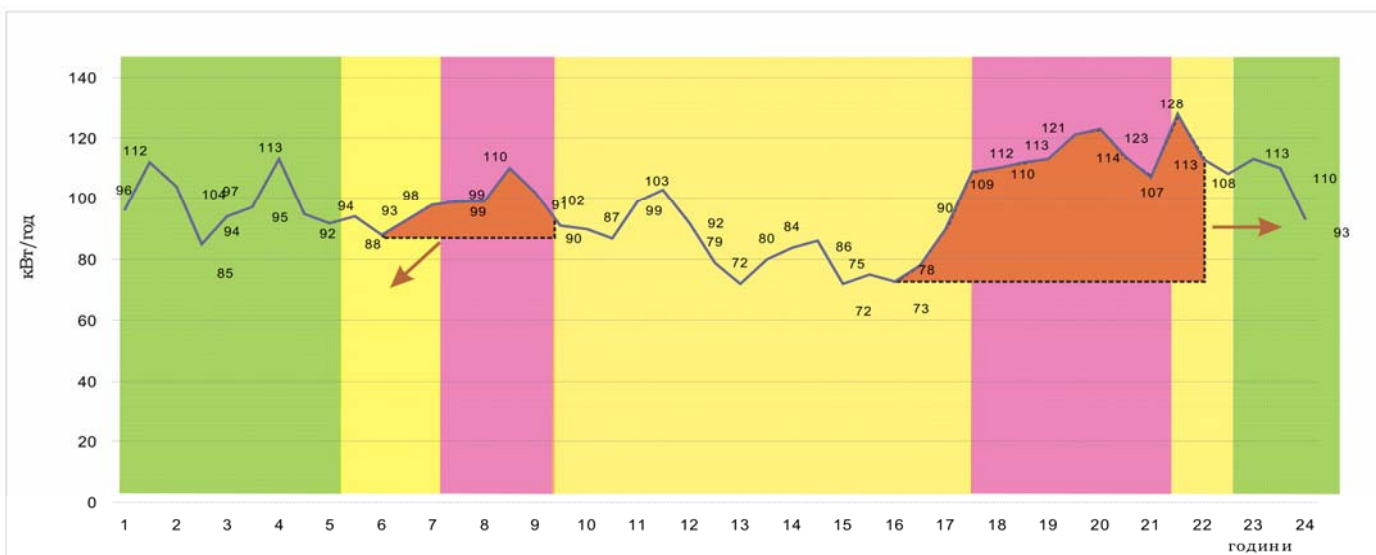


Рисунок 5.10 - Тягова підстанція «Канатове»

Розрахунки показують, що при умові зміни графіка руху вантажних поїздів з пікових зон на нічні зони по тяговій підстанції «Канатове» можлива економічна ефективність складає до 3 млн. 350 тис. грн. на рік .



Рисунок 5.11 - Тягова підстанція «Шестаківка»

Розрахунки показують, що при умові зміни графіку руху вантажних поїздів з пікової та напівпікової зони в нічну зону по тяговій підстанції «Шестаківка» можлива економічна ефективність складає до 415 тис. грн. на рік.



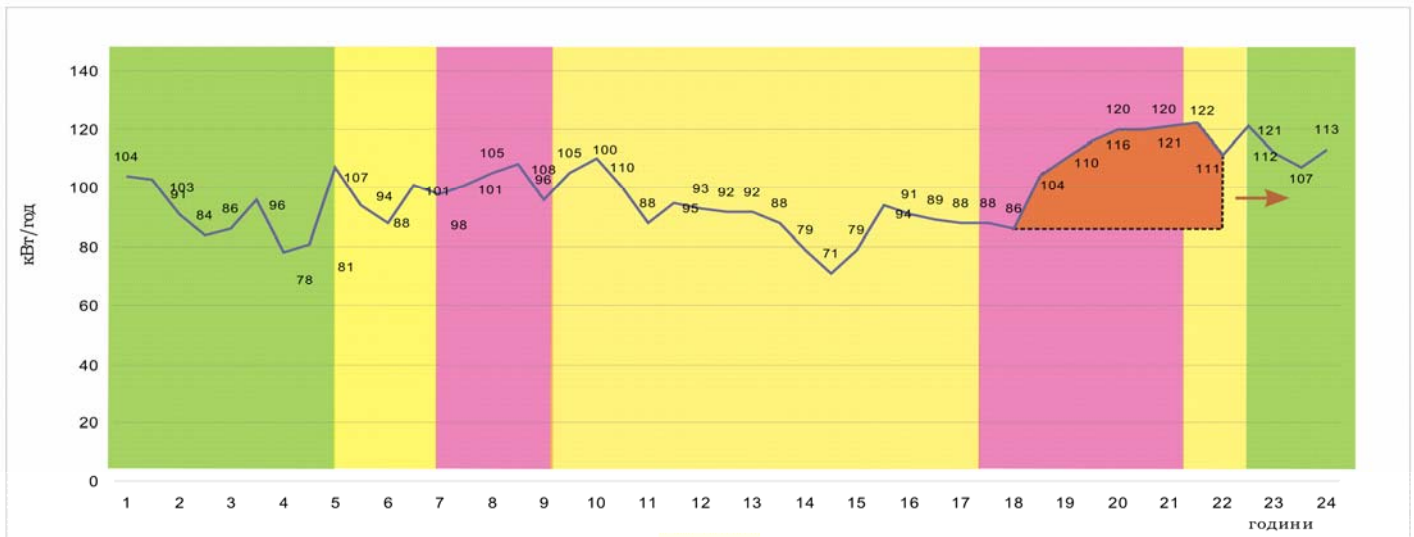


Рисунок 5.12 - Тягова підстанція «Помічна»

Розрахунки показують, що при умові зміни графіку руху вантажних поїздів з пікової та напівпікової зони в нічну зону по тяговій підстанції «Шестаківка» можлива економічна ефективність складає до 1 млн. 330 тис. грн. на рік.

