

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ

Дніпропетровський національний університет
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

На правах рукопису

ГУСАК Марина Анатоліївна

УДК 625.1: 656.222.1

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ
ПРИ СПЕЦІАЛІЗАЦІЇ НАПРЯМКІВ ДЛЯ ВАНТАЖНИХ І
ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ**

Спеціальність 05.22.06 – залізнична колія

ДИСЕРТАЦІЯ

на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Науковий керівник:
доктор технічних наук, професор
Курган Микола Борисович

Дніпропетровськ - 2012

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1	
АНАЛІЗ СТРАТЕГІЇ РОЗПОДІЛУ ВАНТАЖНИХ І ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ПРИ ВПРОВАДЖЕННІ ШВИДКІСНОГО РУХУ ПОЇЗДІВ	15
1.1. Огляд наукових досліджень з питань реконструкції залізниць при впровадженні швидкісного руху поїздів	15
1.2. Оцінка розподілу вантажних і пасажирських перевезень на мережі залізниць України	18
1.3. Класифікація залізничних напрямків за спеціалізацією перевезень.....	25
1.4. Висновки по першому розділу.....	27
РОЗДІЛ 2	
ФОРМУВАННЯ СУМІСНОЇ СХЕМИ ОВОЛОДІННЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯМИ ДЛЯ ПАРАЛЕЛЬНИХ ЗАЛІЗНИЧНИХ ЛІНІЙ....	28
2.1 Загальні положення.....	28
2.2 Математична інтерпретація задачі.....	30
2.3 Методика формування технічних станів залізниць на паралельних ходах.....	32
2.4 Розробка математичної моделі.....	35
2.5 Критерії оцінки варіантів	37
2.6 Дослідження ефективності розмежування напрямків пасажирського та вантажного руху за критерієм витрат на утримання та ремонт колійної інфраструктури.....	41
2.6.1 Зміна стану об'єктів.....	41
2.4.2 Методика дослідження.....	44
2.5 Висновки по другому розділу.....	49

РОЗДІЛ 3

ВПЛИВ РУХОМОГО СКЛАДУ ПРИ РІЗНІЙ СТРУКТУРІ ПОЇЗДОПОТОКУ НА ЗАЛІЗНИЧНУ КОЛІЮ51

3.1 Загальна дія рухомого складу на колійну інфраструктуру.....	51
3.2 Дослідження впливу структури поїздопотоків та інтенсивності руху поїздів на знос колійної інфраструктури.....	53
3.3 Робота поздовжніх сил.....	58
3.4 Робота вертикальних сил.....	59
3.5 Робота поперечних сил.....	60
3.5.1 Направляючі, бокові й рамні сили.....	60
3.5.2 Експериментальні дослідження бокових сил.....	65
3.5.3 Непогашена відцентрова сила.....	69
3.5.4 Розрахунки непогашених прискорень.....	71
3.6 Розподілення витрат на утримання колії в залежності від структури поїздопотоків.....	74
3.7 Висновки по третьому розділу.....	85

РОЗДІЛ 4

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПЛАНУ ЛІНІЇ НА ІСНУЮЧИХ ЗАЛІЗНИЦЯХ ПРИ СПЕЦІАЛІЗАЦІЇ НАПРЯМКІВ ДЛЯ ВАНТАЖНИХ І ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ87

4.1 Аналіз підходів до встановлення підвищення зовнішньої рейки в кривих.....	87
4.2 Фактори, що впливають на величину підвищення зовнішньої рейки.....	90
4.3 Співвідношення швидкостей вантажних та пасажирських поїздів та їхній вплив на середньозважену швидкість потоку поїздів.....	95
4.4 Моделювання потоку поїздів.....	98
4.5 Дослідження впливу структури поїздопотоків на вибір довжини перехідних кривих при реконструкції залізниць.....	103
4.5.1 Загальні положення.....	103
4.5.2 Суто пасажирський рух – напрямок А.....	105

4.5.3 Переважно пасажирський рух – напрямок Б.....	107
4.5.4 Суміщений рух – напрямок В.....	110
4.5.5 Переважно вантажний рух – напрямок Г.....	111
4.5.6 Дослідження динамічних характеристик перехідних кривих.....	112
4.6 Визначення мінімального радіуса кривих в плані з урахуванням динаміки перевезень.....	114
4.6.1 Дослідження впливу параметра С на вартість перебудови кривих і динамічні показники взаємодії рухомого складу в криволінійних ділянках.....	114
4.6.2 Суто пасажирський (швидкісний) і переважно пасажирський (прискорений) рух - напрямки А і Б.....	127
4.6.3 Суміщений рух - напрямок В.....	130
4.6.4 Вантажний рух - напрямок Г.....	137
4.6.5 Визначення факторів і оцінка їхнього впливу на величину мінімального радіусу.....	141
4.6.6 Класифікація залізничних напрямків за спеціалізацією перевезень.....	145
4.7 Висновки по четвертому розділу.....	147

РОЗДІЛ 5

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ

ЗА РАХУНОК РОЗМЕЖУВАННЯ ПОЇЗДОПОТОКІВ 150

5.1. Існуючі маршрути руху пасажирських поїздів на мережі залізниць, що досліджується	150
5.2. Вибір показників для оцінки конкурентних варіантів.....	150
5.2.1. Пробіг поїздів (в поїздо-км і в тонно-км брутто).....	151
5.2.2. Швидкість руху (час руху) пасажирських поїздів.....	152
5.2.3. Потреба в енергоресурсах.....	152
5.3. Розробка математичних моделей раціонального розподілу поїздопотоків.....	153

5.4. Практичне застосування розробленої методики на ділянках міжнародних транспортних коридорів	157
5.5 Вирішення задачі раціонального розподілу поїздопотоків за показником сумарної робота сил, що діють на колію.....	164
5.6 Висновки по п'ятому розділу.....	167
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	169
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	172
ДОДАТОК А.....	183
ДОДАТОК Б.....	185
ДОДАТОК В.....	191
ДОДАТОК Г.....	199
ДОДАТОК Д.....	212

ВСТУП

Вигідне, з погляду транспортних перевезень, геополітичне розташування України не використовується сьогодні повною мірою. Міжнародні транспортні коридори, що проходять територією України, не відповідають вимогам МСЗ і ОСЗ, бо не забезпечують швидкість руху вантажних поїздів 100-120 км/год, пасажирських – 160-200 км/год. Досвід впровадження швидкісного руху на міжнародних лініях показує, що наявність вантажних поїздів є головним гальмом для здійснення швидкісного пасажирського руху як з позицій організації руху, так і з позицій утримання колії в технічно справному стані.

В той же час, впровадження в Україні швидкісного руху пасажирських поїздів з виходом на європейську мережу і країн СНД є об'єктивною необхідністю для вирішення комплексу соціальних, економічних і екологічних проблем. Але пропускна спроможність окремих напрямків залізниць не задовольняє вимогам щодо обсягів та швидкості вантажних перевезень, а суміщений рух вантажних і пасажирських поїздів по одних і тих же ділянках стримує впровадження швидкісного руху. Збільшення пропускної спроможності та впровадження швидкісного руху на українських залізницях набагато складніше завдання, ніж на західноєвропейських, і вирішення його вимагає комплексу особливих і специфічних підходів.

До 60-х років минулого століття швидкості вантажних поїздів становили 2/3 швидкості пасажирських. За минулий час різниця між максимальною швидкістю вантажних і пасажирських поїздів $V_{пас} - V_{ван}$ збільшилась в 1,5-2 рази. Суттєво відрізняються й маси поїздів. Сьогодні загострились проблеми експлуатаційного і технічного характеру пов'язані із співвідношенням швидкостей вантажних і пасажирських поїздів, розладами верхньої будови колії. При значній різниці у швидкостях пасажирських і вантажних поїздів зменшується провізна спроможність лінії, на якій впроваджується швидкісний рух, і у випадку недостатніх резервів виникає необхідність її посилення.

Як показує практика, суміщений рух пасажирських і вантажних поїздів негативно впливає на умови експлуатації і плавність руху. Якщо після модернізації залізнична колія здається з оцінкою „відмінно” (кількість балів, що характеризує стан колії, близько 0), то після експлуатації протягом півроку кількість балів зростає до 20-30, а до кінця року – до 100. Наприклад, на ділянці Київ-Дніпропетровськ, який готувався для прискореного руху 140 км/год, вантажонапруженість після модернізації збільшилась на 30 %, що привело до погіршення стану колії і комфортності їзди.

Розподіл вантажного й пасажирського руху – головний принцип організації швидкісного руху і перші кроки в цьому напрямку зроблені в Україні. Укрзалізницею визначено спеціалізовані маршрути пасажирських і вантажних поїздів з урахуванням не тільки внутрішніх потреб у перевезеннях, але й потреб перевезень країн-сусідів, а також з урахуванням вимог до перевезень по міжнародних транспортних коридорах. Зокрема, програма електрифікації залізниць України на 2011-2016 рр., передбачає електрифікацію 1562 км експлуатаційної довжини залізничних колій на дільницях, що входять у напрямки розмежування руху пасажирських і вантажних поїздів та на дільницях впровадження швидкісного руху.

Завданням даної дисертаційної роботи є встановлення умов оптимальної роботи залізничної колії при розмежуванні пасажирського й вантажного руху поїздів, тобто при спеціалізації залізничних напрямків для перевезень вантажів і пасажирів.

Актуальність теми.

Вітчизняні й закордонні дослідження показують, що спільний рух вантажних і швидкісних пасажирських поїздів майже вдвічі збільшує витрати на утримання колії. При спільному русі вантажних і швидкісних пасажирських поїздів різко знижується пропускна спроможність і надійність виконання графіка руху. Спільний рух швидкісних пасажирських і вантажних поїздів приводить до того, що пропуск останніх стає причиною суттєвого зниження швидкості руху. Унаслідок цього на практиці часто

прибігають до передачі транзитного вантажопотоку на паралельні ходи, що, у свою чергу може визвати необхідність реконструкції таких напрямків для освоєння частини вантажопотоку, що передається.

Актуальність дослідження визначається зміною в останні роки умов роботи залізниць при впровадженні швидкісного руху поїздів, що вимагає конкретних рішень по встановленню раціонального співвідношення швидкостей руху поїздів різних категорій, забезпеченню оптимальних умов роботи залізничної колії, підсиленню залізничних ліній у випадку недостатніх резервів пропускної й провізної спроможності, встановленню раціональних параметрів плану на напрямках розмежування вантажного й пасажирського руху.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Робота виконана відповідно до головних напрямків, які сформульовані в «Транспортній стратегії України на період до 2020 року» [1] та «Концепції впровадження швидкісного та високошвидкісного руху пасажирських поїздів на залізницях України в 2005-2015 роках», затвердженої Міністерством транспорту та зв'язку України [2].

Обраний напрямок досліджень пов'язаний також з виконанням науково-дослідних робіт у Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна згідно з планом НДДКР Укрзалізниці. Автор дисертації брала участь в науково-дослідних роботах, що виконувались за завданням Головного управління розвитку і технічної політики (ЦТех), Головного управління перевезень (ЦД), Придніпровської і Львівської залізниць і є автором відповідних розділів таких звітів:

1. Розробка рекомендацій щодо підвищення пропускної й провізної здатності напрямку Лозова-Севастополь (№ ДР 0107U003009)
2. Проведення досліджень та розробка методики економічної оцінки впливу інтенсивності вантажного та пасажирського руху на знос інфраструктури залізничного транспорту (№ ДР 0107U010379).

3. Визначення швидкості руху поїздів в кривих ділянках колії на напрямку Красне-Тернопіль-Підволочиськ (№ ДР 0109U002991)

4. Аналіз вагонопотоків та розробка рекомендацій до нормативу з уніфікації маси та довжини поїздів на основних напрямках залізниць України (№ ДР 0108U010673).

5. Визначення проектних параметрів плану ділянки залізниці Львів-Красне-Зборів з мінімальними витратами на перебудову кривих для організації швидкісного руху (№ ДР 0110U007507).

6. Проведення досліджень та оцінка економічної ефективності усунення обмеження швидкості за параметрами і станом залізничної колії (№ ДР 0110U008909).

Мета роботи. Метою дисертаційної роботи є визначення заходів для підвищення ефективності роботи залізничної колії за умови спеціалізації напрямків для вантажних і пасажирських перевезень шляхом передачі частини транзитного вантажопотоку на паралельні ходи.

Завдання дослідження:

1. Виконати аналіз наукових досліджень з питань реконструкції залізниць при впровадженні швидкісного руху поїздів.

2. Удосконалити методику формування раціональної схеми оволодіння перевезеннями для паралельних залізничних напрямків при впровадженні на одній із залізничних колій швидкісного руху пасажирських поїздів.

3. Розробити комплексний показник оцінки роботи сил взаємодії колії і рухомого складу; на його основі дослідити вплив рухомого складу на роботу залізничної колії при перерозподілі вантажопотоків між паралельними залізничними напрямками.

4. Дослідити ефективність розмежування напрямків пасажирського та вантажного руху за критерієм витрат на утримання та ремонт колійної інфраструктури.

5. Розробити метод імовірнісного моделювання потоку, який за розподілом швидкості й маси поїздів дозволить спрогнозувати параметри плану лінії.

6. Дослідити вплив структури й динаміки зміни поїздопотоків на вибір проектних параметрів плану лінії при реконструкції залізниці.

7. Розробити класифікацію напрямків залізниці за категоріями поїздів і структурою поїздопотоків для визначення особливостей роботи залізничної колії на кожному з таких напрямків.

8. Розробити метод раціонального розподілу поїздопотоків між паралельними ходами для підвищення ефективності роботи залізничної колії за рахунок спеціалізації напрямків перевезень.

Об'єкт досліджень – процес роботи залізничної колії на паралельних ходах.

Предмет досліджень – технічні та економічні показники ділянок залізниць при перерозподілі перевезень між паралельними напрямками.

Методи досліджень. Для вирішення поставлених у дисертації задач застосовані: аналіз літературних джерел і узагальнення існуючих досліджень з питань роботи залізничної колії на напрямках суміщеного й швидкісного руху поїздів; методи математичного моделювання й теорії тяги поїздів – при формуванні раціональної схеми оволодіння перевезеннями для паралельних залізничних напрямків та при виборі раціонального розподілу вантажних і пасажирських перевезень залежно від спеціалізації напрямків; методи статистичного аналізу – при обробці даних швидкістемірних стрічок поїздів різних категорій; методи імовірнісного моделювання потоку поїздів – для прогнозування проектних параметрів плану залізниці; метод техніко-економічного порівняння варіантів – для визначення періодичності ремонтів колії; методи векторної оптимізації – для перерозподілу поїздопотоків на мережі залізниць з метою зменшення роботи поздовжніх, поперечних і вертикальних сил, що діють на залізничну колію.

Наукова новизна отриманих результатів.

1. Набув подальшого розвитку метод формування раціональної схеми етапного оволодіння перевезеннями для паралельних залізничних напрямків, який дозволяє враховувати сумісну роботи залізничної колії при впровадженні на одній з них швидкісного руху поїздів.

2. Удосконалено метод імовірнісного моделювання потоку поїздів, на основі якого прогнозуються середньозважена швидкість, підвищення зовнішньої рейки для перспективних умов експлуатації. На відміну від існуючого, метод дозволяє прогнозувати і враховувати закон розподілу швидкостей, маси і кількості поїздів за розрахунковий період.

3. Вперше запропоновано критерій для порівняння варіантів розмежування вантажного й пасажирського руху, який базується на застосуванні комплексного показника роботи сил взаємодії колії і рухомого складу, що дає змогу оцінювати знос колійної інфраструктури від потоку поїздів за тривалий час експлуатації залізниці.

4. Вперше на основі статистичного аналізу розподілу швидкостей руху, існуючих критеріїв безпеки й плавності руху поїздів, осьових навантажень отримано розширену класифікацію напрямків, яка дозволяє враховувати характер руху й диференційовано визначати проектні параметри плану залізниці.

5. Вперше виконано аналіз перерозподілу поїздопотоків з використанням розробленої математичної моделі, що дозволило визначити напрямки зменшення роботи сил: поздовжніх – за рахунок встановлення раціональної швидкості руху поїздів, непогашених відцентрових – за рахунок встановлення оптимального підвищення зовнішньої рейки в кривих, вертикальних – за рахунок відокремлення вантажного руху від пасажирського, що в цілому веде до скорочення витрат на ремонт колії та рухомого складу.

Практичне значення отриманих результатів.

1. Вирішена задача підвищення швидкості руху пасажирських поїздів (на швидкісному ході) та збільшення пропускної спроможності (на вантажному ході) за умови мінімізації дії динамічних сил і розладу колії при визначених раціональних параметрах плану залізничної колії, що враховується під час розробки проектів.

2. Встановлені схеми раціонального розподілу вантажних і пасажирських перевезень на замкнутих полігонах Південно-Західної, Придніпровської й Львівської залізниць, що дозволило визначати раціональні параметри плану залізниць, зменшити витрати на поточне утримання й експлуатаційні витрати на перевезення.

3. Запропонована розширена класифікація напрямків залізниць за категоріями поїздів і структурою поїздопотоків врахована при підготовці нормативного документа «Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України (ЦП-0269)», частина 2 «Улаштування та утримання колії на ділянках прискореного руху поїздів при швидкостях 141-160 км/год».

4. Розроблена методика економічної оцінки впливу інтенсивності вантажного та пасажирського руху на знос верхньої будови колії, яка дозволяє давати попередню оцінку впливу різних факторів, не виконуючи багатоваріантні розрахунки та тривалі статистичні спостереження.

Наукові результати й методи дослідження використовуються на кафедрі «Проектування і будівництво доріг» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна в навчальному процесі, під час дипломного проектування та в магістерських роботах, що виконуються за реальними вихідними даними на замовлення підприємств залізничного транспорту.

Особистий внесок здобувача. Постановку мети й завдань досліджень виконано разом з науковим керівником. Усі наукові положення, розробки й результати досліджень, що виносяться на захист, отримані особисто автором.

У наукових працях, що опубліковані в співавторстві, особистий внесок автора такий.

У [3] розроблено методику сумісного формування раціональної схеми оволодіння перевезеннями для паралельних залізничних напрямків. У [4] запропоновано алгоритм визначення мінімальних радіусів кривих з урахуванням розподілу вантажних і пасажирських перевезень. У [5] розроблена методика раціонального розподілу поїздопотоків як за одним, так і за декількома показниками одночасно. У [6] запропоновано новий підхід до розподілу вантажних і пасажирських перевезень між паралельними ходами, що враховує вплив поїздопотоків на залізничну колію. У [7] розроблено алгоритм визначення параметра C , що забезпечує максимально допустиму швидкість при мінімальних витратах на перебудову кривих і раціональних динамічних показниках взаємодії рухомого складу і колії.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати дисертації доповідались і отримали схвалення на таких конференціях:

65-й Міжнародній науково-практичній конференції „Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту” (Дніпропетровськ, травень 2005 р.); 66-й Міжнародній науково-практичній конференції „Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту” (Дніпропетровськ, травень 2006 р.); 67-й Міжнародній науково-практичній конференції „Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту” (Дніпропетровськ, травень 2007 р.); XII Міжнародній конференції „Проблеми механіки залізничного транспорту” (Дніпропетровськ, травень 2008 р.), VIII Міжнародній науковій конференції „Проблеми економіки транспорту” (Дніпропетровськ, квітень 2009 р.), 70-й Міжнародній науково-практичній конференції “Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту” (Дніпропетровськ, квітень 2010 р.), на V Міжнародній науково-практичній конференції „Проблеми та перспективи розвитку транспортних систем в умовах реформування залізничного транспорту” (Київ, березень 2011 р.), на 71-й Міжнародній науково-практичній конференції “Проблеми та перспективи розвитку

залізничного транспорту” (Дніпропетровськ, квітень 2011 р.), на II Міжнародній науково-практичній конференції «Энергосбережение на ж.-д. транспорте» (Ждениево, червень, 2011 р.), на 72-й Міжнародній науково-практичній конференції “Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту” (Дніпропетровськ, квітень 2012 р.), на XIII Міжнародній конференції „Проблеми механіки залізничного транспорту” (Дніпропетровськ, травень 2012 р.).

В повному обсязі дисертаційна робота доповідалась на науково-практичному міжкафедральному семінарі кафедр „Колія та колійне господарство” і „Проектування і будівництво доріг” (Дніпропетровськ, червень 2012 р.)

Публікації. Основний зміст дисертації опублікований у 22 наукових працях. У тому числі 6 статей і 16 тез у матеріалах міжнародних конференцій з них 5 статей – у фахових виданнях.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СТРАТЕГІЇ РОЗПОДІЛУ ВАНТАЖНИХ І ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ПРИ ВПРОВАДЖЕННІ ШВИДКІСНОГО РУХУ ПОЇЗДІВ

1.1 Огляд наукових досліджень з питань реконструкції залізниць при спеціалізації напрямків для перевезень

Комплексні дослідження технічних, економічних і соціальних проблем підвищення швидкості руху поїздів у різні роки проводили і проводять науково-дослідні інститути й вищі навчальні заклади. Так, ще в 60-ті роки ХХ століття розпочалося серйозне обговорення перспективи організації в СРСР руху пасажирських поїздів зі швидкістю 200 км/год і більш. Це було викликано тим, що в 1964 році в Японії була побудована залізнична магістраль призначена для руху пасажирських поїздів зі швидкістю 210 км/год. Радянський Союз не бажав відставати в сфері розвитку залізничного транспорту, тому Радою міністрів СРСР було ухвалене рішення почати роботи над аналогічним вітчизняним проектом.

Японський проект став дійсно проривом в історії транспорту. Особливо важливим було те, що високі швидкості впроваджувалися завдяки відмові від змішаного руху, коли на тих самих коліях здійснювалися вантажні й пасажирські перевезення. Освоєння першої у світі спеціалізованої високошвидкісної магістралі Токіо-Осака було вкрай успішним: за п'ять років з початку експлуатації обсяги перевезень пасажирів подвоїлися й досяглися 70 млн чоловік у рік.

Напочатку 70-х років минулого століття інститутами «Гипротранстэи» і «ВНИИЖТ» (Росія) було проведено техніко-економічне обґрунтування будівництва швидкісної залізниці в СРСР, магістраллю планувалося зв'язати Москву, Ленінград з Кавказом, Кримом і Західною Україною. Тому на залізницях України в 1966-1970 рр. було рекомендовано підвищити

швидкість до 140 км/год на ділянці Лозова-Сімферополь і до 120 км/год на ділянках Фастів- Дніпропетровськ, Жмеринка-Львів і Харків- Микітівка [8].

Протягом наступних десяти років розроблявся новий рухомий склад: у Ризі створювали швидкісний електропоїзд (ЕР-200), у чехословацькому Пльзене – швидкісний електровоз ЧС-200. Вагони для чеського локомотива за назвою "Російська трійка" повинен був випускати Калінінський вагонобудівний завод. Згодом проект застопорився, і в діючий залізничний парк потрапив тільки ЕР-200. В 1975 році експериментальний зразок з'явився на Октябрьській залізниці, ще десять років знадобилося для його удосконалення і в березні 1984 року ЕР-200 почав виконувати регулярні пасажирські рейси.

Наукові дослідження щодо реалізації високих швидкостей продовжувались. У 1972-1973 рр. з ініціативи Інституту технічної механіки (ІТМ) на ділянці Баловка–Березанівка Придніпровської залізниці були проведені поїздки швидкісного вагона-лабораторії з реактивною тягою зі швидкістю 250 км/год. Більшої швидкості розвинути не вдалося через обмеження сили тяги двигунів і довжини прямої ділянки. До початку двадцятого століття це був рекорд швидкості на залізницях України і держав СНД.

Пізніше, у 80-х роках, проблема підвищення швидкості руху поїздів знайшла відображення в цільових комплексних програмах союзного значення «Швидкість», «Прогрес», «Прискорення». Велика увага приділялась підготовці інфраструктури залізниць і рухомого складу до високих швидкостей руху [9].

Наприкінці 80-х років було вирішено організувати високошвидкісну трасу між Москвою й Ленінградом. Для цього на початку 90-х було утворено акціонерне товариство "Високошвидкісні магістралі". Планувалося побудувати саму магістраль, транспортно-комерційний комплекс і створити рухомий склад, здатний курсувати зі швидкістю 250 км/год. Новий поїзд одержав назву "Сокіл", а його розробка була доручена ЦКБ "Рубін". У цілому

над створенням поїзда працювали більш 60 наукових, проектних і оборонних підприємств. Однак і цьому проекту через фінансові проблеми не судилось реалізуватися [10].

Вирішенням різних задач цієї багатопланової проблеми з підвищення швидкості в Росії і Україні займалися професори В. Г. Альбрехт, В. І. Ангелейко, А.А. Босов, М. Ф. Вериги, Б. Е. Глюзберг, Е. І. Даніленко, М. І. Карпущенко, М. Б. Курган, В. О. Певзнер, Г. М. Шахунянц, кандидати технічних наук В. І. Євграфов, М. І. Карпов, І. П. Корженевич, Д. М. Курган, М.Д. Костюк [11-25], за кордоном – Н. Балух, К. Мацубара, А. Тіль та ін. [26-28].

Актуальність наукового дослідження визначається зміною в останні роки умов роботи залізниць при впровадженні швидкісного руху поїздів, що вимагає конкретних рішень по встановленню раціонального швидкісного режиму всього потоку поїздів, забезпеченню нормальних умов роботи колії, підсиленню залізничних ліній у випадку недостатніх резервів, урахуванню особливостей роботи залізниць України при інтеграції у міжнародну транспортну мережу.

Сумісності швидкісного пасажирського руху і вантажних перевезень на існуючих лініях з точок зору пропускної здатності і раціональної роботи колії присвячені роботи професорів: О.П. Єршкова, В.О. Певзнера, Ф.П. Кочнева, Г.І. Черномордика та ін. [29-32].

Питання спільної роботи паралельних ліній розглядалися в роботах О.В. Гавриленка, О.Е. Гибшмана та ін.[33-34].

У роботах професорів О. П. Єршкова, А. Ф. Золотарського, М. А. Фрішмана, М. А. Чернишова, розглянуті питання підготовки колії до високошвидкісного руху [35-36].

Дослідженням процесів взаємодії колії та рухомого складу при високих швидкостях присвячені роботи д-рів наук Є. П. Блохіна, С. В. Вершинського, В. Д. Дановича, В. А. Лазаряна, М. О. Радченка, В. Ф. Ушкалова [37-42].

Питанням реконструкції плану існуючих залізниць при підвищенні швидкостей руху поїздів присвячені роботи д-рів наук А. А. Босова, М. Б. Кургана, канд. наук І.П. Корженевича, Д. М. Кургана, М. Г. Ренгача та ін. [24, 25, 43].

Програмою розвитку швидкісного пасажирського руху на ряді найважливіших напрямків України, що включені до міжнародних транспортних коридорів, впроваджується швидкісний рух пасажирських поїздів. Це вимагає серйозних заходів з приведення всіх технічних пристроїв залізниць в належний стан і насамперед, реконструкції плану лінії.

Важливою проблемою є також компенсація провізної спроможності у вантажному русі через зростаюче зняття вантажних поїздів швидкісними пасажирськими. Тому на напрямку, де впроваджується швидкісний пасажирський рух, крім реконструкції, необхідної для зняття обмежень швидкості, можуть знадобитися серйозні і капіталомісткі заходи для компенсації пропускнуої спроможності. Крім того, при змішаному вантажному і швидкісному пасажирському русі виникають значні труднощі в частині забезпечення нормальної роботи верхньої будови колії.

Поставлені в дисертаційній роботі задачі вирішуються з урахуванням спеціалізації залізничних напрямків для перевезення вантажів і пасажирів після проведення розмежування вантажного й пасажирського руху на паралельних ходах.

1.2 Оцінка розподілу вантажних і пасажирських перевезень на мережі залізниць України

Досвід впровадження швидкісного руху на всіх міжнародних лініях показує, що наявність вантажних поїздів на цих лініях є головною перешкодою для введення швидкісного пасажирського руху як в плані організації руху так і в плані утримання колії в технічно справному стані. Обсяг перевезення вантажів і інтенсивність руху поїздів на українських

залізницях в 3-4 рази більший ніж в розвинутих транспортних державах Європи. Тому проблема впровадження швидкісного руху на українських залізницях подібна до проблем на російській залізниці. Одним з шляхів вирішення її є розмежування поїздопотоків.

Так як Україна має досить розвинену мережу залізниць, то можна виділити декілька варіантів мереж залізниць з двома та більше паралельними напрямками. Приклади таких мереж наведені на рис. 1.1 – 1.4.



Рисунок 1.1 – Схема паралельних напрямків на ділянці Львів – Київ



Рисунок 1.2 – Схема паралельних напрямків на ділянці Київ – Лозова



Рисунок 1.3 – Схема паралельних напрямків на ділянці Дніпропетровськ – Донецьк



Рисунок 1.4 – Схема паралельних напрямків на ділянці Київ – Одеса

У 2008 році Укрзалізницею разом з інститутом «Київдіпротранс» розроблено схему розмежування маршрутів руху вантажних і пасажиропотоків по території України (див. рис. 1.5) і визначено спеціалізовані маршрути пасажирських і вантажних поїздів з урахуванням внутрішніх потреб у перевезеннях, потреб перевезень найближчих країн-

сусідів, а також з урахуванням вимог до перевезень по міжнародних транспортних коридорах.



Рисунок 1.5 – Схема розмежування пасажирського та вантажного руху поїздів

Згідно з цією схемою визначено напрямки пасажирського швидкісного руху, які максимально звільняються від руху вантажних поїздів з переведенням його на паралельні напрямки; напрямки переважного пасажирського руху; напрямки переважного вантажного руху; напрямки суміщеного вантажного і пасажирського руху поїздів.

Розмежування пасажирського і вантажного руху поїздів за напрямками зроблено вперше для усієї мережі залізниць України і не має аналогів на пострадянській мережі залізниць. Такий підхід сумісно з реконструкцією та модернізацією нових напрямків залізниць дозволяє водночас раціонально вирішити завдання впровадження швидкісного ($V=161-200$ км/год) руху пасажирських поїздів і вантажного руху зі збільшеною пропускнуою спроможністю [44].

До головних технічних проблем згідно з [1], що мають забезпечити успішну реалізацію завдання належать:

– модернізація інфраструктури залізниць (залізнична колія, переїзди, пристрої енергопостачання, сигналізації, централізації і блокування) для обслуговування швидкісного руху поїздів;

– приведення залізничної колії в технічний стан, що відповідає заданим швидкостям руху і встановленим міжнародними стандартами нормативам по нормах улаштування, плавності їзди тощо;

– створення або придбання спеціального рухомого складу для обслуговування швидкісного руху поїздів.

Переважно пасажирські напрямки з прискореними денними, швидкісними та класичними пасажирськими поїздами охоплюють 12 обласних центрів з населенням більше 10 млн чол. До переважно пасажирських напрямків віднесені:

Київ – Жмеринка – далі на Львів, Одесу;

Київ – Гребінка – Полтава – Красноград – далі на Харків, Дніпропетровськ, Донецьк.

На цих напрямках залишатимуться 2-5 вантажних поїзди (маса яких не повинна перевищувати масу та навантаження на колії пасажирських поїздів – контейнерні й контрейлерні) та збірні поїзди для обслуговування міжстанційних ділянок.

Основними вантажними напрямками стануть:

Ясинувата – Красноармійськ – Нижньодніпровськ Вузол — Знам'янка, Фастів – Миронівка;

Козятин – Шепетівка – Здолбунів – Красне, Дарниця – Коростень – Новоград-Волинський – Шепетівка;

Тополі – Куп'янськ – Основа – Полтава – Кременчук – Бурти – Користівка – Знам'янка – Одеса.

Напрямами суміщеного ходу залишаться:

Фастів – Козятин;

Красне – Львів;

Миронівка – Знам'янка – Долинська – Миколаїв – Херсон – Вадим – Сімферополь;

Київ – Миронівка;

Ясинувата – Волноваха – Камиш Зоря – Федорівка – Снігурівка – Миколаїв/Херсон;

Комиш Зоря – Пологи – Запоріжжя;

Харків – Лозова – Запоріжжя – Джанкой.

Проблемне питання, що ускладнює процес розділення поїздопотоків, є ліміт пропускної спроможності, який найбільш відчутний на Кримському напрямку та напрямку Чорноморських портів. Без виконання робіт з її підвищення залізниці будуть неспроможні забезпечити перевезення на відповідному рівні. На даний момент вже збудована друга залізнична колія на ділянці Долинська – Миколаїв, запланована електрифікація ділянки Долинська – Миколаїв – Херсон – Вадим – Джанкой. Проводяться масштабні роботи з модернізації й електрифікації напрямку Кременчук–Бурти–Користівка на ділянці Полтава–Кременчук. На одноколійних ділянках будується друга головна колія. Завершити роботи з будівництва контактної мережі й увести ділянку Полтава–Кременчук в експлуатацію планується в 2012 році.

Переведення напрямку Кременчук – Бурти – Користівка на електротягу дозволить збільшити пропускну спроможність залізниць у напрямку портів Чорного моря, розвантажити основний Кримський напрямок (Запоріжжя–Мелітополь–Джанкой) і перевести частину пасажирських поїздів на другий паралельний хід (Херсон–Вадим–Джанкой) (рис. 1.6), що збільшить енергоефективність перевезень і знизить їхню собівартість.

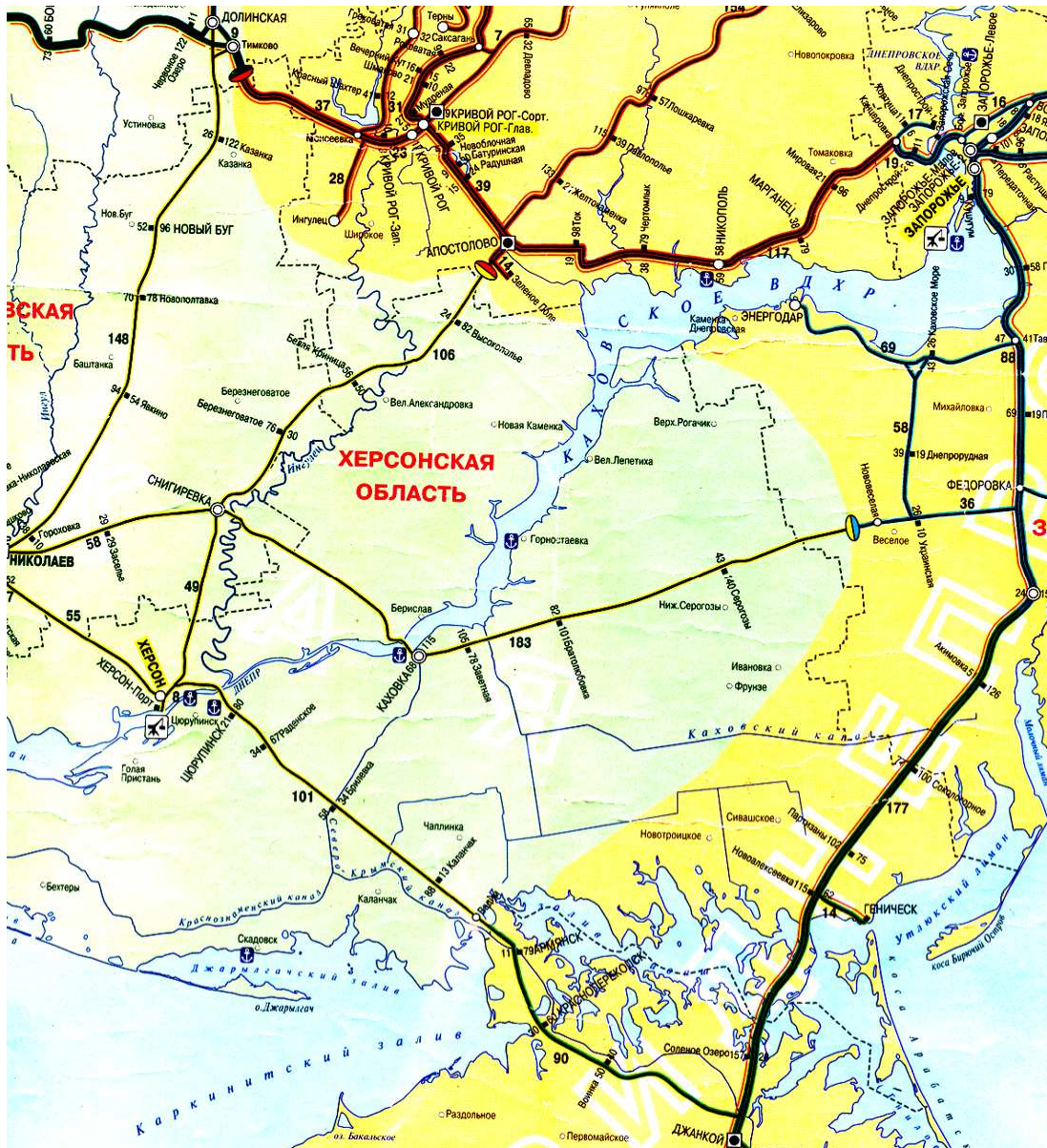


Рисунок 1.6 – Розвантаження напрямку Запоріжжя-Мелітополь-Джанкой за рахунок переключення частини пасажирських поїздів на паралельний хід Херсон–Вадим–Джанкой

Згідно із Програмою електрифікації залізниць України на 2011-2016 рр. (Затв. наказом Генерального директора Укрзалізниці № 274-Ц від 10.06.2011 р.) необхідно електрифікувати 1562 км залізничних ліній. Протягом 2012-2015 рр. для розподілу вантажного й пасажирського руху намічено здійснити електрифікацію ділянки Миколаїв–Херсон–Джанкой, що дозволить збільшити пропускну спроможність у напрямку портів Чорного моря.

Також передбачено електрифікувати ділянки Полтава–Красноград–Лозова, Красноград–Новомосковск, що дозволить запровадити рух швидкісних поїздів на напрямку Київ–Полтава–Красноград і від Краснограда на Дніпропетровськ, Харків і Донецьк.

1.3 Класифікація залізничних напрямків за спеціалізацією перевезень

Проведений аналіз показав, що напрямки залізниці відрізняються не тільки технічним оснащенням, але й умовами роботи. Подальше підвищення швидкостей потребує перш за все більш високої якості конструкції й утримання залізничної колії, на яку негативно впливають вантажні поїзди.

Підвищений динамічний вплив вантажного рухомого складу на колію, що приводить до збільшення інтенсивності розладів колії, не можна суміщати із прискореним та швидкісним рухом пасажирських поїздів. Тому актуальним сьогодні стало питання щодо спеціалізації залізничних напрямків, в основу якої покладено наступні принципи:

- напрямки швидкісного й прискореного пасажирського руху;
- напрямки суміщеного руху пасажирських та вантажних поїздів;
- напрямки інтенсивної провізної спроможності (підвищене осьове навантаження і швидкість вантажних поїздів).

Очевидно, що кожному спеціалізованому напрямку повинні відповідати певні вимоги, норми утримання й конструкція колії. Основним критерієм призначення категорії колії повинно стати динамічне навантаження рухомого складу на колію (фактична швидкість, осьове навантаження). Кожній категорії колії повинна відповідати конструкція колії із пружними характеристиками, що забезпечують сприйняття відповідного динамічного навантаження від рухомого складу на таких ділянках.

Параметри плану й поздовжнього профілю також повинні відповідати категорії напрямку залізниці згідно прийнятої класифікації інфраструктури, а норми утримання колій, міжремонтні норми колійних робіт та норми допустимих швидкостей руху повинні бути прив'язані до категорії колії.

При дослідженні умов доцільності розмежування пасажирських і вантажних перевезень враховувалась класифікація інфраструктури, прийнята Укрзалізницею: суто пасажирський рух, переважно пасажирський рух і змішаний рух, яка була уточнена й деталізована автором дисертації для використання класифікації у подальших розрахунках (див. табл. 1.1-1.2).