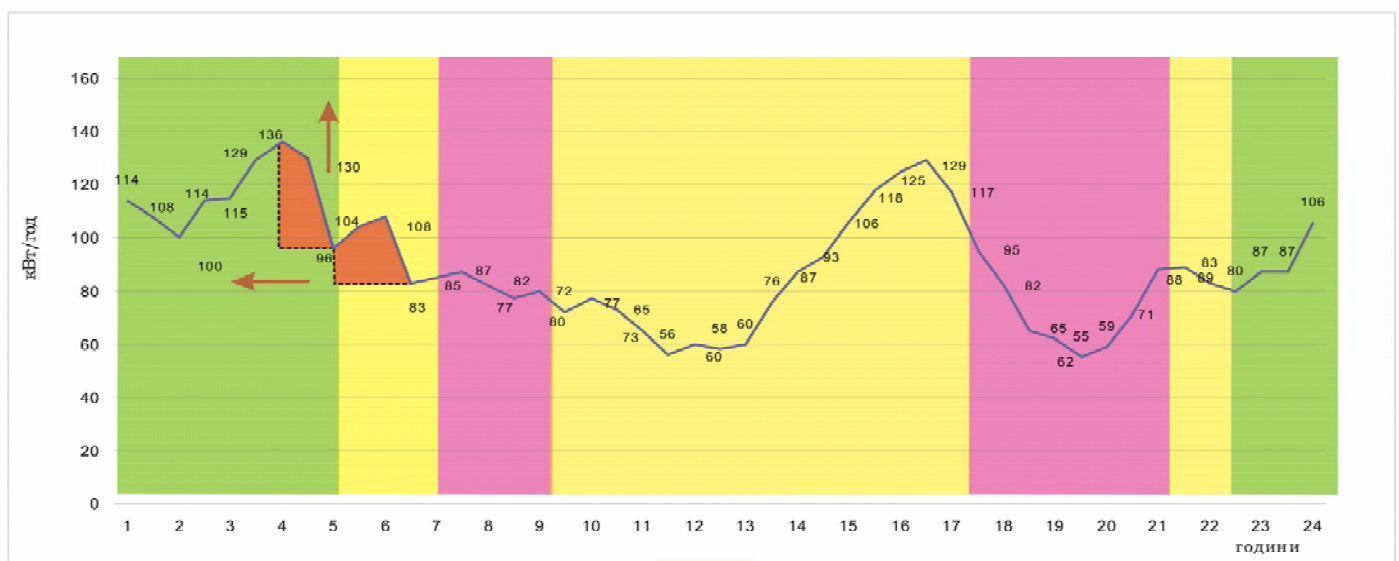


Рисунок 5.13 - Тягова підстанція «Колосівка»

Розрахунки показують, що на даній підстанції найбільш енергооптимальним є графік споживання електроенергії на тягу поїздів по підстанція «Колосівка» при умові зміни графіку руху поїздів з напівпікової зони в нічну зону можлива економічна ефективність складає до 180 тис. грн. на рік.

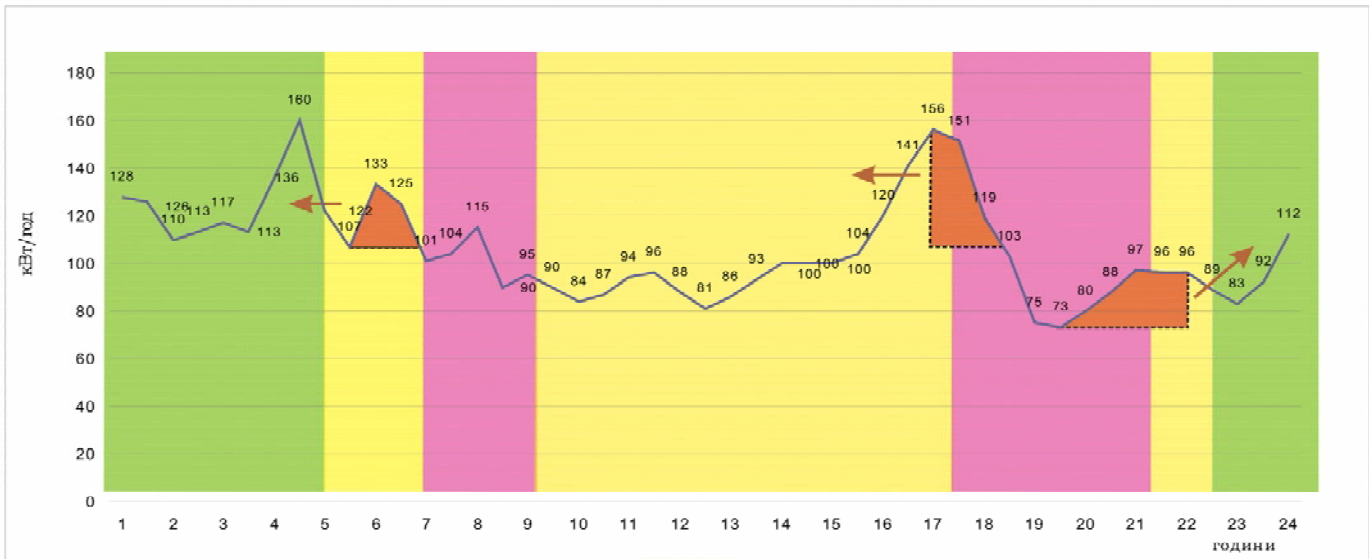


Рисунок 5.14 - Тягова підстанція «Сербка»

Розрахунки показують, що при зміні графіку руху поїздів з пікової та напівпікової зони по тяговій підстанції «Сербка» можлива економічна ефективність складає до 1 млн. 145 тис. грн. на рік.

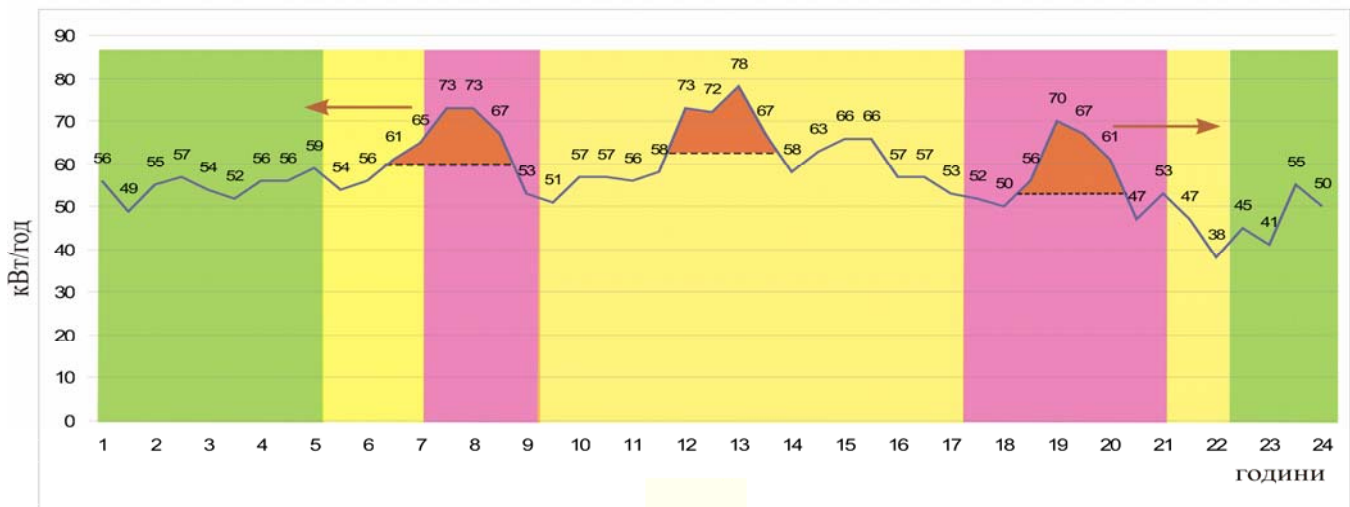


Рисунок 5.15 - Тягова підстанція «Куліндорове»

Розрахунки показують, що при зміні графіку руху вантажних поїздів з пікових зон по тяговій підстанції «Куліндорове» можлива економічна ефективність складає до 759 тис. грн. на рік.

У роботі виконані дослідження, які спрямовані на вирішення проблеми зменшення вартості електроенергії на тягу поїздів, спожитої в умовах застосування змінних тарифів, насамперед для умов оптового ринку електроенергії.

Як показали розрахунки, враховуючи змінні за періодами доби тарифи на електроенергію, одержані раніше рекомендації для вибору оптимальних, відносно витрат енергії режимів руху поїздів, виявляються обмеженими. Розроблені більш загальні методи розрахунків режимів управління рухом поїздів, які враховують як змінність за періодами доби тарифів, так і відмінність у ціні ак-

тивної і реактивної складових електроенергії. Економічна ефективність від зміщення графіку руху вантажних поїздів з пікових та напівпікових в нічні зони складає *8 млн. 909 тис. грн.* на рік.

Подальшою задачею є необхідність створення програмних засобів, які дадуть можливість виконати аналіз вигідності закупівлі залізницею електроенергії на основі змінних тарифів, якщо відомий графік руху, а також розрахувати оптимальні по критерію мінімуму вартості режимні карти управління тягою поїздів.

## **5.5 Висновки**

1. За результатами економіко-математичного моделювання встановлено оптимальний варіант пропуску вантажних поїздів між паралельними ходами напрямку Знам'янка - Одеса, який склав передачу 8 парних та 8 непарних поїздів розподіляемого поїздопоток з основного напрямку перевезень Знам'янка – Помічна – Колосівка – Одеса на паралельний Знам'янка – Помічна – Котовськ - Одеса. Річна економічна ефективність перерозподілу поїздопоток між паралельними ходами напрямку Знам'янка - Одеса складає *14,563 млн. грн.* (8,9 %).

2. Перерозподіл обсягів поїздопотоків між основним та паралельним напрямкам залізничних перевезень дозволив зменшити завантаження основного напрямку з 96 % до 77 % та підвищити використання паралельного напрямку з 26 % до 53 %. Дільнична швидкість руху вантажних поїздів в оптимальному варіанті розподілу поїздопоток між паралельними ходами збільшилась на *9,4 км/год* по основному напрямку перевезень, та зменшилась на *3,8 км/год* по паралельному.

3. Результати моделювання кількості схрещень і обгонів у варіантних графіках руху поїздів по ділянці Помічна – Колосівка та загальна кількість зупинок вантажних поїздів, що приходяться на один поїзд по паралельним напрямкам є незмінними при перерозподіленні розмірів руху поїздів між основним та паралельним напрямками перевезень.

4. На основі результатів дослідних поїздок тягово-енергетичної лабораторії Одеської залізниці були встановлені залежності між обсягами перевезень, елек-троспоживання на тягу поїздів та вартості електроенергії з урахуванням часових тарифних зон. Встановлено, що на ділянках, де систематично спостерігаються особливо несприятливі погодні умови, раніше встановлені норми маси поїздів часто не можуть бути реалізовані локомотивами без зниження надійності їх роботи, що впливає на стійкість руху поїздів на цілому напрямку.

5. Для збільшення пропускної і провізної спроможності напрямку Знам'янка – Одеса з паралельними ходами існують організаційно-технічні і реконструктивні заходи. В дисертаційній роботі розглядалися тільки організаційно-технічні заходи підвищення пропускної здатності залізничного напрямку. Теоретичними розрахункам встановлено можливу максимальну масу поїзду *6900 т* для ділянки Помічна – Котовськ – Роздільна – Одеса-Застава 1 і від *7000 до 9000 т* для ділянки Помічна – Колосівка – Одеса-Сортувальна при формуванні поїздів з однорідного вантажу (маршрути) у гарних погодних умовах,

з відсутністю обмежень швидкості нижче 40 км/год, а на підйомах не нижче 45 км/год при умові, що не повинні проводитися колійні роботи (закриття перегонів із веденням поїздів по не правильній колії або потребуючих зупинки у червоного світлофора).

6. В умовах концепції Укрзалізниці по скороченню нічних пасажирських поїздів з заміною їх на денні експреси, денний час доби буде зайнятий пасажирськими перевезеннями, а з урахуванням коефіцієнтів знімання вантажних поїздів значний обсяг вантажних перевезень прийдеться на нічний час.

7. В умовах оптового ринку електроенергії задачі щодо розрахунку оптимальних режимів ведення поїздів повинні вирішуватися у взаємозв'язку з задачами по оцінюванню ефективності застосування змінних тарифів оплати електроенергії. Як показали розрахунки, враховуючи змінні за періодами доби тарифи на електричну енергію, одержані раніше рекомендації для вибору оптимальних відносно витрат енергії режимів ведення поїзда виявляються обмеженими. Розроблені більш загальні методи розрахунків режимів управління рухом поїздів, які враховують як змінність за періодами доби тарифів, так і відмінність у ціні активної і реактивної складових енергії. Економічна ефективність від зміщення графіку руху вантажних поїздів з пікових та навпівпікових в нічні зони складає *8 млн. 909 тисяч грн. на рік.*

## ВИСНОВКИ

Монографія містить отримані результати, які в сукупності вирішують науково-практичну задачу підвищення ефективності управління поїздопотоків за рахунок економічно доцільного розподілу поїздопотоків вантажного руху на залізничних напрямках з паралельними ходами в умовах функціонування оптового ринку електроенергії та швидкісного руху пасажирських поїздів. Виконані в роботі дослідження дозволяють зробити наступні висновки:

1. Виконаний аналіз наукових робіт з проблем по організації вагонопотоків і пропуску вантажних поїздів на транспортній інфраструктурі з паралельними ходами показав, що в сучасних умовах практично відсутній комплексний підхід до розв'язання задачі оперативного керування поїздопотоків. В існуючих наукових роботах оперативне керування поїздопотоків не враховує характер завантаження напрямку та його транспортну інфраструктуру. Крім цього, залізничний напрямок з паралельними ходами не розглядається як єдиний технологічний комплекс, з урахуванням раціонального функціонування кожного елемента інфраструктури напрямку. Для розв'язання вказаної задачі необхідна розробка методики оперативного розподілу поїздопотоків на лініях з паралельними ходами, яка б враховувала поточний стан всього напрямку в цілому.

2. Дослідження пропускну здатності одноколійного залізничного напрямку з двохколійними вставками Знам'янка – Одеса показали, що добове розподілення поїздопотоків між паралельними ходами неоднорідне. Завантаження основного напрямку перевезень Знам'янка – Помічна – Колосівка – Одеса складає 96 %, а завантаження паралельного напрямку Знам'янка – Помічна – Котовськ – Одеса дорівнює 26 %. Кількість схрещень вантажних поїздів, що приходяться на один поїзд, по основному напрямку перевезень складає 2,42, по паралельному напрямку – 1,31. Кількість обгонів вантажних поїздів пасажирськими, що приходяться на один вантажний поїзд, на основному напрямку перевезень складає 2,85, на паралельному напрямку – 1,14. Внаслідок цього витрати залізниці на просування поїздопотоків є неоптимальними. Виявлено, що при існуючих розмірах руху вантажних поїздів необхідно проводити перерозподіл поїздопотоків між паралельними ходами залізничного напрямку.