Таблиця 1.1 – Класифікація інфраструктури за структурою поїздопотоків

Характеристика напрямку		Максимальна швидкість, км/год	Навантаження на вісь, т/вісь	Категорії поїздів
А	Суто пасажирський рух	$160 < V_{\max} \leq 200$	160-180	$n_{\text{пас}}$ – денні експреси
Б	Переважно пасажирський рух	$120 < V_{\max} \leq 160$	160-200	$n_{\text{пас}}$ – денні експреси і нічні поїзди, $n_{\text{г}} = 0$, $n_{\text{зб}} = \min$, $n_{\text{прим}} = \min$
В	Суміщений рух	$V_{\max} \leq 120$	200-225	$n_{\text{пас}}$, $n_{\text{г}}$, $n_{\text{зб}}$, $n_{\text{прим}}$
Г	Вантажний рух	$V_{\max} \leq 100$	225-300	$n_{\text{пас}} = 0$, $n_{\text{прим}} = \min$

Таблиця 1.2 – Класифікація інфраструктури за критеріями безпеки, плавності й комфортності їзди

Характеристика напрямку		Непогашене прискорення $\alpha_{\text{нп}}$, м/с ²	Зміна непогашеного прискорення у часі ψ , м/с ³	Крутизна відводу підвищення зовнішньої рейки $i_{\text{г}}$, ‰
А	Суто пасажирський рух	$\alpha_{\text{нп}}^{\text{пас}} = \pm 1,0$	$\psi = 0,5$	до 0,67 включно
Б	Переважно пасажирський рух	$\alpha_{\text{нп}}^{\text{пас}} = \pm(0,7 \dots 1,0)$	$\psi = 0,6$	понад 0,67 до 0,7
В	Суміщений рух	$\alpha_{\text{нп}}^{\text{пас}} = \pm 0,7$; $\alpha_{\text{нп}}^{\text{ван}} = \pm 0,3$	$\psi = 0,6$	понад 0,7 до 1,2 включно
Г	Вантажний рух	$\alpha_{\text{нп}}^{\text{ван}} = \pm 0,3$	$\psi = 0,6$	понад 1,2 до 1,4 включно

Запропонована класифікація була використана у розділі 2 при дослідженні впливу структури поїздопотоків на пропускну спроможність, у розділі 3 при моделюванні потоку поїздів, у розділі 4 при визначенні мінімального радіуса і довжини перехідних кривих, у розділі 5 при виборі показників для оцінки конкурентних варіантів.

1.4 Висновки по першому розділу

1. Критично аналізуючи існуючі наукові підходи, слід відмітити відсутність системного підходу при вирішенні проблеми розмежування вантажного й пасажирського руху на залізницях України. Досвід впровадження швидкісного руху на міжнародних лініях показує, що наявність вантажних поїздів є головним гальмом для здійснення швидкісного пасажирського руху як з позицій організації руху, так і з позицій утримання колії в технічно справному стані.

2. На основі проведеного аналізу показано, що на основних напрямках міжнародних транспортних коридорів, які проходять територією України, без перебудови плану і спеціалізації напрямків за рухом неможливо дотримати встановлені європейські вимоги, насамперед – максимальної швидкості руху. У зв'язку з цим необхідно дослідити і обґрунтувати нормативні параметри плану лінії в умовах спеціалізації напрямків, дослідити умови ефективності розмежування вантажного й пасажирського руху.

3. На основі статистичного аналізу розподілу швидкостей руху, існуючих критеріїв безпеки й плавності руху поїздів, осьових навантажень отримано розширену класифікацію напрямків залізниць при розмежуванні пасажирських і вантажних перевезень, що дозволило в подальшому дослідити вплив структури поїздопотоку на пропускну спроможність, визначити раціональні параметри плану лінії в залежності від спеціалізації напрямків, оптимальні умови роботи залізничної колії.

РОЗДІЛ 2

ФОРМУВАННЯ СУМІСНОЇ СХЕМИ ОВОЛОДІННЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯМИ ДЛЯ ПАРАЛЕЛЬНИХ ЗАЛІЗНИЧНИХ ЛІНІЙ

2.1 Загальні положення

Як було відмічено в розділі 1, розмежування пасажирського і вантажного руху поїздів за напрямками на мережі залізниць України зроблено вперше, а тому не всі питання, що стосуються цієї проблеми вирішені раціонально.

Аналіз показав, що при наявності паралельних напрямків, що мають дві головні колії, проблем з передачі поїздопотоків майже не існує. Значно складнішим є питання, коли один з напрямків є одноколіїним або ж з двоколіїними вставками.

Розглянемо запропоновані Укрзалізницею варіанти переключення поїздопотоків (рис. 2.1). Потоки вантажів, що направлялись за маршрутом Фастів-Житомир-Новоград Волинський-Шепетівка збільшено з 3-х до 23-х пар поїздів, на ділянці Житомир-Бердичів-Шепетівка з 9-ти до 29-ти.

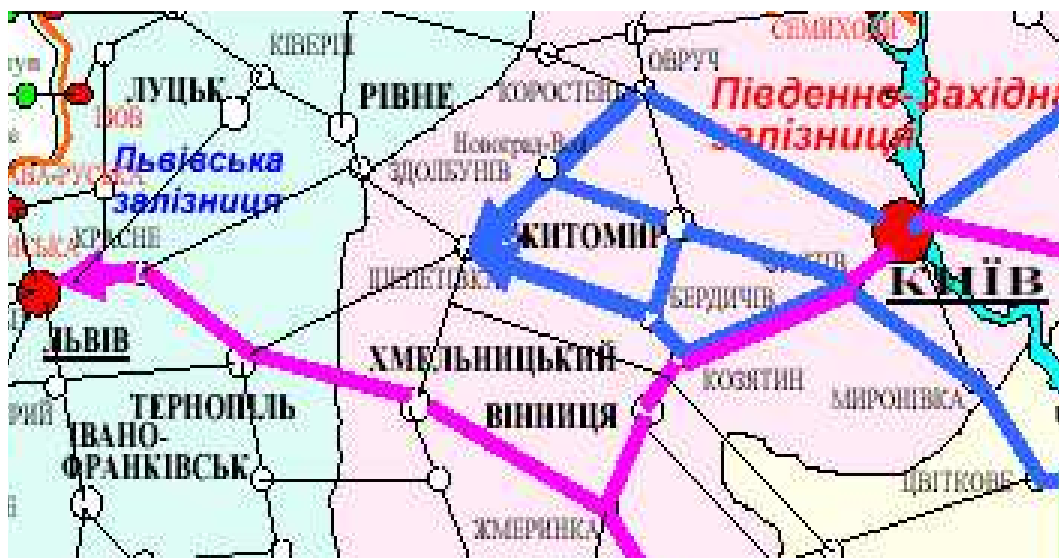


Рисунок 2.1 – Фрагмент розмежування поїздопотоків

Щоб дослідити, як змінюються розміри перевезень до і після розмежування руху, були проаналізовані напрямки (табл. 2.1). Як видно з

таблиці, відношення розмірів вантажних перевезень $\frac{n_{\text{після}}}{n_{\text{до розм}}}$ коливаються в широкому діапазоні: від 6,33 до 0,76. Середнє значення близько двох. Якщо на вантажних напрямках збільшуються перевезення за рахунок транзиту, то на пасажирських ходах обсяги перевезень відповідно зменшуються.

Таблиця 2.1 – Співвідношення розмірів перевезень після і до розмежування вантажного й пасажирського руху

Напрямок	Довжина, км	Розміри руху: вантажних / пасажирських, пар поїздів на добу		Відношення $\frac{n_{\text{після}}}{n_{\text{до розм}}}$
		до розмеж.	після розмеж.	
НДУ-Знам'янка- Миронівка-Фастів	538	25	41	1,64
		39	19	0,49
Коростень-Новоград- Волинський	88	15	24	1,60
		13	6	0,46
Фастів-Козятин- Шепетівка	240	37	28	0,76
		80	87	1,09
Бахмач-Прилуки	88	2	8	4,00
		9	9	1,00
Помічна-Колосівка	146	41	45	1,10
		11	11	1,00
Полтава-Бурти	138	18	29	1,61
		9	9	1,00
Кременчук-Бурти- Користівка	59	19	30	1,58
		13	13	1,00
Долинська-Миколаїв	148	7	23	3,29
		16	13	0,81
Вадим-Джанкой	90	3	19	6,33
		13	10	0,77

В табл. 2.1 наведено напрямки, на більшості з яких є найбільш слабкий елемент – одноколіїні ділянки. Так ділянка Фастів-Житомир-Новоград Волинський довжиною 192 км представляє собою шість одноколіїчних перегонів, ділянка Фастів-Житомир-Бердичів довжиною 151 км – також 6 одноколіїчних перегонів.

З наведеного аналізу випливає, що на окремих паралельних ходах зустрічаються одноколіїні перегони, які мають різний час руху і потребують

проведення певних заходів для підвищення пропускної спроможності. Термін здійснення заходів визначається з графіка оволодіння перевезеннями.

На початку 80-х років минулого століття проф. А. П. Кондратченко поставив питання про необхідність урахування в графіку оволодіння перевезеннями тривалості здійснення реконструктивних заходів [45], але й до цього часу ця вимога не враховується.

В дисертації показано шляхи вирішення такої задачі. Підвищити пропускну спроможність на одноколіній ділянці можна різними шляхами: перехід на частково-пакетний графік, будівництво двоколійних вставок чи окремих двоколійних перегонів, електрифікація тощо. При цьому будемо мати різні витрати на здійснення заходів C_{ij} , різний приріст пропускної спроможності B_{ij} і відповідно різну тривалість здійснення заходів t_{ij} .

2.2 Математична інтерпретація задачі

Поставлена задача в математичній інтерпретації має наступний вигляд.

Нехай Ω_i – набір заходів з реконструкції e_i елемента напрямку ($A \rightarrow B$),
рис. 2.2.

Шлях w_{ij} – j -тий захід з реконструкції e_i елемента.

Кожному w_{ij} співставляємо витрати на здійснення заходів C_{ij} , час t_{ij} та B_{ij} – приріст пропускної спроможності елемента e_i .

Введемо

$$\gamma = [V_1, V_2, \dots, V_M],$$

де $V_i \subseteq \Omega_i$, M – число елементів напрямку $A \rightarrow B$,

γ – представляє собою програму реконструкції всього напрямку.

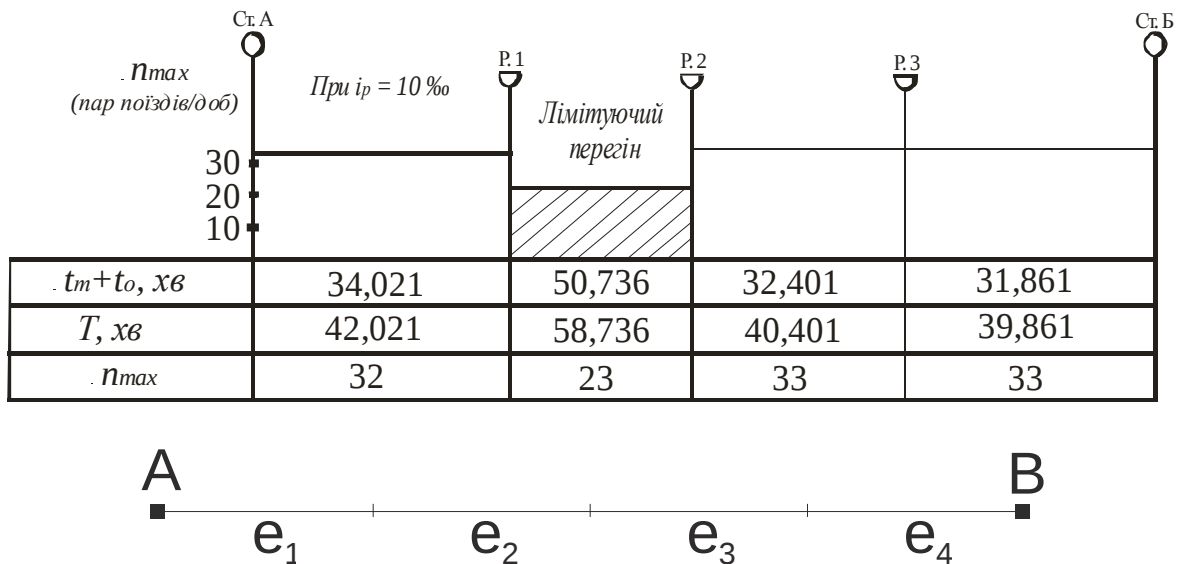


Рисунок 2.2 – Схема напрямку $A \rightarrow B$

Постановимо

$$C(\gamma) = \sum_{i=1}^M \sum_{w_{ij} \in V_i} C(w_{ij})$$

$$T(\gamma) = \max \sum_{w_{ij} \in V_i} t(w_{ij})$$

$N = [N_1, N_2 \dots N_M]$ - існуючі пропускні спроможності.

$$N(\gamma) = \left[N_1 + \sum_{w_{1j} \in V_1} B(w_{1j}), N_2 + \sum_{w_{2j} \in V_2} B(w_{2j}) \dots N_M + \sum_{w_{Mj} \in V_M} B(w_{Mj}) \right].$$

Необхідно знайти таку програму реконструкції γ , щоб витрати на здійснення заходів $C(\gamma)$, час реалізації $T(\gamma)$, а також розкид пропускних спроможностей були б якомога меншими.

У подальшому вважаємо, що усі заходи з реконструкції ділянок залізниці упорядковані співвідношенням:

$$\frac{B_{ij}}{C_{ij}} \geq \frac{B_{ij+1}}{C_{ij+1}}, \quad j = \overline{1 \dots n_i}; \quad i = \overline{1, M}$$

Алгоритм вирішення задачі:

1. Визначається елемент e_v , пропускна спроможність якого мінімальна
2. Формується програма реконструкції

$$\gamma = [\Phi, \Phi \dots \{w_{ij}\} \dots \Phi]$$

3. Розраховується пропускна спроможність цього елемента (перегону) після реконструкції

$$N_v := N_v + B(w_{ij})$$

4. Розраховуються витрати на час здійснення заходів

$$C(\gamma) = 0; \quad C(\gamma) := C(\gamma) + C(w_{ij})$$

$$T(\gamma) = 0; \quad T(\gamma) := T(\gamma) + t(w_{ij}).$$

5. Виводяться результати розрахунку для аналізу γ , $N(\gamma)$, $C(\gamma)$, $T(\gamma)$.

6. Видаляється захід w_{v1} з переліку Ω_v , тобто

$$\Omega_v := \Omega_v / \{w_{v1}\}$$

7. Якщо всі заходи з програми реконструкції напрямку розглянуті

$$\Omega_v = \Phi \quad i = \overline{1, M},$$

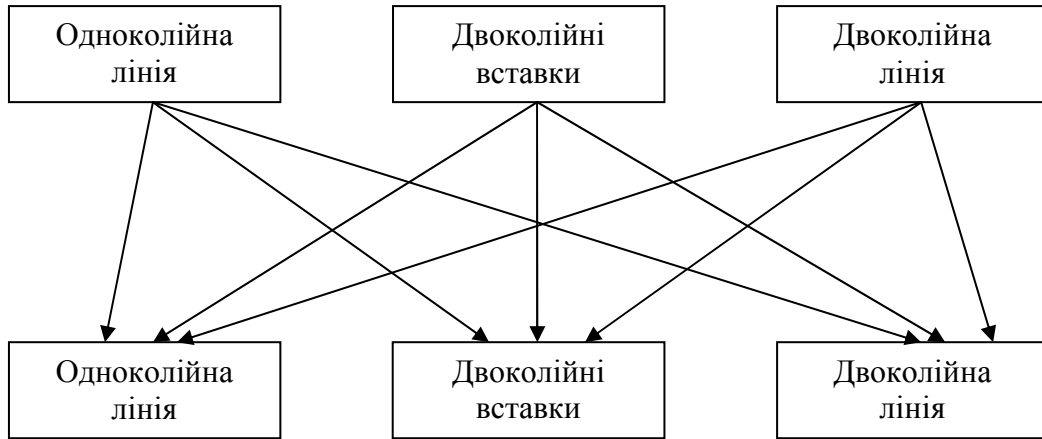
то процес припиняється, інакше переходимо до п.1.

Програмна реалізація викладеного алгоритму виконана в середовищі символьних обчислень Maple.

2.3 Методика формування технічних станів залізниць на паралельних ходах

При дослідженні паралельних ходів необхідно враховувати технічний стан обох залізничних напрямків. Так, наприклад, пасажирський хід може представляти собою одноколіїну ділянку або одноколіїну з двоколійними вставками чи двоколіїну залізницю. При цьому вантажний (паралельний) хід також може знаходитись в одному з цих технічних станів. Тому виникає щонайменше дев'ять можливих сполучень. На рис. 2.3 схематично представлені ці комбінації.

Існуючий хід, що становиться переважно пасажирським ходом



Паралельний хід, що становиться переважно вантажним

Рисунок 2.3 – Варіанти технічного стану на існуючому, що становиться переважно пасажирським ходом та паралельному, переважно вантажному

Необхідно дослідити умови, за яких передача частини вантажних перевезень на рівнобіжний хід може бути ефективною. Аналіз показав, що при наявності паралельних напрямків, що мають дві головні колії, проблем з передачі поїздопотоків майже не існує. Значно складнішим є питання, коли один з напрямків є одноколейним або ж з двоколейними вставками. В роботі наведено результати розрахунків для паралельних напрямків, що представлені ділянками з двоколейними вставками. Основою такого аналізу може бути прийнята Укрзалізницею Програма щодо збільшення пропускну здатності ділянок з двоколейними вставками Полтава-Кременчук-Бурти-Користівка-Долинська-Миколаїв за рахунок будівництва другої головної колії.

Було прийнято, що паралельний вантажний хід має такий же технічний стан, що й пасажирський, а потрібна вантажонапруженість змінюється за лінійним законом $\Gamma_t = \Gamma_0 + \Delta\Gamma_t \cdot t$. При цьому розглядалися три варіанти, коли на паралельному ході зростання вантажонапруженості відбувається з різними темпами, а саме $\Delta\Gamma_t = 2t, 3t$ і $3,5t$, при $\Gamma_0 = 5,0$ млн. ткм/км.

З графіка оволодіння перевезеннями (рис. 2.4) встановлено, що при наявному технічному оснащенні і $\Gamma_t = 5,0 + 4,5 \cdot t$ залізнична лінія забезпечить

перевезення до 6-го року експлуатації з послідуочим переходом до більш потужного технічного стану – будівництво другої колії.

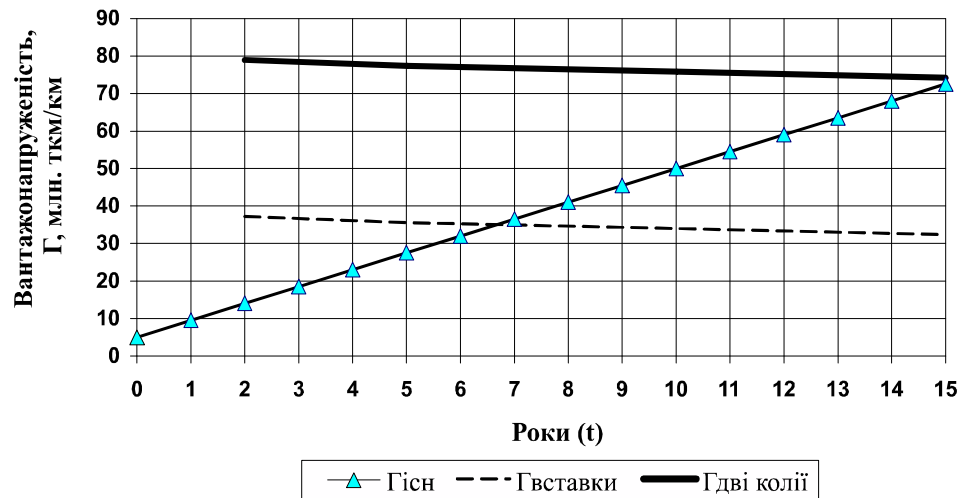


Рисунок 2.4 – Графік оволодіння перевезеннями на пасажирському ході
У випадку переключення частини вантажопотоку $\Delta\Gamma_i$ на паралельний хід досягається віддалення капіталовкладень. Термін віддалення будівництва другої колії залежить перш за все від величини $\Delta\Gamma_i$. Так, наприклад, при передачі на паралельний хід 10 млн т/рік будівництво другої колії віддаляється до 9-го року експлуатації, при передачі 20 млн т/рік відстрочка будівництва можлива до 11-го року (рис. 2.5).

Пасажирський напрямок

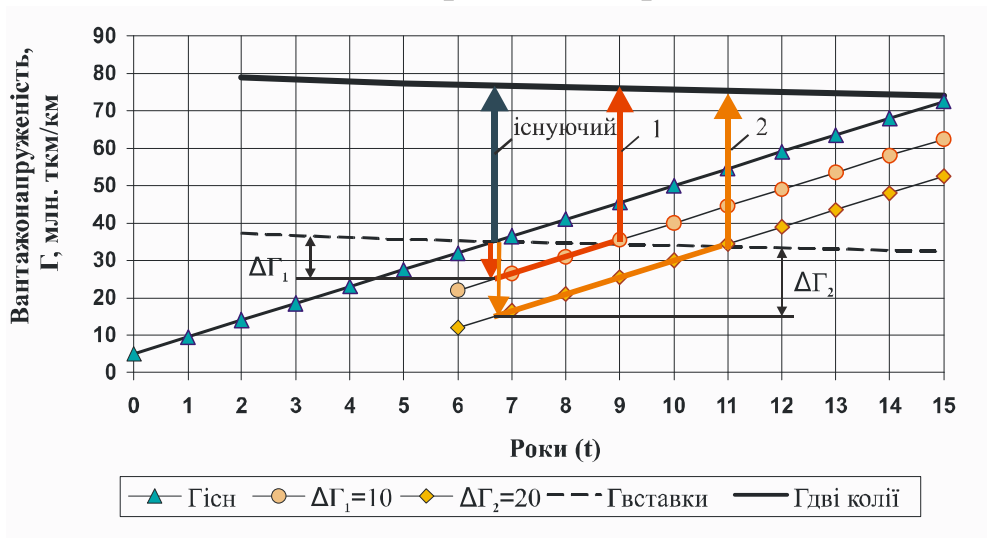


Рисунок 2.5 – Графік оволодіння перевезеннями на пасажирському напрямку при передачі 10 та 20 млн т/рік на паралельний хід

При зростанні вантажонапруженості за законом $\Gamma_t = 5,0 + 2,0 \cdot t$ (1-й варіант) паралельний хід може забезпечити потрібні обсяги перевезень до 13-го року. При передачі вантажопотоку в 6-й рік у об'ємі 10 млн т/рік підсилення лінії необхідно буде виконати вже у 9-й рік, при передачі 20 млн т/рік – лінія вже у рік передачі вантажопотоку повинна бути двоколійною (рис. 2.6).

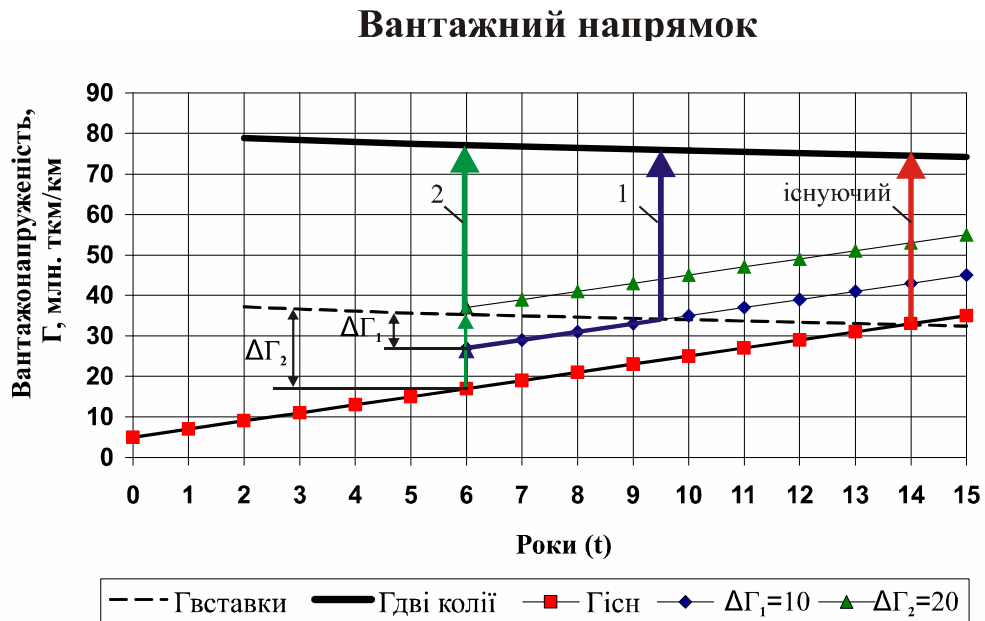


Рисунок 2.6 – Графік оволодіння перевезеннями на паралельному ходу
 $\Gamma_t = 5,0 + 2 \cdot t$

При інших темпах зростання вантажонапруженості (2-й і 3-й варіанти) потужності паралельного ходу недостатньо, і тому вже в 6-й рік лінія потребує підсилення шляхом побудови другої колії.

2.4 Розробка математичної моделі

На першому етапі дослідження було встановлено, що паралельні ходи повинні розглядатись з позиції єдиної схеми оволодіння перевезеннями. Для порівняння можливих варіантів була розроблена методика і складена програма «Оволодіння перевезеннями», що враховує потрібні капітальні вкладення в локомотивний і вагонний парки, вартість вантажної маси, що

знаходиться в перевезеннях, експлуатаційні витрати і інвестиції при зміні технічного стану залізниці. Алгоритм програми представлений на рис. 2.7.

На рис. 2.7 позначені:

$\Gamma_{поч}$ та $\Gamma_{кін}$ – початкова та кінцева вантажонапруженості;

$t_{поч}$, $t_{пр}$ – рік початку дії заходу та його тривалість;

z – тип графіку руху;

t_1' , t_1'' , $t_1^{вст}$, $t_1^{2кол}$ – тривалість стоянок під схрещенням та обгоном при непакетному, частково-пакетному, двоколійних вставках та другій колії;

t_2' , t_2'' , $t_2^{вст}$, $t_2^{2кол}$ – середній час руху поїзда по перегону чи по вставці;

α' , α'' , $\alpha^{вст}$, $\alpha^{2кол}$ – середній коефіцієнт пакетності на ділянці та частка безупинного схрещення вантажних поїздів з пасажирськими від загальної кількості схрещення цих поїздів відповідно;

β' , β'' , $\beta^{вст}$, $\beta^{2кол}$ – коефіцієнт дільничної швидкості при непакетному, частково-пакетному, двоколійних вставках та другій колії;

k' , k'' , $k^{вст}$, $k^{2кол}$ – кількість зупинок при непакетному, частково-пакетному, двоколійних вставках та другій колії;

N' , N'' , $N^{вст}$, $N^{2кол}$ – наявна пропускна здатність при непакетному, частково-пакетному, двоколійних вставках та другій колії;

$n_{поч}^{ван}$ – кількість вантажних поїздів у рік початку дії заходу;

$K_{поч}^{лок}$ – вартість локомотивного та вагонного парку, а також вартість вантажної маси у рік початку дії заходу;

$\Delta n^{ван}$ – річний приріст вантажних поїздів;

$\Delta K^{лок}$ – річний приріст вартості локомотивного та вагонного парку, а також вартості вантажної маси;

C_t – експлуатаційні витрати;

ΔC_t – різниця експлуатаційних витрат до та після проведення заходів;

η_t – коефіцієнт дисконтування різночасових витрат та результатів;

K_0 – сумарні капітальні вкладення у захід;

ЧДП – інтегральний ефект (чистий дисконтний прибуток).

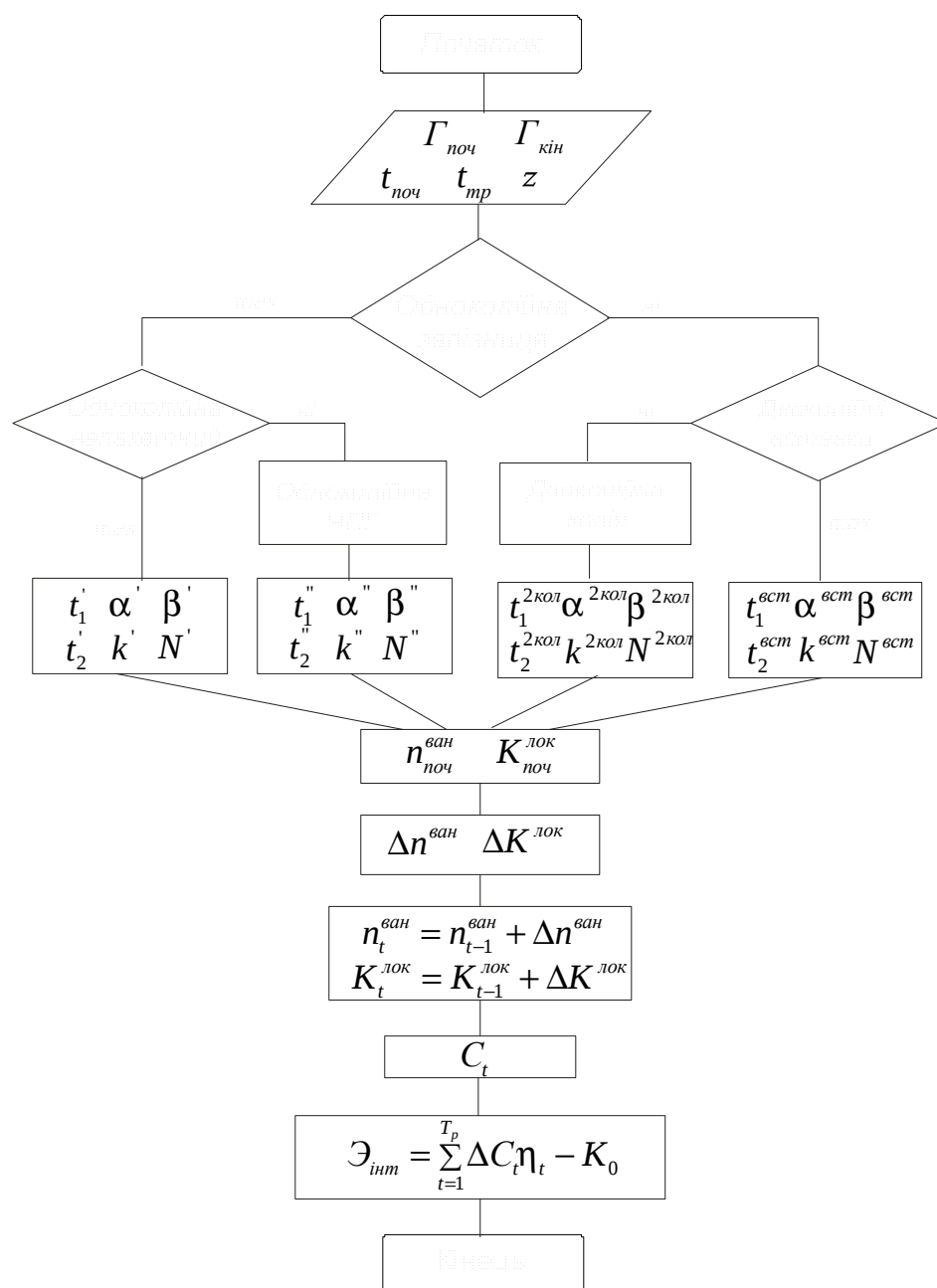


Рисунок 2.7 – Алгоритм програми «Оволодіння перевезеннями»

2.5 Критерії оцінки варіантів

Викладена методика дозволяє використовувати різні критерії при порівнянні варіантів: термін окупності $T_{ок}$, приведені витрати Π , чистий

дисконтний прибуток ЧДП , сумарний за розрахунковий період економічний ефект $\mathcal{E}_t$ [46].

Приведені будівельно-експлуатаційні витрати Π використовують як показник порівняння варіантів, що мають однаковий прибуток або об'єм реалізованої продукції в вартісній формі і розраховують за формулою

$$\Pi = \sum_{t=0}^{T_p} K_t \eta_t + (1 - \gamma) \sum_{t=1}^{T_p} C_t \eta_t, \quad (2.1)$$

де K_t – річні капіталовкладення, що прогнозуються, які необхідні для впровадження реконструктивних заходів на залізниці, на яку переключається частина вантажопотоку;

C_t – річні експлуатаційні витрати;

γ - доля налогових відрахувань від прибутку, $\gamma = 0,25$;

T_p - розрахунковий період 20-25 років.

При реконструкції існуючих залізниць, що передбачає поетапні капіталовкладення, економічні результати будуть змінюватися у часі. В таких випадках для порівняння варіантів використовують показник „чистий дисконтований прибуток” (формула 2.2)

$$\text{ЧДП} = \sum_{t=1}^{T_p} \Delta C_t \eta_t - \sum_{t=0}^{T_p} K_t \eta_t, \quad (2.2)$$

де ΔC_t – різниця експлуатаційних витрат визначається як

$$\Delta C_t = C_o(t) - C_{\text{пр}}(t), \quad (2.3)$$

У формулі (2.3) $C_o(t)$, $C_{\text{пр}}(t)$ – експлуатаційні витрати за рік t , відповідно, для існуючого варіанту (без реконструкції) і для проектного варіанту (після перебудови).

В формулах (2.1), (2.2) передбачається урахування невизначеності й ризику при оцінці ефективності інвестиційних проектів через модифіковану норму дисконту E_n , яка входить в розрахунок коефіцієнту дисконтування різночасових витрат η_t

$$\eta_t = \frac{1}{(1 + E_n)^t} . \quad (2.4)$$

Соціально-економічна норма дисконту E_n , що входить до формули 2.4, характеризує мінімальні вимоги суспільства до суспільно-економічної ефективності проектів. Вона вважається національним параметром і повинна встановлюватися централізовано органами управління народним господарством України і бути ув'язаною з економічним і соціальним розвитком країни.

Соціально-економічна норма дисконту визначалась за формулою (2.5)

$$E_n = \frac{1 + \frac{E}{100}}{1 + \frac{p}{100}} - 1, \quad (2.5)$$

де E – норма дисконту, що дорівнює банківському депозитному відсоткові в банківській валюті України, приймається в середньому 16-18 %;

p – прогнозований рівень інфляції, приймається 7-10 %.

За формулами (2.4) і (2.5) побудовані графіки і наведені дані для порівняння з існуючою раніше нормою $E_{nn}=0,08$ (рис. 2.8).

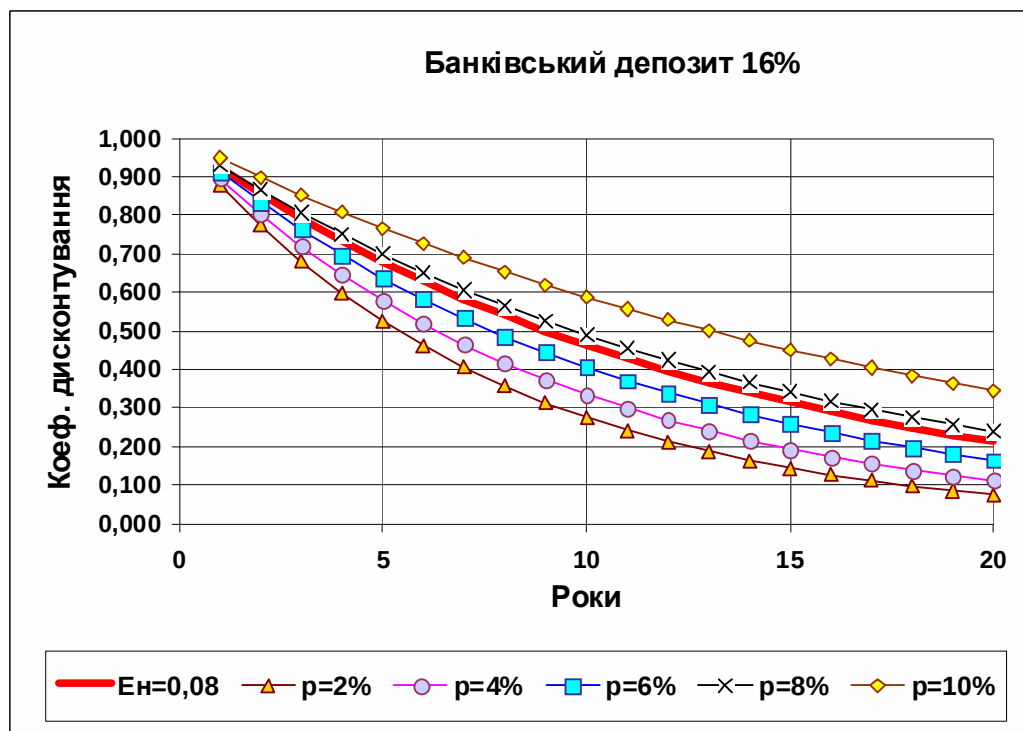


Рисунок 2.8 – Значення коефіцієнтів дисконтування різночасових витрат

Величина K_i визначалась як річна сумарна вартість (без ПДВ) будівництва, реконструкції та технічного переоснащення інфраструктури залізниць, інвестицій на придбання рухомого складу та реконструкцію існуючих депо для технічного обслуговування та ремонту поїздів.

Величина C_i визначалась як сумарні експлуатаційні витрати (матеріали, заробітна плата, нарахування на заробітну плату, паливо, електроенергія та інші витрати) та пропорційна частка витрат, що пов'язані з утриманням інфраструктури залізниць (колія, штучні споруди, контактна мережа, автоматичне блокування, телекомунікації, зв'язок, пасажирські станції та вокзали) для організації швидкісного руху (непрямі витрати).

Експлуатаційні витрати розраховувались за методикою [47], з коригуванням відповідних ставок згідно даних Укрзалізниці.

Результати розрахунків за формулою 2.1 показали, що приведені витрати зменшуються з передачею частини поїздів на паралельний хід (рис. 2.9); при $\Delta\Gamma_i = 20$ млн т/рік економія складає близько 5 %.

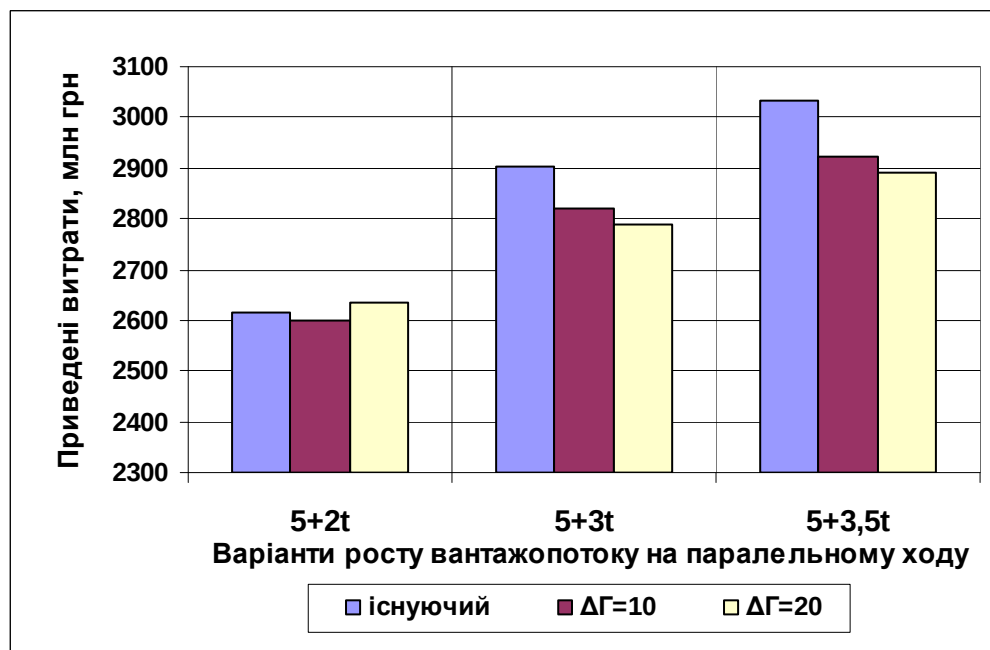


Рисунок 2.9 – Приведені витрати за варіантами
Поставлену задачу можна представити так: знайти $ЧДП \rightarrow \max$ за умови:

$$\left. \begin{aligned} \Gamma_i |_{i=1..2} = f(n_{nac_i}, n_{вант_i}, t) &\Rightarrow \Gamma'_i |_{i=1..2} = f(n'_{nac_i}, n'_{вант_i}, t) \\ \sum_i n_{nac_i} = \sum_i n'_{nac_i}; \quad \sum_i n_{вант_i} = \sum_i n'_{вант_i}; \quad n'_{nac_1} \rightarrow \max; \quad n'_{вант_1} \rightarrow \min \\ \Gamma = at^2 + bt + c; \quad \Gamma' = a't^2 + b't + c'; \quad \Delta\Gamma_i = \Gamma'_i - \Gamma_i \end{aligned} \right\}$$

Такі розрахунки виконуються за формулою 2.2.