3. Результати досліджень енергетичних витрат залізниці суттєво різняться між паралельними ходами. Вартість перевезення однієї тони маси поїзда 4814 т по основному напрямку перевезень Знам'янка – Помічна – Колосівка – Одеса складає 2,92 грн, а по паралельному напрямку Знам'янка – Помічна – Котовськ – Одеса – 2,52 грн.

4. Дослідження впливу швидкісного руху пасажирських поїздів на пропуску та провізну здатність залізничного напрямку показали, що при збільшенні швидкості руху пасажирських поїздів з 60 до 110 км/год та довжині блокділянок від 1,0 до 2,6 км коефіцієнт зйому вантажних поїздів має коливання від 1,1 до 3, при прискореному русі зі швидкістю пасажирських поїздів від 120 до 160 км/год коефіцієнт зйому має коливання від 4,5 до 6,1, при швидкісному русі зі швидкістю руху пасажирських поїздів від 170 до 200 км/год коефіцієнт зйому має коливання від 6,15 до 7,65. Коефіцієнт зйому вантажних поїздів паса-

жирськими значно знижує пропускну спроможність залізничного напрямку для вантажного руху, особливо при денному русі прискорених пасажирських поїздів.

5. За результатами економіко-математичного моделювання розподілу поїздопотоків між паралельними ходами на напрямку Знам'янка - Одеса, до оптимального варіанту слід віднести передачу 8 пар вантажних поїздів з основного напрямку Помічна – Колосівка – Одеса на паралельний напрямок Помічна – Котовськ – Роздільна – Одеса. Річна економічна ефективність від застосування розподілу поїздопотоків між паралельними ходами напрямку Знам'янка - Одеса склала 14,563 млн. грн. (8,9 %).

6. Згідно до концепції Укрзалізниці по скороченню нічних пасажирських поїздів з заміною їх на денні прискорені експреси, частина денного часу доби зайнята пасажирськими перевезеннями, а з урахуванням коефіцієнтів зйому, значний обсяг вантажних перевезень прийдеться на нічний час доби. Проведене моделювання варіантних графіків руху поїздів по однокільних ділянках з двохкільними вставками Помічна - Колосівка та Помічна – Котовськ з використанням програми КАСКАД, дозволило при оптимальному варіанті розподілу поїздопотоків і обмеженні руху вантажних поїздів по основному напрямку перевезень Помічна – Колосівка в період часу з 7<sup>30</sup> до 8<sup>30</sup> (у парному напрямку), 14<sup>00</sup> до 16<sup>00</sup> (в обох напрямках) та з 21<sup>30</sup> до 22<sup>30</sup> (в непарному напрямку) збільшити дільничну швидкість руху вантажних поїздів на 9,4 км/год по основному напрямку, але при цьому, зменшилась дільничної швидкості по паралельному напрямку на 3,8 км/год по відношенню до існуючого стану. Загальна кількість зупинок вантажних поїздів при схрещеннях та обгонах на паралельних напрямках є незмінною в усіх варіантах.

7. Критерієм вибору варіанту розподілу поїздопотоків між паралельними ходами та процедурою оцінювання є найменші експлуатаційні витрати залізниці на вантажні перевезення розподільного поїздопотоків в умовах прискореного руху пасажирських поїздів та диференційованих тарифів на електроенергію за періодами доби.

8. Дослідженнями встановлено, що в умовах оптового ринку електроенергії задачі щодо розрахунку оптимальних режимів ведення поїздів повинні вирішуватися у взаємозв'язку з задачами по оцінці ефективності застосування змінних тарифів оплати електроенергії. Як показали розрахунки, економічна ефективність від зміщення графіку руху вантажних поїздів з пікових та напівпікових в нічні зони складає 8,909 млн. грн. на рік.

9. Розроблена процедура оцінювання рішення щодо розподілу поїздопотоків між напрямками з паралельними ходами в оперативних умовах може бути застосована у АРМ ДНЦ для підтримки прийняття рішення щодо оперативного керування поїздопотоків на відповідних рівнях.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Державна цільова програма впровадження на залізницях швидкісного руху пасажирських поїздів на 2005-2015 роки [Текст] / Розпорядження Кабінету Міністрів України № 979-р від 31.12.2004 р.
2. Про схвалення Стратегії розвитку залізничного транспорту на період до 2020 року [Текст]/Постанова Кабінету Міністрів України №1555-р від 16.12.2009р
3. Логвінова Н.О. Методика розподілення вантажних перевезень паралельними ходами на електрифікованих ділянках [Текст] / Н. О. Логвінова // Вісник ДНУЗТ. Д.: ДІТ, 2012. – Вип. 40. - С. 67-69.
4. Папахов О.Ю. Удосконалення технології взаємодії підприємств гірничо-металургійного комплексу напрямку Донбас – Кривбас із використанням жорсткого графіку руху поїздів [Текст] / О.Ю. Папахов, Н. О. Логвінова // Вісник ДНУЗТ. Д.: ДІТ, 2009. – Вип. 26. - С. 155-158.
5. Вернигора Р. В. Аналіз залізничної інфраструктури з паралельними ходами напрямку Знамянка – Одеса [Текст] / Р. В. Вернигора, О. Ю. Папахов, Н. О. Логвінова // Вісник ДНУЗТ. Д.: ДІТ, 2012. – Вип. 42. - С. 74-80.
6. Логвінова Н. О. Зменшення експлуатаційних витрат за допомогою енерго-оптимального руху поїздів [Текст] / Н. О. Логвінова, Д. О. Босий, О. М. Полях //Вісник ДНУЗТ. Д.: ДІТ, 2012. – Вип. 42. - С. 110-114.
7. Логвінова Н.О. Моделювання роботи залізничної інфраструктури з паралельними ходами [Текст] / Н. О. Логвінова, Р. В. Вернигора, О. Ю. Папахов, // Науковий Вісник НГУ. Д.: НГУ, 2013. – Вип. 3. - С. 93-102.
8. Вернигора Р.В. Аналітичний розрахунок коефіцієнтів зйому вантажних поїздів пасажирськими в умовах швидкісного руху [Текст] / Р.В. Вернигора, О.Ю. Папахов, Н.О. Логвінова // Східно-Європейський журнал передових технологій –2013. № 2/3 (62) - С. 51-55
9. Акулиничев В.М. Организация вагонопотоков [Текст] / В.М. Акулиничев // – М.: Транспорт, 1979. – 223 с.
10. Акулиничев В.М. Организация вагонопотоков и маршрутизация перевозок. [Текст] / В.М. Акулиничев, О.С. Кирьянова, Н.Е. Боровой // - М.: Транспорт, 1970.- 320 с.
11. Сотников Е. А. Эксплуатационная работа железных дорог (состояние, проблемы, перспективы). [Текст] / Е.А. Сотников // - М.: Транспорт, 1986. – 256 с.
12. Сотников Е.А. Интенсификация работы сортировочных станций. [Текст] / Е.А. Сотников // - М.: Транспорт, 1979. - 239 с.
13. Сотников И.Б. Взаимодействие станций и участков железных дорог [Текст] / И.Б. Сотников // – М.: Транспорт, 1976, - 271 с.
14. Сотников И.Б. Эксплуатация железных дорог в примерах и задачах [Текст]/ И.Б. Сотников. // – М.: Транспорт, 1990. – 232 с.
15. Тулупов Л. П. Оперативное планирование эксплуатационной работы [Текст] /Л.П. Тулупов // – М: Транспорт, 1977. – 206 с.