2.6 Дослідження ефективності розмежування напрямків пасажирського та вантажного руху за критерієм витрат на утримання та ремонт колійної інфраструктури

2.6.1 Зміна стану об'єкта

Суміщений рух пасажирських і вантажних поїздів негативно впливає на умови експлуатації і плавність руху, сприяє інтенсивному розладу верхньої будови колії. Переключення частки потоку вантажних поїздів на паралельний хід призводить до зміни витрат на ремонти колії, контактної мережі, іншої інфраструктури та періодичність цих ремонтів.

Питання розробки технічно обґрунтованих норм періодичності ремонтів колії досліджувались в ряді робіт [48-50]. На сьогоднішній день потребує розв'язання задача в більш широкій постановці – тобто з урахуванням розмежування вантажного й пасажирського руху і зміни стану колії в часі в процесі експлуатації.

Під станом колії будемо розуміти імовірність безвідмовної її роботи в заданих умовах експлуатації [51]. Зміна стану колії буде відбуватися по-різному, в залежності від умов експлуатації (рис. 2.10).

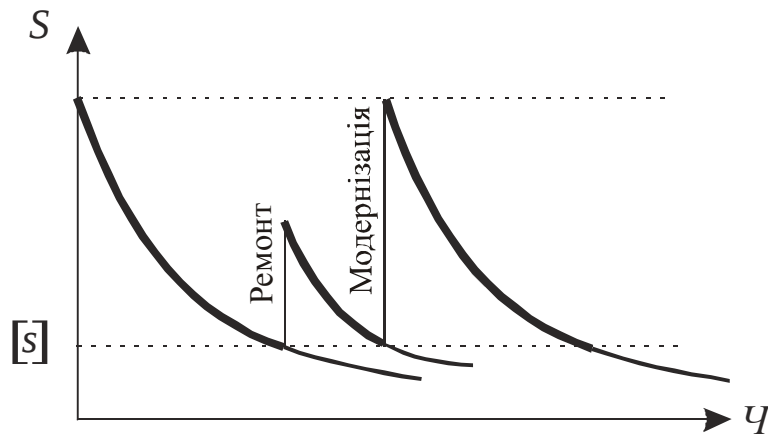


Рисунок 2.10 – Зміна стану об'єкта в часі при наявності ремонту або модернізації колії

Якщо розглядати подальше утримання ділянки, то слід враховувати погіршення стану колії з часом. Звичайно, швидкість зміни стану колії буде залежати від умов експлуатації

$$S_i = f(V_i, \Gamma_i, q_i, \chi_i),$$

де S_i – стан колії;

V_i – швидкість руху, км/год;

Γ_i – пропущений тоннаж по ділянці, млн. т;

q_i – осьове навантаження;

χ_i – час експлуатації ділянки, роки.

Але стан колії $S_i < [s]$ ще не означає, що колію не можна експлуатувати. В залежності від зношеності елементів конструкції, відступів в утриманні колії може бути продовжена її подальша експлуатація, але з обмеженням швидкості руху. Характеристика технічного стану колії, що експлуатується з поступовим обмеженням швидкості показана жирною лінією на рис. 2.8.

Після часу експлуатації $\chi_i = f(S_i = [s])$ виникає потреба в коштах на ремонт або модернізацію колії. Як видно з рис. 2.10, ремонт не забезпечує відновлення первісного стану колії. Початковий стан можна отримати тільки після проведення модернізації колії.

Відповідно до Положення ЦП-0113 [48] за нормами періодичності модернізація колії призначається після пропуску 800 млн. т бруто по безстиковій колії і далі при призначенні ремонтів може бути використана одна з міжремонтних схем, наприклад:

М – КОР – С – КОР – ПС – КОР – С – КОР – М,

де М – модернізація колії;

КОР – комплексно-оздоровчий ремонт;

СР – середній ремонт;

ПС – посилений середній ремонт.

М – модернізація колії призначається при пропущеному тоннажу 650-800 млн. т бруто для повної заміни рейко-шпальної решітки на нову на коліях швидкісної, I-IV категорій з одночасним очищенням і поповненням щебеневого баласту. При модернізації колії крім безпосередньо колійних робіт передбачається виправлення колії в профілі та перебудову кривих в плані з встановленням проектних радіусів.

ПС – посилений середній ремонт колії виконується на головних коліях швидкісної, I-IV категорій з залізобетонними шпалами і призначений для оздоровлення колії при пропущеному тоннажу 450- 600 млн. т бруто.

СР – середній ремонт колії виконується при забрудненості баласту 20 % на головних та станційних коліях і призначений для оздоровлення баластної призми за рахунок суцільного очищення щебеневого баласту або оновлення забрудненого баласту інших видів.

КОР – комплексно-оздоровчий ремонт колії виконується на головних і станційних коліях в проміжки між переліченими вище ремонтами і призначений для забезпечення рівнопружності підшпальної основи.

При комплексно-оздоровчому ремонті проводяться суцільна виправка і рихтування колії з використанням машинних комплексів, очищення забрудненого щебеню в місцях виплесків, заміна дефектних рейок, непридатних шпал, скріплень тощо.

2.6.2 Методика дослідження

Критерієм при визначенні раціональної схеми періодичності ремонтів колії прийнято сумарний економічний ефект з урахуванням додаткових загально транспортних витрат залежних від колії [49].

Сумарний по роках розрахункового періоду економічний ефект $\mathcal{E}_t$ визначається за формулою

$$\mathcal{E}_t = \sum_{t=t_n}^{t_k} (P_t - 3_t) \eta_t, \quad (2.6)$$

де P_t – вартісна оцінка результатів здійснення заходів в році t розрахункового періоду;

3_t – величина витрат на реалізацію варіанту року t розрахункового періоду;

η_t – коефіцієнт дисконтування різночасових витрат.

З огляду на рівність результатів прийняття різних варіантів при виборі оптимального, може використовуватись величина сумарних витрат [46], які розраховуються за формулою

$$\sum_{t=t_n}^{t_k} 3_t \eta_t = \sum_{t=t_n}^{t_k} (C_t + K_t) \eta_t, \quad (2.7)$$

де C_t – експлуатаційні витрати в році t ;

K_t – одноразові капітальні витрати в рік t з урахуванням повернення залишкової вартості основних фондів.

Експлуатаційні витрати C_t (грн./км) включають наступні складові: I_{np} - вартість виконуваних проміжних ремонтів, I_{zp} - витрати на заробітну плату монтерам колії, зайнятих на поточному утриманні колії, I_{pc} - витрати на одиночну заміну рейок і скріплень з урахуванням їх вартості і витрат в зв'язку з наданням „вікон”, I_{um} - витрати на одиночну заміну шпал, I_{σ} - витрати на поповнення баласту, I_{co} - витрати, зв'язані з подоланням сил опору руху поїзда, у частині залежної від стану колії, I_{ob} - витрати, викликані

тривалими обмеженнями швидкості руху при виникненні дефектних місць у баластовому шарі (виплески, осідання тощо).

Розглянемо схему періодичності ремонтів при суміщеному русі поїздів, що наведена на рис. 2.11.

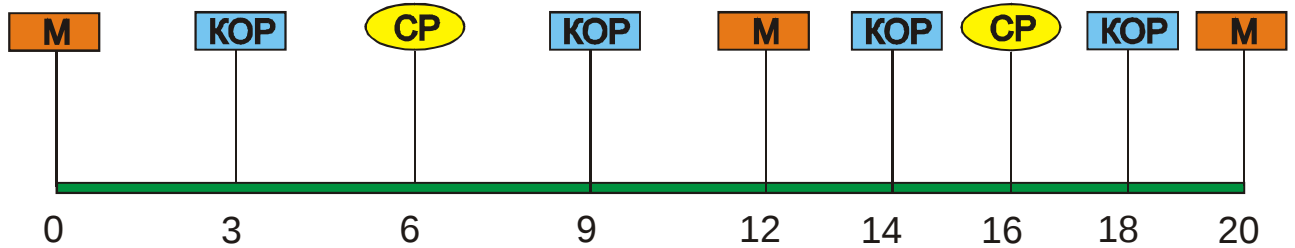


Рисунок 2.11 – Схема періодичності ремонтів до розмежування руху

Щоб дослідити, як змінюються розміри перевезень до і після розмежування руху, були проаналізовані напрямки, що пропонуються Укрзалізницею (табл. 2.1). Як видно з таблиці, відношення розмірів вантажних перевезень $\frac{n_{\text{після}}}{n_{\text{до розм}}}$ коливаються в широкому діапазоні: від 6,33 до 0,76. Середнє значення близько двох. Якщо на вантажних напрямках збільшуються перевезення за рахунок транзиту, то на пасажирських напрямках вони на стільки ж зменшуються.

Для дослідження було прийнято, що вантажонапруженість бруто на ділянці залізниці змінюється за законом $\Gamma_{\text{до}} = 0,0621t^2 + 1,876t + 53$, а після відхилення транзитних поїздів на паралельний напрямок зменшується вдвічі і змінюється за законом $\Gamma_{\text{після}} = 0,0305t^2 + 0,921t + 26$ (рис. 2.12).

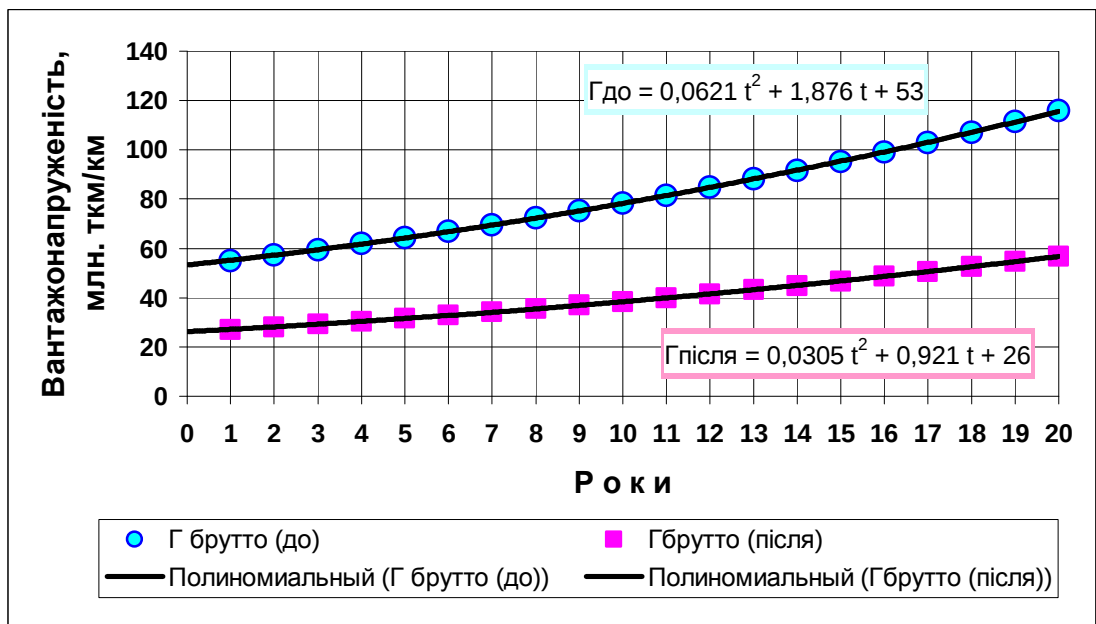


Рисунок 2.12 – Вантажонапруженість на ділянці до і після відхилення транзитних поїздів на паралельний напрям

При відомих розмірах пропущеного тоннажу (рис. 2.13) відповідно до рекомендацій [48] за двадцятирічний термін слід провести дві модернізації колії, два середніх ремонти і чотири комплексно-оздоровчих.



Рисунок 2.13 – Графік періодичності ремонтів до розмежування руху поїздів

Після часткового переключення вантажопотоку на паралельний хід, що привело до зменшенні пропущеного тоннажу вдвічі, пропонується провести

одну модернізацію колії, два середніх ремонти, один з них посилений, і три комплексно-оздоровчі (рис. 2.14, 2.15).

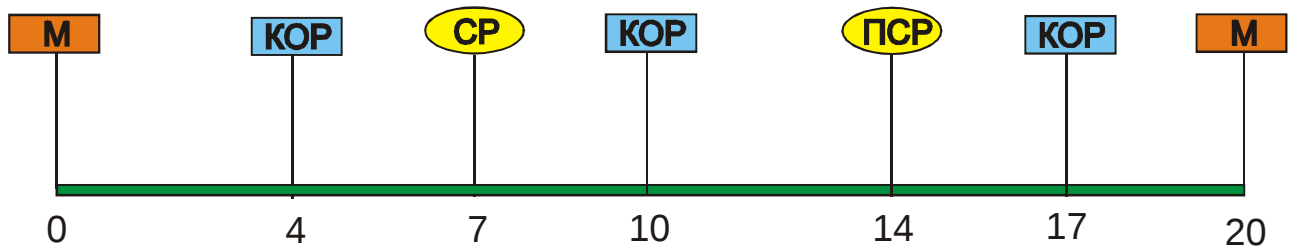


Рисунок 2.14 – Схема періодичності ремонтів після розмежування руху



Рисунок 2.15 – Графік періодичності ремонтів після розмежування руху поїздів

Як показав проведений аналіз, після проведення ремонту з часом витрати на поточне утримання колії зростають. Збільшуються і щорічні експлуатаційні витрати (рис. 2.16).

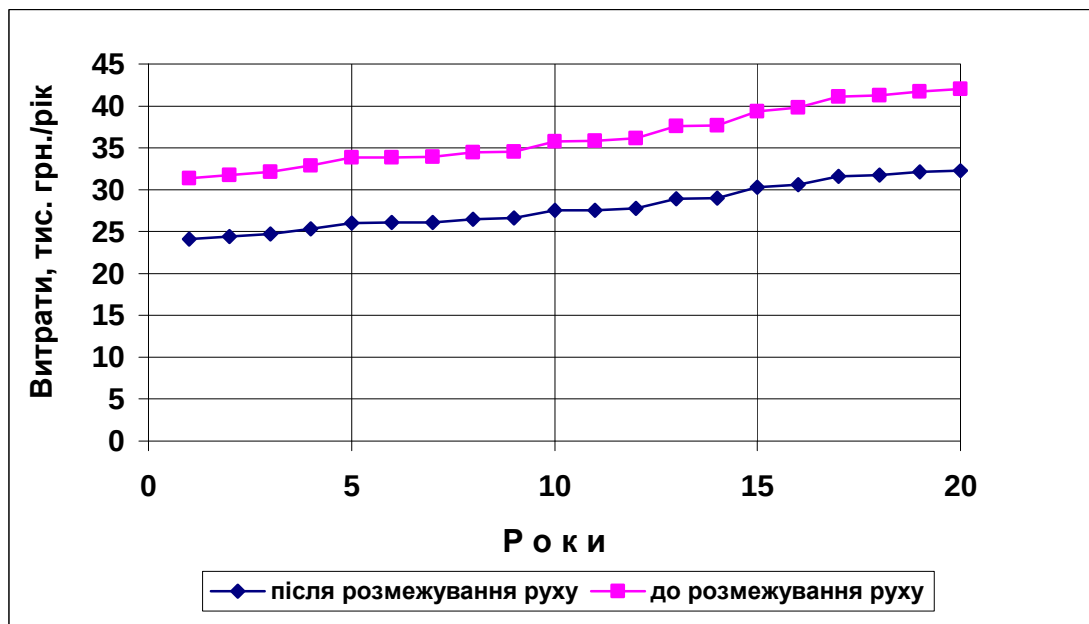


Рисунок 2.16 – Щорічні експлуатаційні витрати до і після розмежування руху
Відповідно до формули (2.7) були виконані розрахунки сумарних витрат за вказаний період. Вартість ремонтів прийнята середньою за даними Львівської, Придніпровської залізниць і роботи [49] (табл. 2.2).

Таблица 2.2 – Вартість ремонтів колії

Вид ремонту	Вартість ремонтів (тис. грн.) за даними залізниць		
	Львівська	Придніпровська	УЗ
М	3050	3000	2875
КР	1665	1500	1600
СР	161	190	214
КОР	52	35	46

Результати розрахунків наведено в додатку А і для наочності на рис. 2.17.

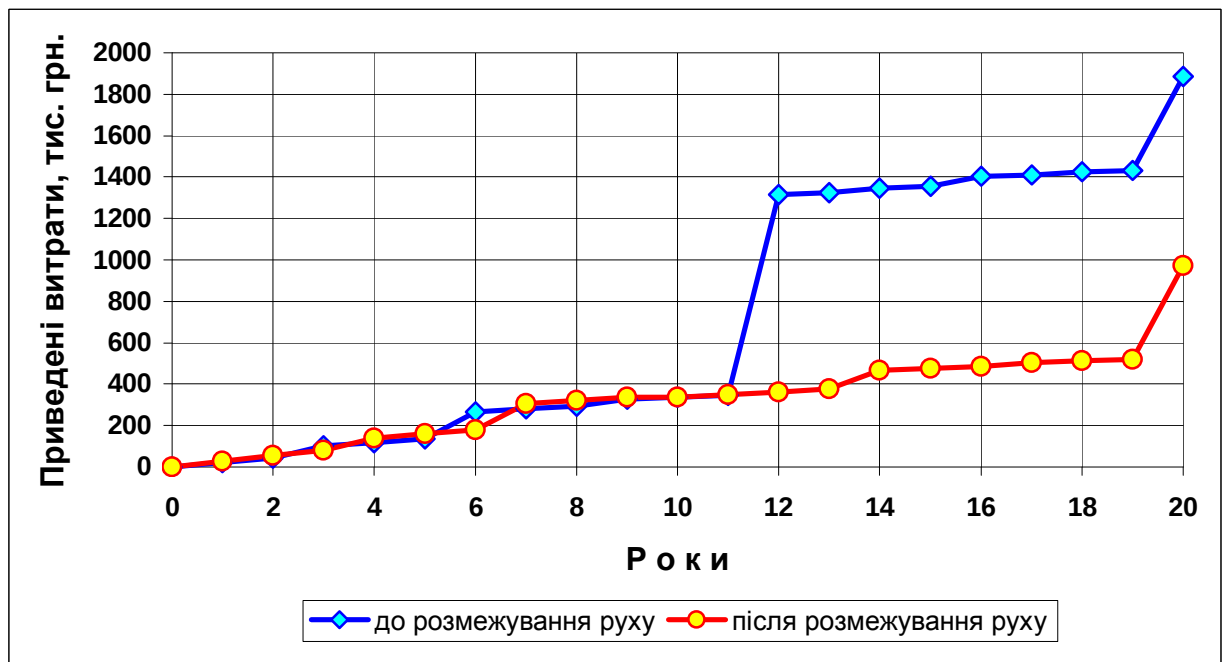


Рисунок 2.17 – Приведені витрати за двадцятирічний термін експлуатації до і після розмежування руху

2.7 Висновки по другому розділу

1. На основі удосконаленого автором методу та розробленого ним програмного забезпечення проведено техніко-економічне обґрунтування доцільності розмежування пасажирського та вантажного руху поїздів. Новий підхід відрізняється від існуючих тим, що розвиток паралельних залізничних напрямків розглядається з позиції єдиної схеми етапного оволодіння перевезеннями для паралельних залізничних ліній при відокремленні вантажного й пасажирського руху поїздів.

2. Сумісне формування раціональної схеми оволодіння перевезеннями для паралельних залізничних ліній, при впровадженні на одній з них швидкісного руху пасажирських поїздів дає змогу:

- підвищити швидкість пасажирських поїздів;
- уникнути ряду проблем експлуатаційного і технічного характеру пов'язаних із співвідношенням швидкостей вантажних і пасажирських поїздів, перевантаженням внутрішньої рейки вантажними поїздами в кривих ділянках колії;

- підвищити швидкість проходження поїздів по кривих;
- зменшити капітальні вкладення на перебудову лінії та експлуатаційні витрати на поточне утримування.

3. Проблеми експлуатаційного і технічного характеру, що виникають при сумісному русі, пов'язані перш за все з розладами верхньої будови колії. При переключенні поїздопотоків на паралельні ходи, змінюється інтенсивність руху вантажних і пасажирських поїздів та інші експлуатаційні показники, що впливають на напружено-деформований стан колії, а отже на витрати, пов'язані з ремонтом і утриманням колії.

4. Як показали дослідження, за рахунок зниження осьового навантаження, кращих умов роботи колії періодичність призначення модернізації колії на пасажирських ходах становитиме 15-20 років проти 8-10 років на вантажонапружених ділянках залізниць.

5. При відокремленні вантажних і пасажирських перевезень (навіть частково) на пасажирських і вантажних напрямках значно скорочується кількість обгонів поїздів, що призводить до зменшення експлуатаційних витрат, пов'язаних з гальмуванням, зупинками і розгоном поїздів.

6. Запропонований підхід дозволяє враховувати можливість переключення частки поїздів на паралельні ходи і оцінити витрати, пов'язані з застосуванням різних схем періодичності ремонтів колії при розмежуванні вантажного й пасажирського руху.

РОЗДІЛ 3

ВПЛИВ РУХОМОГО СКЛАДУ ПРИ РІЗНІЙ СТРУКТУРІ ПОЇЗДОПОТОКУ НА ЗАЛІЗНИЧНУ КОЛІЮ

3.1. Загальна дія рухомого складу на колійну інфраструктуру

Г. М. Шахунянц у роботі [20] для оцінки комфортності їзди пропонував враховувати повне прискорення, що діє на пасажирів $\alpha_{нов}$, яке складається з поперечного, що виникає при русі кривими у плані, вертикального – при русі кривими у вертикальній площині і поздовжнього прискорення, пов'язаного з процесами гальмування і розгону

$$\alpha_{нов} = \sqrt{\alpha_{ноп}^2 + \alpha_{верт}^2 + \alpha_{позд}^2} . \quad (3.1)$$

Аналогічно формулі (3.1) можна загальну дію рухомого складу D , що призводить до зносу колійної інфраструктури, представити як роботу поздовжньої $D_{позд}$, поперечної $D_{ноп}$ і вертикальної $D_{верт}$ сил

$$D = \sqrt{D_{позд}^2 + D_{ноп}^2 + D_{верт}^2} . \quad (3.2)$$

Кожна з названих сил визначається як добуток відповідного прискорення $\alpha_{позд}$, $\alpha_{ноп}$, $\alpha_{верт}$ на масу рухомого складу, а робота сил – як добуток сили на переміщення у відповідній площині.

При розмежуванні вантажного й пасажирського руху змінюється структура поїздопотoku, тому представляє інтерес дослідження основних факторів на знос колійної інфраструктури на паралельних ходах – напрямках вантажного й пасажирського руху. З цією метою визначимо сили, що входять до формули 3.2.

Підвищення швидкості призводить до збільшення енергоресурсів і витрат на утримання інфраструктури, що показано в роботах [52-54]. Факторами, що впливають на знос інфраструктури залізниці, з однієї сторони є механічна робота сили тяги локомотива і робота сил опору руху, з іншої – пропущений тоннаж і осьове навантаження. Рівнодіюча сила, що дорівнює

різниці сили тяги і сил опору змінюється при русі поїзда по ломаному поздовжньому профілю (рис. 3.1).

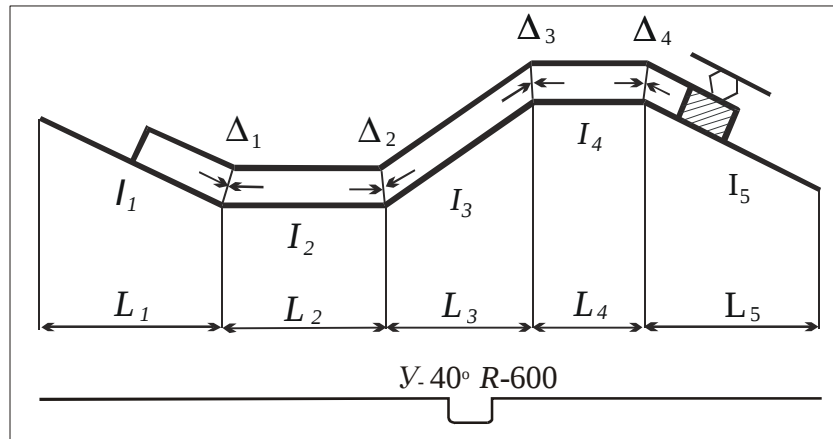


Рисунок 3.1 – Розташування поїзда на переломах профілю:

i_k , l_k - відповідно ухили і довжина елементів, Δ_k - алгебраїчна різниця сполучених уклонів

Як показано в роботах [37, 55], поздовжні сили і прискорення, що виникають у поїзді при його русі по перелому поздовжнього профілю, залежать не тільки від обрису профілю, але й від режиму руху. А вибір режиму руху залежить від величини рівнодіючої сили. Із закону механіки відомо, що приріст кінетичної енергії дорівнює роботі всіх діючих сил на систему. Цей закон динаміки для поїзда можна записати таким рівнянням

$$R_c = R_m - R_h - \Delta T, \quad (3.3)$$

де R_m – робота сили тяги локомотива; R_h – робота на створення запасу потенційної енергії; ΔT – зміна кінетичної енергії.

Представлене формулою (3.3) рівняння не розкриває фізичної суті, яким чином робота сил опору впливає на знос верхньої будови колії, а тому запишемо це рівняння через складові сил опору руху [56]:

$$R_c = \left[\left(\int_{l_1} W_o ds + \int_{l_2} W_i ds + \int_{l_3} W_r ds + \int_{l_4} B_m ds \right) \right] \quad (3.4)$$

У формулі (3.4) W_o – сила основного опору руху (табл. 3.1); W_i , W_r – сили додаткового опору руху відповідно від ухилів і кривизни колії, B_m –

гальмівна сила поїзда, яка застосовується машиністом на спусках і підходах до ділянок з встановленим обмеженням швидкості.

Сили основного, додаткового опору і гальмівна сила визначаються за правилами тягових розрахунків [56, 57].

3.2 Дослідження впливу структури поїздопотоку та інтенсивності руху поїздів на знос колійної інфраструктури

Для аналізу впливу інтенсивності і швидкості руху поїздів на знос колійної інфраструктури за участю автора були проведені дослідження, результати яких наведені в науково-дослідній роботі «Проведення досліджень та розробка методики економічної оцінки впливу інтенсивності вантажного та пасажирського руху на знос інфраструктури залізничного транспорту (державний реєстраційний номер 0107U010379) [56].

Дослідження проводилось в два етапи: на еталонних ділянках для відпрацювання методики й встановлення закономірностей і на реальних ділянках мережі залізниць.

На першому етапі розглядався поздовжній профіль ділянок різного обрису із зміною крутизни ухилів від 4 до 20 ‰. План лінії враховувався через частку кривих, яка змінювалась від 10 до 80 % від довжини ділянки, і середній радіус – від 400 до 2000 м. Поїзди рухались по колії, стан якої оцінювався відповідними балами (рис. 3.2).

Максимальна швидкість	80	100	120	140	160	200		
Наявність кривих, %	10	30	50	70	80	90		
Середній радіус	300	400	500	600	800	1000	2000	4000
Керівний ухил, %	4	6	8	10	15	20		
Його викорис-тання, %	10	30	50	70	80	90		
Відстань між зупинками	7	10	15	20	50			
Вид профілю	підйом	спуск	горб	яма	два горби	дві ями		
Тип колії	залізобетон ланкова		залізобетон безстикова		дерево ланкова	дерево безстикова		
Стан колії, капремonti	після КР	початок МРП	середина МРП	кінець МРП	простроче-ний КР			
Стан колії, бальність	20	60	120	180	180 3 ступінь	180 4 ступінь		

Рисунок 3.2 – Структурна схема дослідних ділянок

Передбачалось, що на таких ділянках рухаються поїзди різних категорій і маси. Відповідно задавались допустимі швидкості прослідування роздільних пунктів від 60 до 120 км/год і максимально допустимі на перегонах від 80 до 160 км/год. Структурна схема рухомого складу, що була прийнята в дослідженні, представлена на рис. 3.3.

Категорія	Пасажи́рські пої́зди								Ванта́жні пої́зди				
Тип	приміські		далекого сполучення		прискорені			порожні		звичайні		Повновагові	
Маса	300	400	500	700	1000	1200	1000	2000	3000	4000	5000	6000	
Навантаження на вісь	10		15		18	20	10	15	18	20	21,5	23	
Локомотив	ТВ	ТП	ЕВ ПС	ЕП ПС	ЕВ ЗС	ЕП ЗС	ДС	Р	тепловоз	електровоз пост. струму	електровоз змінного струму		

Рисунок 3.3 – Структурна схема рухомого складу

Як видно з рис. 3.2 і 3.3 ділянки відрізнялись своїми параметрами, що дозволило провести факторний аналіз за програмою **Perebor**, розробленою доц. Корженевичем І.П. (рис. 3.4).

The screenshot shows the 'Form1' window of the 'Perebor' program. At the top, it displays statistics: 'Всього точек: 588522', 'В файле: 588522', 'Ошибок в файле: 4318', and 'Всего ошибок: 4318'. Below this are various input fields and buttons for file operations. The main part of the window contains two large tables: 'Корреляция' (Correlation) and 'Ковариация, дисперсия' (Covariance, dispersion). The 'Корреляция' table shows correlation coefficients between various factors like Vmax, %R, R, ip, %ip, Пр, Ст, Q, and Лок. The 'Ковариация, дисперсия' table shows covariance and variance values for the same factors. At the bottom, there is a taskbar with icons for 'Пуск', 'Записка Хм', 'Dip_Zap 8.doc - Мис...', 'Корреляция', and 'Perebor'.

Рисунок 3.4 – Вікно програми Perebor

В результаті проведеного факторного аналізу встановлено, що найбільш тісні зв'язки існують між факторами, що призводять до зносу залізничної колії: робота сил опору і гальмівних сил, робота бокових і вертикальних сил. Впливають на знос також вид тяги, типи поїздів, складність плану й профілю, швидкість руху і маса поїздів, довжина перегону.

Для підтвердження сказаного, на рис. 3.5 показано графік зміни механічної роботи сили тяги локомотива упродовж ділянки. З рисунку видно, що значення цього фактору суттєво змінюються по довжині лінії, що залежить від параметрів поздовжнього профілю, плану, наявності обмежень

швидкості, режиму ведення поїзду, швидкості руху тощо. Отже і вплив на знос колійної інфраструктури на таких ділянках буде різний, що й було враховано в подальшому.

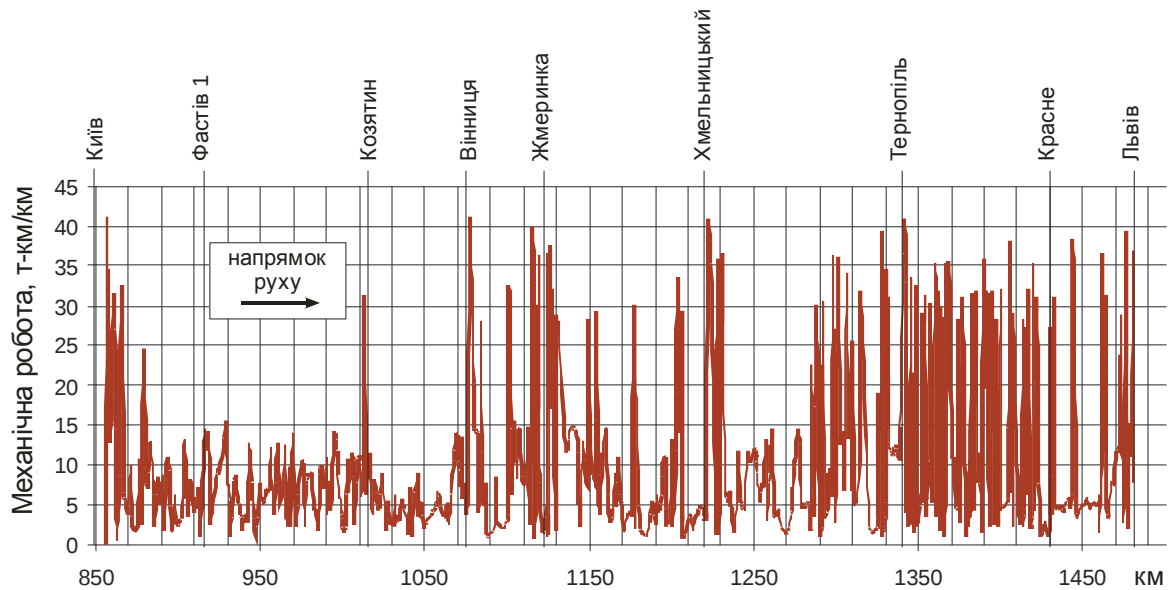


Рисунок 3.5 – Графік зміни механічної роботи сили тяги локомотива при русі пасажирського поїзда від Києва до Львова

Отримані розрахунком коефіцієнти апроксимації a, b, c , коефіцієнти кореляції між $D_{позд.}$ і Q та $L(r_Q, r_L)$, а також середньоквадратичне відхилення (σ , %) для різних категорій поїздів та різних умов профілю і плану лінії наведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати апроксимації та коефіцієнти кореляції

Вид тяги	Категорія поїздів	Складність профілю	Складність плану	a	b	c	r_Q	r_L	σ
Т	вантажні	Легкий	Будь-яка	12,428	-1,421	-73,36	-0,60	-0,42	38
		Середній		13,222	-1,584	-62,23	-0,61	-0,33	40
		Важкий		14,743	-1,841	-48,37	-0,59	-0,19	45
Е		Легкий		14,264	-0,774	-115,3	-0,26	-0,57	40
		Середній		16,037	-1,103	-120,5	-0,34	-0,54	44
		Важкий		18,522	-1,578	-108,9	-0,44	-0,43	64
Т	приміські	Легкий		23,266	0	-265,7	-	-0,71	31
		Середній		23,837	0	-254,5	-	-0,68	31
		Важкий		24,748	0	-231,7	-	-0,58	36
Е		Легкий	28,907	0	-369,5	-	-0,68	37	
		Середній	30,065	0	-368,1	-	-0,65	38	
		Важкий	32,094	0	-361,9	-	-0,59	43	

Продовження таблиці 3.1

Вид тяги	Категорія поїздів	Складність профілю	Складність плану	a	b	c	r_Q	r_L	σ
Т	пасажир-ські	Легкий	Легкий	27,324	-11,212	-230,1	-0,50	-0,64	29
		Середній		28,204	-12,184	-217,6	-0,52	-0,59	32
		Важкий		29,483	-13,224	-195,0	-0,53	-0,50	42
Е		Легкий		31,319	-8,240	-332,7	-0,26	-0,66	39
		Середній		32,607	-8,728	-328,2	-0,27	-0,64	40
		Важкий		34,994	-9,857	-314,8	-0,29	-0,57	44
Т	пасажир-ські	Легкий	Середній	26,673	-11,008	-210,8	-0,52	-0,62	27
		Середній		27,802	-12,155	-201,1	-0,54	-0,57	31
		Важкий		29,201	-13,249	-182,0	-0,54	-0,48	43
Е		Легкий		32,858	-9,714	-329,7	-0,32	-0,66	36
		Середній		34,089	-10,138	-325,4	-0,32	-0,64	37
		Важкий		36,231	-11,123	-311,7	-0,33	-0,57	42
Т	пасажир-ські	Легкий	Важкий	22,959	-8,804	-159,9	-0,47	-0,54	30
		Середній		24,524	-10,315	-153,7	-0,51	-0,48	35
		Важкий		26,531	-11,842	-139,4	-0,51	-0,38	49
Е		Легкий		28,280	-8,985	-222,7	-0,37	-0,56	33
		Середній		29,560	-9,299	-221,8	-0,36	-0,53	34
		Важкий		31,797	-10,030	-215,8	-0,34	-0,46	40
Т	експреси	Легкий	Легкий	27,218	0	-318,2	-	-0,85	18
		Середній		27,408	0	-310,0	-	-0,83	19
		Важкий		27,769	0	-295,6	-	-0,82	22
Е		Легкий		42,138	0	-609,3	-	-0,76	32
		Середній		39,414	0	-533,8	-	-0,67	34
		Важкий		43,769	0	-590,2	-	-0,73	34
Т	експреси	Легкий	Середній	24,471	0	-260,7	-	-0,83	19
		Середній		24,961	0	-258,4	-	-0,83	20
		Важкий		25,504	0	-250,3	-	-0,81	23
Е		Легкий		37,814	0	-488,7	-	-0,66	27
		Середній		35,623	0	-433,1	-	-0,72	33
		Важкий		39,339	0	-475,0	-	-0,66	30
Т	експреси	Легкий	Важкий	22,009	0	-211,1	-	-0,80	23
		Середній		22,693	0	-0,209	-	-0,80	24
		Важкий		23,767	0	-203,1	-	-0,78	28
Е		Легкий		33,535	0	-387,6	-	-0,66	33
		Середній		31,883	0	-344,3	-	-0,71	37
		Важкий		35,511	0	-373,2	-	-0,66	35

Для зменшення похибки апроксимації (табл. 3.1) були, по-перше, відокремлені тепловозна та електрична тяги. По-друге, окремо розглядалися вантажні, приміські й пасажирські поїзди, а також поїзди типу «Столичний експрес». По-третє, в окремі групи біли виділені ділянки за середнім ухилом поздовжнього профілю $i_{середн.}$ за такою градацією:

$i_{\text{середн.}} < 4\text{‰}$ – легкий профіль;

$4\text{‰} \leq i_{\text{середн.}} \leq 8\text{‰}$ – середній профіль;

$i_{\text{середн.}} > 8\text{‰}$ – важкий профіль.

Для пасажирських поїздів та експресів крім того введено розподілення за складністю плану лінії через середній радіус (з урахуванням прямих ділянок):

$R_{\text{середн.}} \geq 2000 \text{ м}$ – легкий план;

$2000 \text{ м} > R_{\text{середн.}} \geq 1000 \text{ м}$ – середній план;

$R_{\text{середн.}} < 1000 \text{ м}$ – важкий план.

Загальна дія рухомого складу D , що призводить до зносу колійної інфраструктури визначалась за формулою 3.2. Дослідимо кожну складову, що входить до формули 3.2.

3.3 Робота поздовжніх сил

Робота поздовжніх сил визначалась через поздовжні прискорення, які були отримані при виконанні тягових розрахунків, як зміна швидкості руху поїзда за одиницю часу

$$\alpha_{\text{позд}} = \frac{dV}{dt}.$$

Прискорення $\alpha_{\text{позд}}$, що зв'язані з розгоном і гальмуванням поїзда, доходять до $0,7-1,0 \text{ м/с}^2$ при службовому і до $1,1-2,0 \text{ м/с}^2$ при повному (екстреному) гальмуванні. Поздовжні прискорення, що зв'язані з необхідністю підтримання швидкості на досягнутому рівні знаходяться в межах $\pm 0,25 \text{ м/с}^2$. Роботу поздовжньої сили можна представити як добуток маси екіпажу на прискорення і довжину ділянки, у межах якої прискорення приймаються постійними.