16. Тулупов Л.П. Автоматизированные системы управления перевозочными процессами на железных дорогах [Текст] / Л.П. Тулупов, Е.М. Жуковский, А.М. Гусятинер. // – М.: Транспорт, 1991. – 208 с.
17. Угрюмов А.К. Суточная неравномерность вагонопотоков [Текст] / А.К. Угрюмов // Сб. научн. тр. ЛИИЖТа. – Л.: Транспорт, 1960. – Вып. 231. – С. 54-83.
18. Угрюмов А.К. Влияние суточной неравномерности на эксплуатацию железных дорог. [Текст] / А.К. Угрюмов // Дисс. на соиск. уч. степ. док. техн. наук. Л.: ЛИИЖТ, 1963.
19. Угрюмов А. К. Неравномерность движения поездов [Текст] / А.К. Угрюмов - М.: Транспорт. -1968.- 112 с.
20. Угрюмов А.К. Оперативное управление движением на железнодорожном транспорте [Текст] / А.К. Угрюмов, В.А. Кудрявцев, Г.М. Грошев, Г.А. Платонов / – М.: Транспорт, 1983. – 240 с.
21. Правдин Н.В. Прогнозирование грузовых потоков [Текст] / Н.В. Правдин, М.М. Дыканюк, В.Я. Негрей. // – М.: Транспорт, 1987. – 248 с.
22. Муха Ю.А. Суточные колебания перерабатываемых на станции вагонопотоков, их влияние на степень загрузки сортировочной горки и на простои составов в ожидании расформирования [Текст] / Ю.А. Муха, В.П. Батулин // Механизация и автоматизация сортировочного процесса на станциях: Межвуз. сб. науч. тр. ДИИТа. – Днепропетровск, 1977. – Вып. 194/11. – С. 20-26.
23. Буянова В.К. Система организации вагонопотоков [Текст] / В.К. Буянова, А.И. Сметанин, Е.В. Архангельский // М. Транспорт, 1988 -224 с.
24. Инструктивные указания по организации вагонопотоков на железных дорогах СССР/ МПС СССР. // М: Транспорт, 1984. - 256 с.
25. Бегам Л.Г. Экономика эксплуатации перегонов однопутных линий. [Текст]/ Л.Г. Бегам// Сб. научн. тр. МИИТа, вып. 12. М., Трансжелдориздат, 1929.
26. Васильев И.И. Графики и расчеты по организации железнодорожных перевозок. [Текст]/ И.И. Васильев // - М., Трансжелдориздат, 1941- 23 с.
27. Гибшман А.Е. Определение экономической эффективности капитальных вложений на железнодорожном транспорте. [Текст] / А.Е. Гибшман. // М., Трансжелдориздат, 1963
28. Максимович Б.М. Вопросы технико-экономического обоснования способов увеличения пропускной способности. [Текст]/ Б.М. Максимович // «Эксплуатация железных дорог», 1941, № 4.
29. Козлов В.Е. Рациональная загрузка железнодорожных линий. [Текст] / В.Е. Козлов// Сб. науч. тр. ЦНИИ МПС, вып. 361. М., «Транспорт», 1968
30. Козин Б.С. Экономически целесообразный уровень загрузки двухпутных линий. [Текст] / Б.С. Козин //В кн. «Вопросы эксплуатации железнодорожного транспорта». М., Трансжелдориздат, 1960 с.46 -54
31. Козлов И.Т. Рациональный уровень размеров движения для организации безостановочных скрещений на однопутных линиях. [Текст] / И.Т. Козин // В кн. «Вопросы эксплуатации железнодорожного транспорта». М., Трансжелдориздат, 1960 с. 36 – 44.



32. Максимович Б.М. Пропускная способность при частичной укладке вторых путей. [Текст]/ «Техника железных дорог», 1944, № 12.
33. Тихомиров И.Г. О проектировании, восстановлении и строительстве вторых путей. [Текст]/ И.Г. Тихомиров // Железнодорожный транспорт, 1946, № 4.
34. Тихомиров И.Г. Расчет двухпутных вставок для однопутных линий при автоблокировке. [Текст] / И.Г. Тихомиров // Сб. науч. тр. МИИТа, Вып. 72. М., Трансжелдориздат, 1948
35. Максимович Б.М. Экономические преимущества этапного переустройства однопутных линий в двухпутные. [Текст] / Б.М. Максимович // Техника железных дорог. 1949, №3
36. Каретников А.Д. Частичная укладка вторых путей. [Текст] / А.Д. Каретников // Техника железных дорог, 1948, №2
37. Каретников А.Д. Этапность перехода от однопутной линии к двухпутной. [Текст] / А.Д. Каретников, И.Г. Тихомиров // М., Трансжелдориздат, 1949.
38. Карновский А.И. К вопросу этапного переустройства однопутных линий в двухпутные. [Текст]/ А.И. Карновский // «Техника железных дорог», 1949, №11
39. Вдовиченко В.Н. Способы усиления пропускной способности однопутных железных дорог. [Текст]/В.Н. Вдовиченко // - М., Трансжелдориздат, 1951.
40. Айзенштадт М.З. Усиление пропускной способности двухпутных железнодорожных линий. [Текст] / М.З. Айзенштадт // Железнодорожный транспорт, 1967, № 12.
41. Чернюгов А.Д. Организация безостановочных обгонов поездов на двухпутных линиях. [Текст]/ А.Д. Чернюгов // Вестник ЦНИИ МПС», 1964, №6.
42. Козлов И.Т. Рациональный уровень размеров движения для организации безостановочного скрещения на однопутных линиях. [Текст] / И.Т. Козлов // В кн. «Вопросы эксплуатации железнодорожного транспорта», М., Трансжелдориздат, 1960.
43. Черномордик Г.И. Материалы по сравнительному анализу методов овладения грузооборотом. [Текст] / Г.И. Черномордик // - М., Трансжелдориздат, 1935.
44. Горинов А.В. Вопросы проектирования магистралей межрайонных железнодорожных сообщений. [Текст] /А.В. Горинов // Дис. на соик. уч. степ, доктора техн. наук. Л.: ЛИИЖТ, 1936.
45. Максимович Б.М. Выбор способов увеличения пропускной способности железнодорожных линий. [Текст] /Б.М. Максимович, Э.Д. Фельдман // Сб. науч. тр. ЦНИИ МПС, Вып. 147. М., Трансжелдортздат, 1967.
46. Нурмухамедов Р.З. Пути рациональной организации местной работы железных дорог [Текст] / Р. З. Нурмухамедов // - Ташкент: Изд-во "Узбекистан", 1969. - 131 с.
47. Сорокин В.П. Вопросы проектирования облегчения дорог с учетом этапного наращивания их мощности. [Текст] / В.П. Сорокин // Дисс. на соик. уч. степ. кандидата техн. наук. М.: МИИТ, 1936.