На етапі попередньої оцінки поздовжня дія рухомого складу на колію була представлена як сума механічної роботи локомотива та роботи сил

гальмування (див. п. 3.1) і з достатньою точністю для кожної категорії поїздів визначалась за формулою

$$D_{\text{позд}} = \frac{Q \cdot L}{1000} \cdot \left(a + \frac{b \cdot Q + c \cdot l_{\text{пер}}}{1000} \right), \quad (3.5)$$

де Q - маса поїзду, т;

L - довжина ділянки, км;

$l_{\text{пер}}$ - середня довжина ділянки між пунктами зупинки поїздів, км;

a, b, c - коефіцієнти апроксимації (табл. 3.1).

3.4 Робота вертикальних сил

Одним з показників, що визначає поступовий знос елементів верхньої будови, накопичення відхилень від геометрично правильного положення колії і є основним фактором призначення модернізації або капітального ремонту колії – пропущений тоннаж [48]. Але більш деталізованим фактором, який враховує динамічне навантаження, є робота вертикальних сил, яка визначається як добуток динамічної вертикальної сили, що діє на рейку, на прогин рейко-шпальної решітки під впливом цієї сили. Методика визначення роботи вертикальних сил, що діють на колію, викладена в роботі [59].

Результати розрахунку для ділянки, що має стандартну конструкцію верхньої будови колії (рейки Р65, шпали залізобетонні, баласт щебеневий, безстикова колія) і знаходиться у справному стані (відхилення від норм утримання у межах І...ІІ ступеня, модуль пружності підрейкової основи 50 МПа) показані у вигляді графіків залежності вертикальної сили від швидкості руху, рис. 3.6.

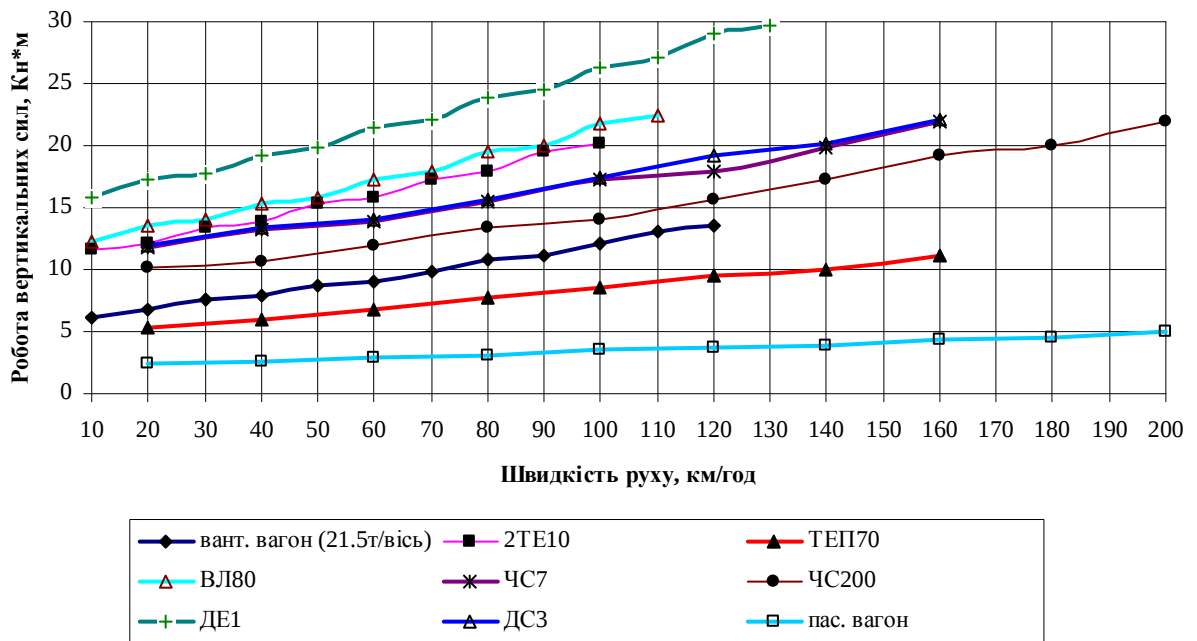


Рисунок 3.6 – Залежність роботи вертикальних сил від швидкості руху
одиниці рухомого складу

Для визначення роботи вертикальних сил ($\text{кН} \cdot \text{м}$) підчас моделювання руху поїзда по ділянці за програмою MoveRW [60] були отримані аналітичні залежності. Наприклад, для електровоза ДЕ1 $D_{\text{верт.}} = 0,117V + 14,381$, для ДС3 $D_{\text{верт.}} = 0,073V + 10,153$ і т. д.

3.5 Робота поперечних сил

3.5.1 Направляючі, бокові й рамні сили

При розрахунках поперечних горизонтальних сил за основу був прийнятий аналітичний метод, розроблений проф. О.П. Єршовим (рис. 3.7). Вибіркові результати розрахунків наведено в додатку Б.

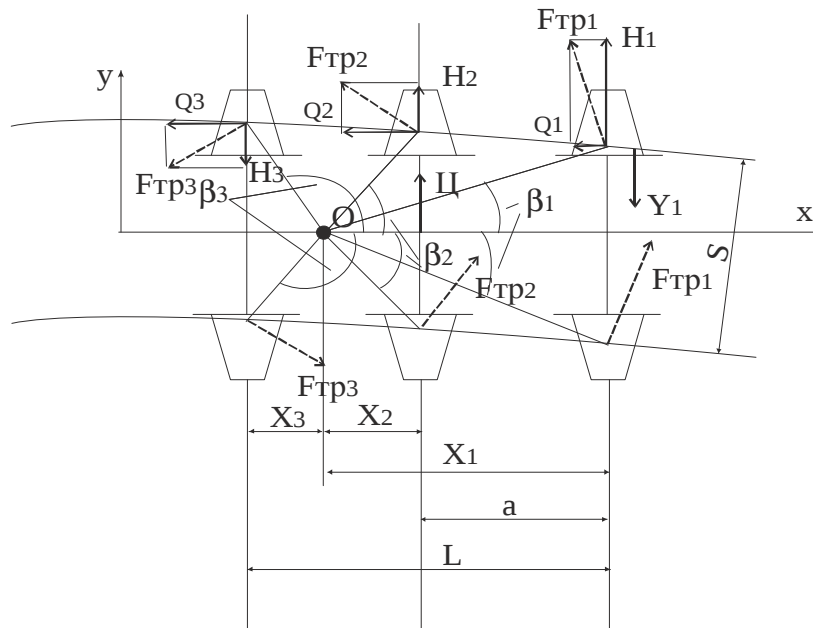


Рисунок 3.7 – Силове вписування візка екіпажу

В роботах [35, 61] показано, що направляючі Y_n й поперечні горизонтальні Y_o сили більшості екіпажів лінійно пропорційні величині непогашених прискорень в діапазоні від -0,7 до +0,7 м/с². Це підтверджено експериментами, проведеними відділом комплексних випробувань ЦНИИ (Росія). Побудовані графіки-паспорти відображають залежності питомих значень направляючих і бокових сил, а також рамних сил від величини непогашених прискорень. В дисертації В.М. Твердомеда [62] була відкоригована методика визначення горизонтальних поперечних сил взаємодії між колесами рухомого екіпажу та колії на залізобетонних шпалах з урахуванням поздовжніх стискаючих сил в поїзді, схем вписування та конструктивних особливостей автозчепних приладів. При розрахунках поперечних горизонтальних сил для нових екіпажів значення коефіцієнту тертя приймалося $\mu \neq const$ і визначалось залежно від відносного проковзування коліс по рейці, яке розрізняється при різних умовах вписування в кривій.

Розрахунки виконані для нових моделей екіпажів та для тих, що тривалий час експлуатуються: ВЛ80, ЧС2, ЧС4, ЧС8, ДС3, а також для пасажирського вагону на візках моделі КВЗ-ЦНП і моделі 68-7012, та вантажного вагону на візках моделі ЦНП-ХЗ.

На рис. 3.8 наведені залежності відцентрової сили від швидкості та радіуса кривої для тривісного візка електровоза ЧС4. На рис. 3.9 – залежність відцентрової й направляючої сил від полюсної відстані.

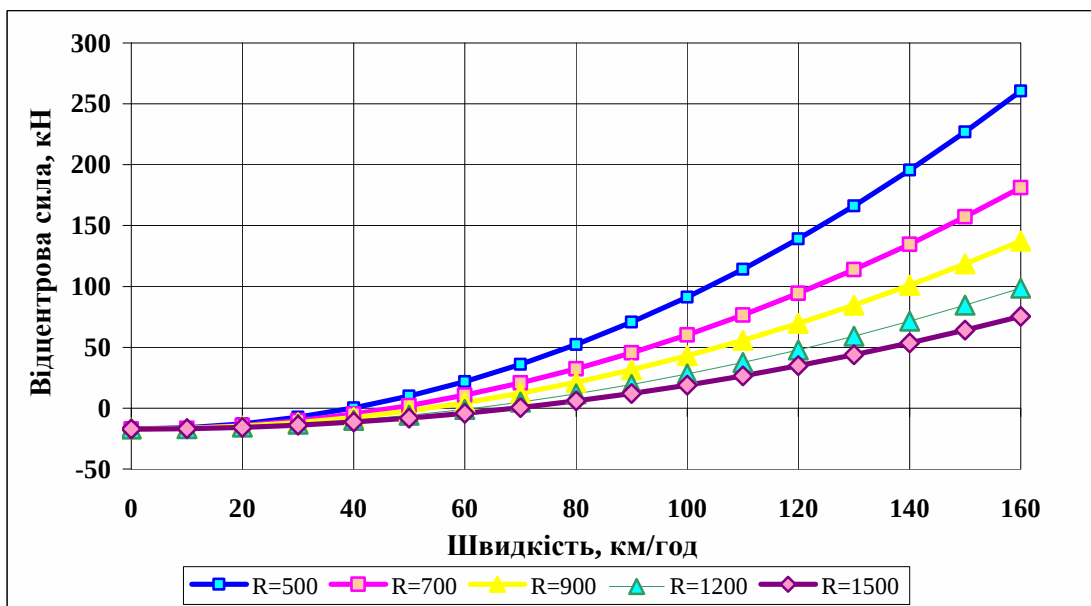


Рисунок 3.8 – Залежність відцентрової сили від швидкості і радіуса кривої

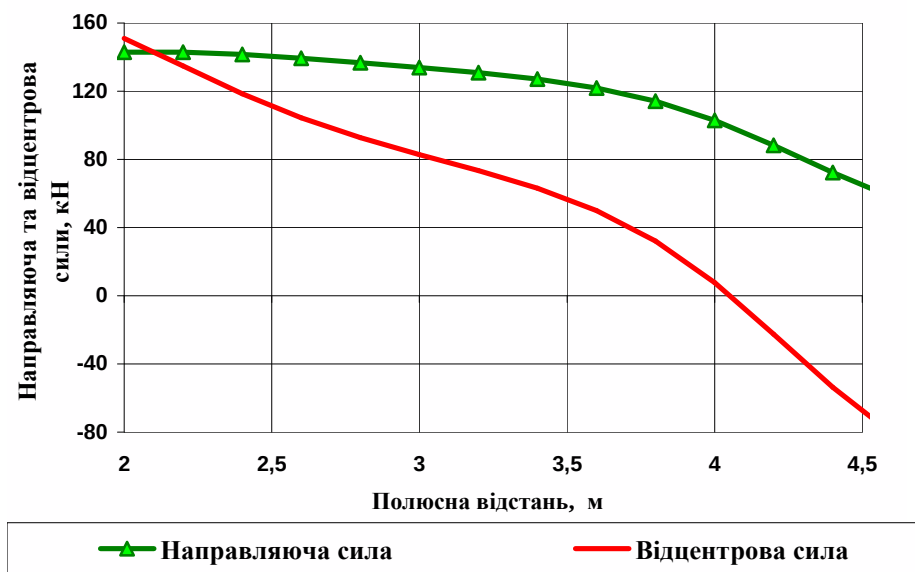


Рисунок 3.9 – Залежність відцентрової та направляючої сил від полюсної відстані

На рис. 3.10 наведені залежності направляючої сили Y_n від непогашеного поперечного прискорення.

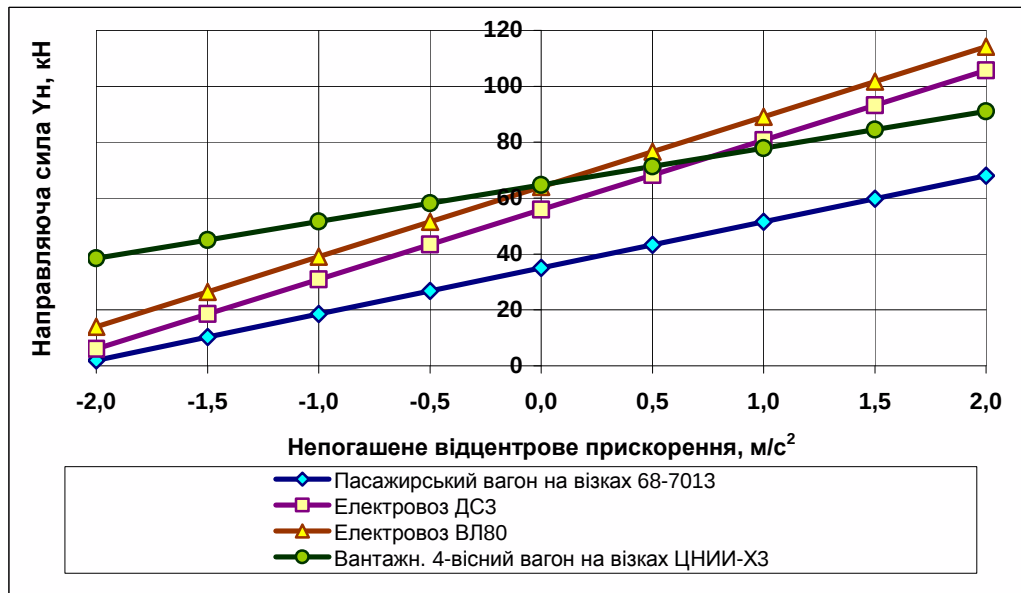


Рисунок 3.10 – Залежність напрямлюючої Y_n сили від непогашеного поперечного прискорення

При відомих напрямлюючих силах Y_n бічні Y_{θ} і рамні Y_p сили визначались за формулами

$$Y_{\theta(i,j,k)} = Y_{n(i,j,k)} - Y_{(i,j,k)},$$

$$Y_{p(i,j)} = Y_{n(i,j,k)} - \sum_{k=1}^2 Y_{(i,j,k)} \quad (3.6)$$

де i – номер візка; j – номер колісної пари у візку; k – сторона, (1 – ліва, 2 – права, якщо дивитися на вагон позаду); $Y_{(i,j,k)}$ – поперечні сили тертя між рейкою і лівим чи правим колесом відповідної колісної пари і візка.

На рис. 3.11 і 3.12 бічні й рамні сили представлені в залежності від непогашеного прискорення.

Таким чином, аргументом сил Y_n , Y_{θ} і Y_p є непогашені поперечні прискорення $\alpha_{nn} = \frac{V^2}{3,6^2 R} - \frac{g h}{S}$ (рис. 3.10-3.12). З рис. 3.10 видно, яке велике значення відіграють поперечні непогашені прискорення в формуванні поперечних горизонтальних сил Y_{θ} . При нормуємому $\alpha_{nn} = 1,0$ м/с² бокові сили для електровоза ДСЗ становлять близько 62 кН, для пасажирського вагону на візках 68-7013 – 41,4 кН. Поперечна дія вантажного вагону на колію на візках ЦНИИ-ХЗ при навантаженні від колісної пари на колію

210 кН при $\alpha_{nn} = 0,3 \text{ м/с}^2$ становить 50 кН. Як впливає з рис. 3.11, рух екіпажів при позитивному значенні α_{nn} відбувається з суттєвим перевантаженням зовнішньої рейки.

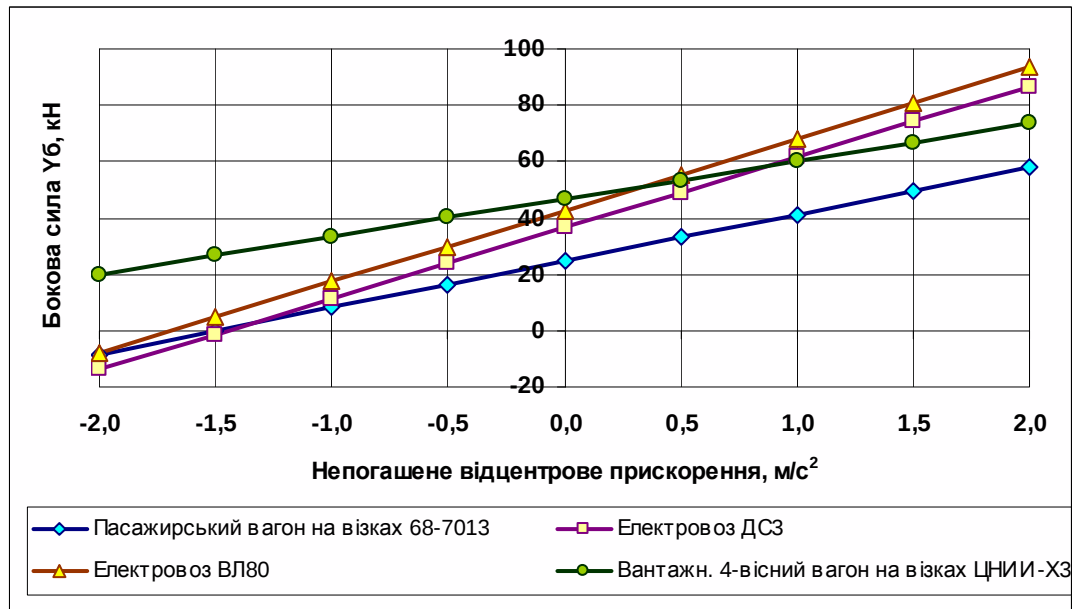


Рисунок 3.11 – Залежність бокової сили Y_b від непогашеного поперечного прискорення

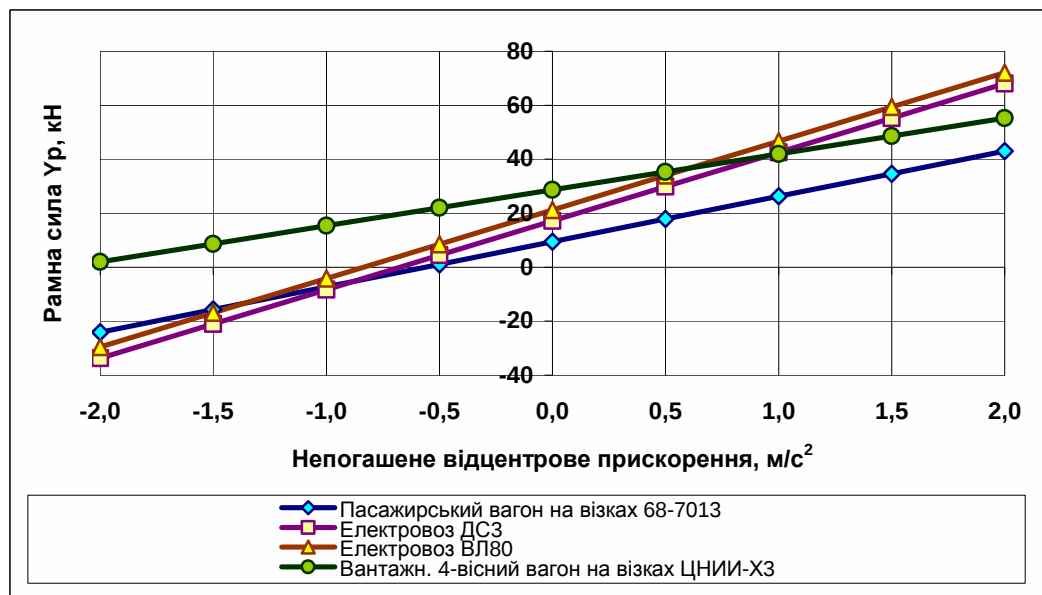


Рисунок 3.12 – Залежність рамної сили Y_r від непогашеного поперечного прискорення

Проведені розрахунки підтверджують справедливність залежностей

$$Y = Y_0 + b \cdot \alpha_{nn},$$

де Y_0 - величина поперечної сили при $\alpha_{nn}=0$, визначається по графіках-паспортах, b - кут нахилу графіку $Y = f(\alpha_{nn})$ чи похідна від Y по α_{nn} при $\alpha_{nn}=0.7$.