48. Фельдман Э.Д. Этапное увеличение пропускной и провозной способности однопутных линий. [Текст] / Э.Д. Фельдман, А.М. Баранов, В.Е. Козлов // Вестник ЦНИИ МПС, 1963, №6.- с. 18-24.
49. Пейсакзов Б.Э. Вес и скорость грузовых поездов. [Текст] / Б.Э. Пейсакзов // Сб. науч. тр. ЦНИИ МПС, Вып. 141, М. Трансжелдориздат, 1957.
50. Черномордик Г.И. Веса грузовых поездов и полезные длины станционных путей при электрической и тепловозной тяге. [Текст] / Б.Э. Черномордик // Сб. науч. тр. МИИТа, Вып. 86. М., Трансжелдориздат, 1957.
51. Борисов Д.П. Эффективность устройств СЦБ. [Текст] / Д.П. Борисов // Сб. науч. тр. ЦНИИ МПС, Вып. 66. М., Трансжелдориздат, 1953.
52. Козлов В.Е. Эффективность диспетчерской централизации на однопутных и двухпутных линиях. [Текст] / В.Е. Козлов // Сб. науч. тр. ЦНИИ МПС, Вып. 167. М., Трансжелдориздат, 1959.
53. Тихонов К.К. Выбор весовых норм грузовых поездов. [Текст]/К.К. Козлов // -М., «Транспорт», 1967.
54. Макаровичкин А.М. Эффективность применения пакетных графиков и строительства двухпутных вставок на однопутных линиях. [Текст] /А.М. Макаровичкин // Сб. науч. тр. МИИТа, Вып. 113, М., Трансжелдориздат, 1959. с. 26-34.
55. Макаровичкин А.М. Методика определения наиболее выгодной этапности овладения растущим грузопотоком. [Текст] /А.М. Макаровичкин // Сб. науч. тр. МИИТа, вып. 124, М., 1961. 4-14 с.
56. Макаровичкин А.М. Оптимизация развития пропускной способности железнодорожных линий [Текст] / А. М. Макаровичкин. // - М. : Транспорт, 1969. - 197 с.
57. Козин Б.С. Выбор схем этапного развития железнодорожных линий. [Текст] /Б.С. Козин, И.Т. Козлов // М., Трансжелдориздат, 1964.-156 с.
58. Козин Б. С. Этапное развитие транспортных устройств [Текст] / Б.С. Козин // Ин-т комплексных транспортных проблем при Госплане СССР. - М. : Транспорт, 1973. - 164 с.
59. Зеленков В.И. Сравнение технико-экономической эффективности различных способов усиления пропускной способности двухпутных железных дорог. [Текст] / В.И. Зеленков // Сб. науч. тр. МИИТа, Вып. 168. М., 1963.
60. Горинов А.В. Математические основы оптимизации этапного развития транспортных систем. [Текст] /А.В. Горинов //Сб. док-ов Первой всесоюзной конференции по оптимизации и моделированию транспортных сетей. Киев, 1967.
61. Козлова С.Б. Выбор схем этапного развития параллельных железнодорожных направлений. [Текст] /С.Б. Козлова// Сб. науч. тр. ИЕТП, Вып. 5, 1965. 99 с.
62. Ковшова Г.Н. Оперативные и перспективные сетевые задачи. [Текст] / Г.Н. Ковшова, Е.П. Нестеров//Центр. экон.-матем. ин-ут АН СССР. М.: 1965. 45 с.
63. Лившиц В.Н. Выбор рациональной схемы развития транспортной сети. [Текст] / В.Н. Лившиц, А.Т. Козлов//В кн. «Использование математических ме-

тодов и ЭВМ при планировании развития и работы транспорта». М., Транспорт, 1967.

64. Лившиц В.Н. О применении математических методов при выборе оптимальной схемы развития транспортной сети. [Текст] /В.Н. Лившиц// Сб. докл. Первой всесоюзной конференции по оптимизации и моделированию транспортных сетей. Киев, 1967.

65. Інструктивні вказівки з організації вагонопотоків на залізницях України [Текст] / Міністерство транспорту та зв'язку України, державна адміністрація залізничного транспорту України, Укрзалізниця. // – К: ТОВ «Швидкий рух». – 2005. – 100 с.

66. Інструкція з розрахунку наявної пропускної спроможності залізниць України: ЦД – 0036 [Текст]/ К.: Транспорт України, 2002. – 36 с

67. Практичні рекомендації з технолого-економічного управління експлуатаційною роботою залізниць [Текст]/№ 412-Ц ЦД-0068. // Затв. наказом Укрзалізниці від 10.11.2006.

68. Державна цільова програма реформування залізничного транспорту на 2010-2019 роки [Текст] / Затверджено пост. Кабінету Міністрів України від 16.12.2009 р. № 1390 (в редакції постанови Кабінету Міністрів України від 26.10.2011 р. N 1106

69. Дувалян С.В. Методы и алгоритмы решения задач планирования и учета на железнодорожном транспорте [Текст] / С.В. Дувалян. – М.: Транспорт, 1969. – 256 с.

70. Аветикян А.А. Потенциал транзитности вагонопотоков: метод динамического прогнозирования транзитности. [Текст] / А.А. Аветикян. // М.: Транспорт, 1981. – 191 с.

71. Кутыркин А.В. Динамическая модель планирования и оперативного управления вагонопотоками. [Текст] /А.В. Кутыркин // Вестник ВНИИЖТ №8, 1981. С. 7 -13.

72. Кутыркин А.В. Разработка моделей и алгоритмов решения функциональных задач управления транспортными системами и производством [Текст] /А.В. Кутыркин // Дис. д-ра техн. наук: 05.22.01: Москва, 2004 - 383 с.

73. Бородин А.Ф. Новые принципы взаимодействия узлов и направлений железных дорог [Текст] / А.Ф. Бородин // Технология перевозки грузов в условиях рыночной экономики. Сб. науч. тр. – М.: Транспорт, 1993. – С.48-56.

74. Александров А.Э. Расчет и оптимизация транспортных систем с использованием моделей (теоретические основы, методология) [Текст] /А.Э. Александров // Дис. д-ра техн. наук: 05.22.08: Екатеринбург, 2008 – 285 с.

75. Данько М.І. Оптимізація використання порожнього парку вагонів за допомогою генетичних алгоритмів. [Текст] / М.І. Данько, О.В. Лаврухін, Л.І. Рибальченко // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – 2011. – Вип. 122. – С.7-12.

76. Бутько Т. В. Планування перевезень вантажу на основі раціональної організації вагонопотоків на залізниці із застосуванням теорії нечітких множин [Текст] / Т. В. Бутько, О. В. Лаврухін // Східно-Європейський журнал передових технологій. –2004. – Спецвипуск 7 (1). – С. 16-19.

77. Бутько Т.В. Формування логістичної технології просування вантажопотоків за жорсткими нитками графіка руху поїздів [Текст] / Т.В. Бутько, Д.В. Ломотько, А.В. Прохорченко, К.О. Олійник. // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – 2009. – Вип. 111. – С.23-31.

78. Ломотько Д.В. Удосконалення системи управління парком вантажних вагонів на залізницях України в нових умовах [Текст] / Д.В. Ломотько, В.М. Запара, В.В. Кулешов, А.В. Кулешов // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – 2010. – Вип. 119. – С.28-35.

79. Ломотько Д.В. Оптимізація системи доставки вантажів на основі множини критеріїв ресурсозберігаючих підходів [Текст] / Д.В. Ломотько, Д.І. Мартичян // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2006. – № 3/2. – С. 6-9.

80. Левин Д. Ю. Оптимизация потоков поездов [Текст] / Д. Ю. Левин // – М.: Транспорт, 1998. – 175 с.

81. Левин Д.Ю. Составообразование. Метод планирования и управления [Текст] / Д.Ю. Левин, В.Л. Павлов // Железнодорожный транспорт. – 2001. – № 3. – С.53-55.

82. Шпакович Р. Ідентифікація параметрів моделі руху поїзда [Текст] / Р. Шпакович // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". - Львів, 2008.- № 616 : Комп'ютерні науки та інформаційні технології. – С. 105-110.

83. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем - искусство и наука [Текст] / Р. Шеннон - М.: «Мир». 1978. – 414 с.

84. Персианов В. А. Системотехнические расчеты транспортных сооружений на ЭВМ методом моделирования [Текст] / В. А. Персианов, Н. С. Усков // Труды Союз-дорНИИ, вып. 36. Балашиха, изд. ДорНИИпроекта (ротапринт), 1968.

85. Козлов И. Т. Пропускная способность транспортных систем [Текст] / И. Т. Козлов – М.: Транспорт, 1985. – 214 с.

86. Нагорный Е. В. Моделирование функционирования комплекса "Сортировочная станция - прилегающие участки " с помощью сетей Петри [Текст] // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте / Е. В. Нагорный, Е. С. Алешинский - 2000. – № 2. – С. 98-103.

87. Нагорный Е. В. Економіко-математична модель функціонування логістичного ланцюга транспортного комплексу "Сортувальна станція – прилеглі ділянки" [Текст] // Зб. наук, праць ХарДАЗТ – Вип. 42. / Е. В. Нагорний, Е. С. Алешинский – 2000. – С. 51-57.

88. Нагорный Е. В. Экономико-математическая модель функционирования логистической цепи транспортного комплекса "Сортировочная станция - прилегающие участки". Часть 2. Методика определения параметров целевой функции / Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте [Текст]// Е. В. Нагорный, Е. С. Алешинский – 2000. – №6. – С. 30-42.

89. Бобровский В. И. Техничко-економическое управление железнодорожными станциями на основе эргатических моделей // Информационно - управ-

ляющие системы на железнодорожном транспорте [Текст]/ В. И. Бобровский, Д. Н. Козаченко, Р. В. Вернигора – 2000. – №6. – С. 30-42.

90. Козаченко Д.М. Розробка ергатичної моделі диспетчерської дільниці [Текст]/ Д. М. Козаченко, Г. Я. Мозолевич, Д. І. Вовк // Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту: тези доп. LXVII Міжнар. науково-практ. конф. – Д.: ДІТ, 2007. – С.131–132.

91. Козаченко Д. М. Дослідження організації руху поїздів на залізничному напрямку [Текст] / Д. М. Козаченко, Г. Я. Мозолевич, О. В. Власюк // Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту: тези доп. LXIX Міжнар. науково-практ. конф. – Д.: ДІТ, 2009. – С. 78-79.

92. Козаченко Д. М. Дослідження параметрів потоків поїздів на залізничних напрямках [Текст] / Д. М. Козаченко, Г. Я. Мозолевич // Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту: тези доп. LXX Міжнар. науково-практ. конф. – Д.: ДІТ, 2010.

93. Козаченко Д. М. Енергозбереження за рахунок розподілу поїздопотоків по паралельним ланкам залізничної мережі [Текст] / Д. М. Козаченко Г. Я. Мозолевич // Энергосбережение на железнодорожном транспорте. 1-я Международная научно-практическая конференция. – Мисхор.: ДНУЖТ, 2010. – С. 7.

94. Козаченко Д. М. Визначення раціональних параметрів поїздопотоків на залізничних напрямках [Текст] // Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту. Тези доп. LXXI Міжнар. науково-практ. конф. – Д.: ДІТ. – 2011 р. – С. 135-136.

95. Мозолевич Г. Я. Аналіз впливу параметрів поїздів на експлуатаційні витрати по просуванню вагонопотоку на залізничному напрямку [Текст] / Г. Я. Мозолевич, Г. В. Мураховська, Б. Р. Дяків // Проблеми економіки транспорту: тези доп. VIII міжнар. наук. конф. – Д.: ДНУЗТ, 2009. – С. 57.

96. Мозолевич Г. Я. Дослідження впливу способів формування та відправлення поїздів на показники роботи залізничних станцій та напрямків [Текст] / Г. Я. Мозолевич, О. В. Власюк // Науково-технічний прогрес на залізничному транспорті: тези доп. 69 науково-техніч. конф. студентів та аспірантів. – Д.: ДІТ, 2009. – С. 90–91.

97. Макаровичин, А. М. Использование и развитие пропускной способности железных дорог [Текст] / А. М. Макаровичин, Ю. В. Дьяков.// - М. : Транспорт, 1981. - 287 с.

98. Макаровичин А.М. Пути повышения пропускной способности транспортных систем [Текст] // Повышение пропускной способности железных дорог и интенсификация поездной работы: Сб. Всесоюз. ин-та науч. и техн. информации / Итоги науки и техники. - М.: 1987. - с. 1-74.

99. Дьяков Ю.В. Рациональное соотношение параметров постоянных устройств и технического обслуживания линий [Текст] // Тр. МИИТа. - вып. 657. - 1981. - С. 12-31.

100. Грунтов П.С. Управление эксплуатационной работой и качеством перевозок на железнодорожном транспорте Учебник для вузов ж.д. транспорта [Текст]/ П.С. Грунтов, Ю.В. Дьяков, А.М. Макаровичин //- М.: Транспорт, 1994. - 543с.

101. Козлов В.Е. Проблема развития пропускной и провозной способности железных дорог (теория, расчеты, внедрение) [Текст] / В.Е. Козлов // Дисс. на соиск. уч. степени докт. техн. наук. - М.: ВНИИЖТ, 1980. - 400 с.
102. Батулин А.П. Теория выбора оптимального развития технического оснащения сети железных дорог [Текст] / А.П. Батулин // Дисс. на соиск. уч. степени докт. техн. наук. - М.: МИИТ, 2000.- 336 с.
103. Батулин А.П. Математическая постановка задачи развития сети железных дорог [Текст] / А.П. Батулин // Тр. МИИТ. 1990. Вып. 842. С. 75-89.
104. Батулин А.П. Оптимальное развитие линейных транспортных систем [Текст] / А.П. Батулин // М.: Транспорт, 1991. 176с.
105. Батулин А.П. Метод дифференциальных оценок для определения оптимальных сроков реконструкции транспортных объектов [Текст] / А.П. Батулин // Тр. МИИТ. 1992. Вып. 848. С. 4-21.
106. Железные дороги Бельгии [Текст] // Железные дороги мира. №5, 1999. С.40-44.
107. Железные дороги Швейцарии. Реформы и развитие [Текст] // Железные дороги мира. №3, 1999. С.5-8.
108. Железные дороги Австрии [Текст] // Железные дороги мира. 1999. №9. С. 15-18.
109. Проблемы пропускной способности железных дорог Великобритании [Текст] // Железные дороги мира. 1999. №1. С.45-50.
110. Программа развития сети железных дорог Германии [Текст]// Железные дороги мира. 1999. №1. С.5-10.
111. P. Laval. La Vie du Rail [Текст] /2007, N 3111, p. 10-14
112. Dalton G. European Railway Review [Текст] / 2001. – № 4. – P.65-72.
113. D.J. Bowen. Railway Age [Текст]/ 2008, N 8 p. 37 -39
114. D. Lehlbach, R. Blanchard. Railway Age [Текст] / 2010, N 1, p. 51-55
115. Державна цільова програма розвитку портів Одеського регіону [Текст]
116. Про нормативи графіка руху поїздів на 2010-2011 рік [Текст] / наказ начальника Одеської залізниці №311/Н від 09.06.2009 р.
117. Гребенюк П.Т. Правила тяговых расчетов для поездной работы [Текст]/ П. Т. Гребенюк, А. Н. Долганов, О. А. Некрасов А. Л. Лисицын, П. П. Стромский, А. П. Боровиков, Т. С. Чукова. В. Г. Григоренко, В. М. Первушина // М.: Транспорт, 1985. - 287 с.
118. Гибшман А. Е. О размещении грузовых потоков на параллельных ходах [Текст]/ А. Е. Гибшман // Вестник ВНИИЖТа, 1965, № 6, с. 3—6.
119. Дубовицкий А. Я. Задачи на экстремум при наличии ограничений [Текст]/ А. Я. Дубовицкий, А. А. Милютин //Журнал Высшая математика и математическая физика, 1965, № 3, с. 395—453.
120. Ермольев Ю. М., Мельник И. М. Экстремальные задачи на графах [Текст]/ Ю. М . Ермольев, И. М. Мельник //Киев, «Наукова думка», 1968, 174 с.
121. Левит Б. Ю. О расценке сети в нелинейной задаче оптимального распределения потоков [Текст]/ Б. Ю. Левит// Сборник Трудов ИКТП, вып. 19. М., «Транспорт», 1970, с. 59—80.

122. Левит Б. Ю. Нелинейные сетевые транспортные задачи [Текст]/Б.Ю. Левит, В.Н. Лившиц//М., «Транспорт», 1972, 145 с.
123. Тимчасова інструкція з організації швидкісного руху пасажирських поїздів. Вимоги до інфраструктури та рухомого складу [Текст]/ Затв. нак. УЗ від 12.07.02 № 360-Ц
124. Бабаєв М.М. Вплив швидкості руху поїздів на вимоги до інформаційного забезпечення локомотивних систем сигнального авторегулювання і пропускної здатності залізничних ліній [Текст]/ М.М. Бабаєв, С.В. Кошевий, А.Є. Зайцев // Збірник наукових праць УкрДАЗТ, 2010, вип. 118, с 12 – 21.
125. Лисенков В.М. Статистическая теория безопасности движения поездов [Текст]: учеб. для вузов / В.М. Лисенков. - М.: ВИНТИ РАН, 1999. - 332 с.
126. Лисенков В. М. Теория автоматических систем интервального регулирования [Текст]/ В.М. Лисенков М.: Транспорт, 1987 г., 150 с.
127. Інструкція зі складання графіку руху поїздів на залізницях України [Електронний ресурс]: /ЦД-0040 затв.: наказ Укрзалізниці 05.04.02. № 170-Ц/Мін-во трансп. України. - К. Транспорт України, 2002.
128. Вернигора Р. В. Аналітичний розрахунок коефіцієнтів знімання вантажних поїздів пасажирськими в умовах швидкісного руху [Текст]/ Р. В. Вернигора, О. Ю. Папахов, Н. О. Логвінова // Східно-Європейський журнал передових технологій № 3, Харків, –2013. № 2/3 (62) - С. 51-55
129. Габа В.В. Оптимізація параметрів залізничної транспортної системи з метою прискорення доставки вантажів [Текст] / автореф. дис. канд. техн. наук. 05.22.01 // В.В. Габа. Мін-во трансп. та зв'язку України Київ. ун-т економіки і технологій трансп. - К., 2005. - 18 с.
130. Цейтлін С.Ю. Аналіз та оперативне прогнозування електроспоживання на тягу поїздів на базі розвитку інформаційної моделі процесу перевезень [Текст]/ С.Ю. Цейтлін//Автореферат дис. канд. техн. наук, Дніпропетровськ, 1999.- 20 с
131. Землянов В.Б. Енергооптимальні технології аналізу та регулювання електроспоживання на тягу поїздів [Текст]/ В.Б. Землянов//Автореферат дис. канд. техн. наук, Дніпропетровськ, 2000.- 22 с
132. Економіко-математичне обґрунтування розподілу поїздопотоків на напрямку залізничних перевезень з паралельними ходами Знам'янка – Одеса [Текст] / Н. О. Логвінова // Вісник ДНУЗТ. Д.: ДІТ, 2013. – Вип. 2 (44). - С. 92-98.

Наукове видання

**Логвінова** Наталія Олександрівна

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ РУХУ ПОЇЗДІВ  
НА ЗАЛІЗНИЧНИХ НАПРЯМКАХ З ПАРАЛЕЛЬНИМИ ХОДАМИ**

Монографія

Видано в авторській редакції

Підп. до друку 11.02.2014. Формат 30×42/4.  
Папір офсетний. Ризографія. Ум. друк. ар. 9,0.  
Обл.-вид. арк. 9,0. Тираж 25 пр. Зам. №

Підготовлено до друку та видруковано  
у Державному вищому навчальному закладі  
«Національний гірничий університет».  
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру ДК № 1842 від 11.06.2004.

49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19