3.5.2 Експериментальні дослідження бокових сил

Експериментальні поїздки були проведені на ділянці Київ-Миронівка Південно-Західної залізниці на прямій і кривих радіусом 1400 і 1000 м.

Експериментальний поїзд був сформований з електровозів ЧС8 (в голові і хвості поїзда) і двох нових пасажирських вагонів.

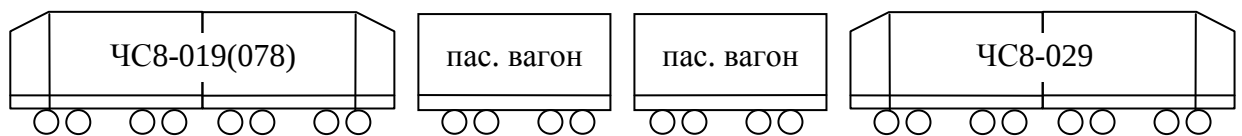


Рисунок 3.13 – Схема дослідного поїзду

Поїздки здійснювались човником із швидкістю від 100 до 160 км/год. На пасажирському вагоні були встановлені датчики (рис. 3.14), за допомогою яких велись записи по 20-ти каналам (табл. 3.2).

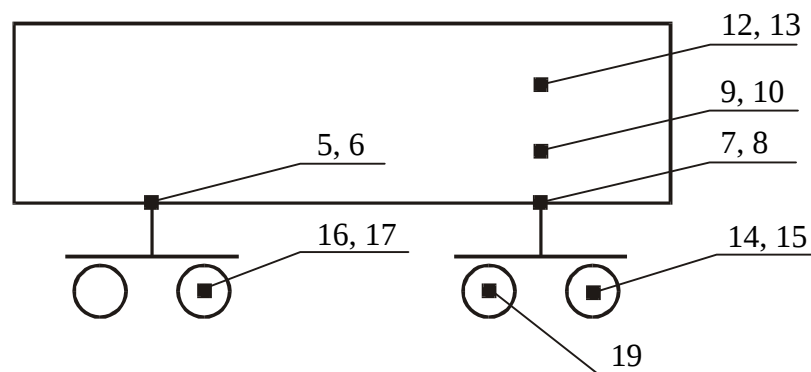


Рисунок 3.14 – Розстановка датчиків на вагоні

Таблиця 3.2 – Експериментальні дані, що отримувались по 20-ти каналам

Номер каналу	Вимірювальна величина	
1	φ	Кут повороту візка відносно кузова
2	f_1	Прогін правого ресорного комплекту
3	f_2	Прогін лівого ресорного комплекту
5	$y_{ш2}$	Горизонтальне прискорення на 2-му шкворні
6	$z_{ш2}$	Вертикальне прискорення на 2-му шкворні
7	$y_{ш1}$	Горизонтальні прискорення на 1-му шкворні
8	$z_{ш1}$	Вертикальне прискорення на 1-му шкворні
9	y_n	Горизонтальне прискорення на нижній полиці
10	z_n	Вертикальне прискорення на нижній полиці
12	$z_в$	Вертикальне прискорення на верхній полиці
13	$y_в$	Горизонтальне прискорення на верхній полиці
14	$y_{б1}$	Горизонтальне прискорення на 1-й буксі
15	$z_{б1}$	Вертикальне прискорення на 1-й буксі
16	$z_{б2}$	Вертикальне прискорення на 2-й буксі
17	$y_{б2}$	Горизонтальне прискорення на 2-й буксі
19		Відмітник (прив'язка до кривої на місцевості)
20		Розгортка колеса

Частота запису складала 273 Гц, тобто між моментами фіксації показань проходило приблизно 0,0037 с. Тривалість запису 30 с. Фіксувались високочастотні коливання вимірюваних величин і їхні пікові значення – великі за величиною і короткочасні за часом дії. Кожний запис складався із 8190 точок.

За отриманими експериментально величинами кромочних напружень у подошві й у зовнішній грані головки рейки були визначені бокові сил, що передаються від екіпажів на рейки за методикою Ершкова О.П. [63]

$$Y_o = B \cdot \sigma_H^n$$

де Y_o – бокові сили, що виникають у колії;

B – коефіцієнт для визначення бокових сил;

σ_H^n – напруження, що виникають у зовнішньої крайці подошви рейок від дії бокових сил:

для рейок типу P65 $B = 2,19 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt[3]{\beta_y^e}$,

для рейок типу UIC 60 $B = 2,1 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt[3]{\beta_y^e}$,

де β_y^e – горизонтальна жорсткість по головці рейки.

В табл. 3.3 і на рис. 3.15 і 3.16 показані максимально ймовірні (H_{max}^e) значення бокових сил на прямій, в кривій радіусом 1400 м і 1000 м.

Таблиця 3.3 – Значення бокових сил Y_e , кН

Показники	Значення бокових сил для швидкостей руху, км/год					
	100	120	130	140	150	160
Пряма						
$\bar{H}$	0,1	-0,3	-0,3	0,3	1,6	1,8
H_{max}^e	10,8	11,3	11,6	13,0	18,5	18,6
H_{max}^H	12,7	16,0	17,4	24,5	28,7	37,3
крива радіусом 1400 м						
$\bar{H}$	-0,1	1,5	2,0	1,0	3,4	2,9
H_{max}^e	12,0	14,7	16,7	18,4	22,9	24,2
H_{max}^H	11,7	14,2	16,2	19,6	23,8	27,2

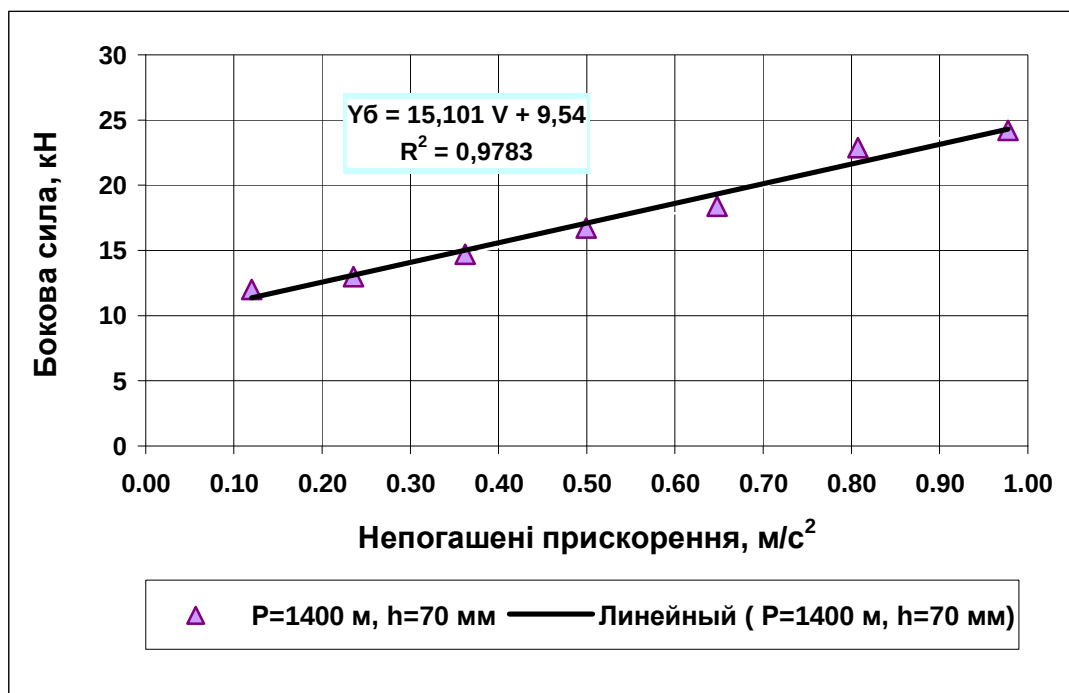


Рисунок 3.15 – Залежність бокових сил від непогашених прискорень в кривій радіусом 1400 м

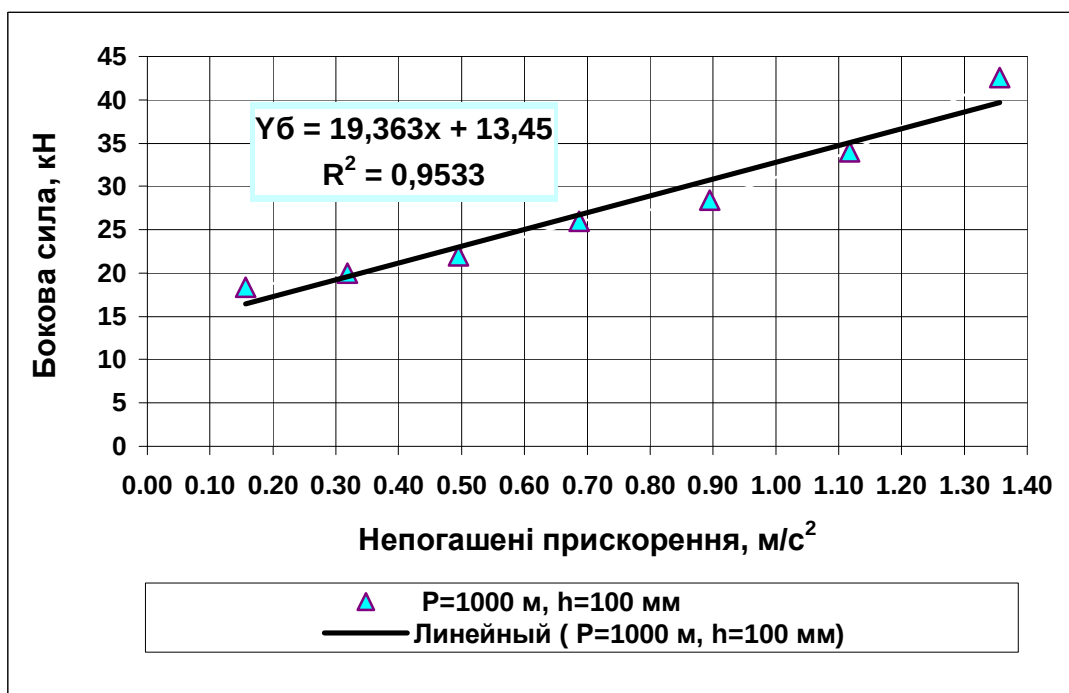


Рисунок 3.16 – Залежність бокових сил від непогашених прискорень в кривій радіусом 1000 м

Аналіз таблиці 3.4 і графіків (рис 3.15, 3.16) показав, що на дослідних ділянках спостерігається близька до лінійної залежність величини бокових сил від швидкості руху і непогашених прискорень, причому, при меншому

радіусі значення сил більші. Експериментальні дані підтверджують аналітичні розрахунки, що представлені на рис. 3.11.

Таким чином, приходимо висновку, що поперечні сили всіх видів (направляючі, бокові й рамні сили) залежать від непогашених відцентрових прискорень. У подальшому дослідженні у якості прототипу поперечної сили прийнято непогашену відцентрову силу.

3.5.3 Непогашена відцентрова сила

Відомо, що при проходженні екіпажу по кривій радіусом R виникає відцентрова сила

$$I = \frac{m \cdot V^2}{R} = \frac{G \cdot V^2}{g \cdot R} \quad (3.7)$$

де m – маса одиниці рухомого складу;

G , g – відповідно сила ваги і прискорення вільного падіння;

R – радіус кривої, м.

Сила I притискує екіпаж до зовнішньої рейки, перевантажуючи її і збільшуючи опір руху екіпажу. Крім того, ця сила впливає на комфорт пасажирів.

При улаштуванні підвищення зовнішньої рейки h з'являється складова сили ваги H , спрямована усередину кривої (рис. 3.17), яка повністю чи частково врівноважує відцентрову силу [64].

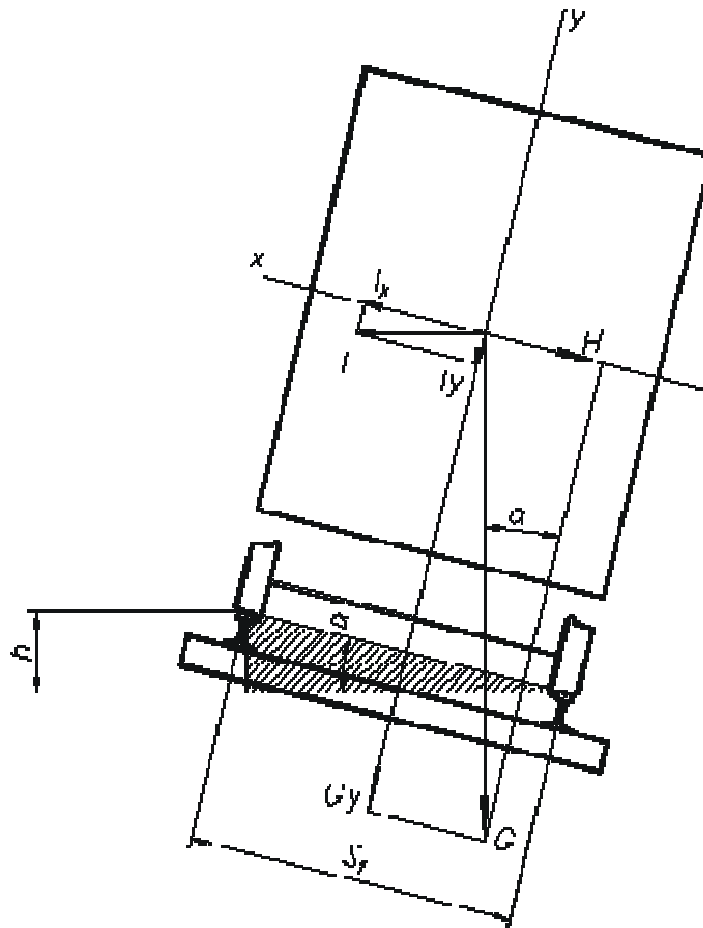


Рисунок 3.17 – Схема сил, що діють на екіпаж у кривій

З огляду на те, що кут α малий і при максимально допустимому підвищенні, зовнішньої рейки 150 мм $\cos \alpha = 0,996$, можна прийняти, що I і H направлені перпендикулярно вісі вагону. З рис. 3.17 знаходимо, що

$$H = \frac{G \cdot h}{S}.$$

При нестачі підвищення сила H не зрівноважує I , тоді має місце непогашена відцентрова сила

$$F_n = Q \left(\frac{V^2}{3,6^2 R} - \frac{gh}{S} \right) \quad (3.8)$$

Вираз у дужках представляє собою непогашене поперечне прискорення

$$\alpha_n = \frac{V^2}{3,6^2 R} - \frac{gh}{S} \quad (3.9).$$

Надалі робота поперечних сил на колію розглядалась як сума відцентрових сил упродовж кривої, тобто

$$D_{non.} = \sum (F_n \cdot \Delta S), \quad (3.10)$$

де ΔS - крок інтегрування (переміщення поїзда упродовж кривої).

Для визначення відцентрових сил для кожного типу рухомого складу, що обертається на ділянці, необхідно помножити його масу на відповідне прискорення в окремих точках. Як відомо, це прискорення залежить від швидкості, кривизни колії у плані та підвищення зовнішньої рейки у цих точках. Щоб отримати умовну роботу $D_{non.}$, знайдена сила помножалась на відстань між точками упродовж кривої. Сума таких умовних робіт по всій ділянці і для всіх типів рухомого складу і служить показником, який указує на ефект від зменшення непогашених поперечних прискорень.

3.5.4 Розрахунки непогашених прискорень

З урахуванням вищевикладеного, на рис. 3.18 наведені результати розрахунків непогашених прискорень (формула 3.9) для поїздопотoku упродовж ділянки, що досліджувалась. Як видно з графіку, максимальні прискорення для основної частини пасажирських поїздів знаходяться в межах $0,2...0,4 \text{ м/с}^2$, в окремих точках до $0,7...0,8 \text{ м/с}^2$. Для вантажних поїздів α_{nn} до $0,4 \text{ м/с}^2$.

Щоб прослідкувати вплив радіусів кривих, категорії поїздів та інших факторів на величину α_{nn} , були побудовані графіки, що представлені для наочності на рис. 3.19 - 3.22.

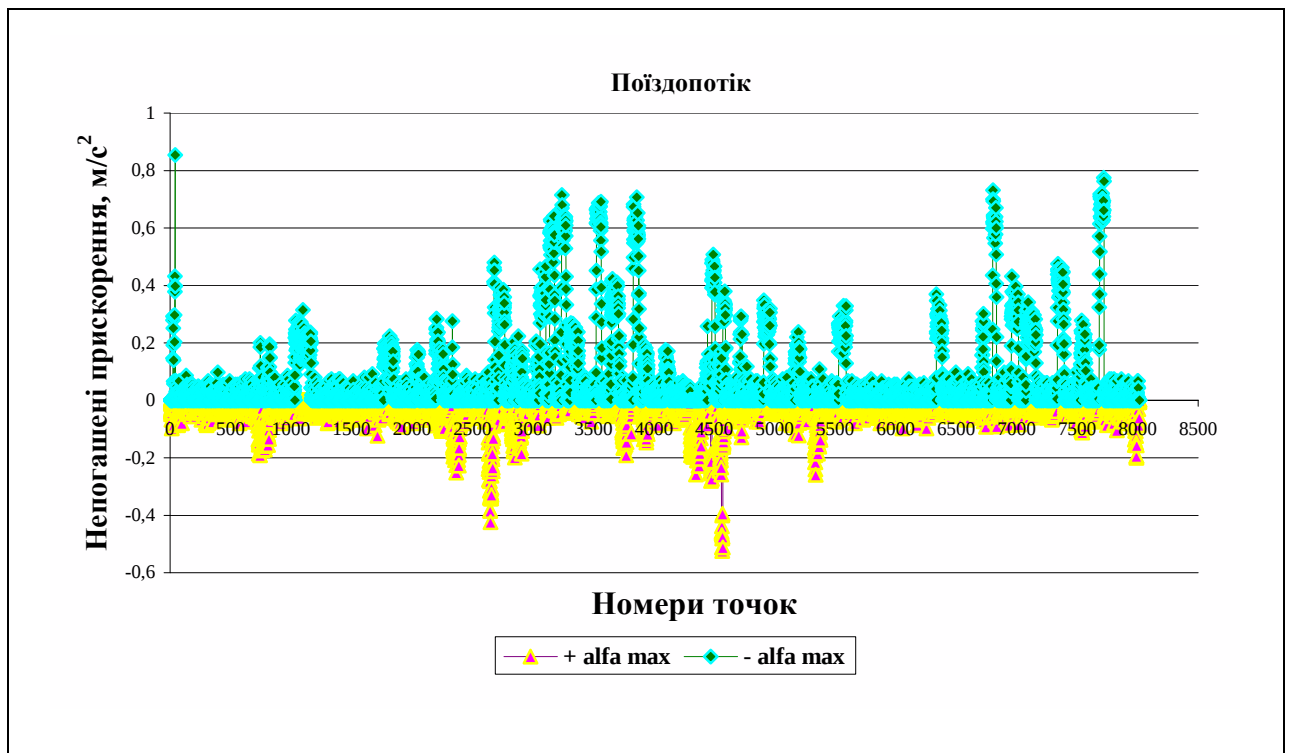


Рисунок 3.19 – Розподіл непогашених прискорень від потоку поїздів упродовж ділянки



Рисунок 3.20 – Розподіл непогашених прискорень від пасажирських поїздів в залежності від радіусів кривих



Рисунок 3.21 – Розподіл непогашених прискорень від вантажних поїздів в залежності від радіусів кривих



Рисунок 3.22 – Розподіл непогашених прискорень для поїздопотуку в залежності від радіусів кривих

З аналізу зміни непогашених прискорень (рис. 3.19-3.22) можна зробити висновок щодо впливу величини радіусу кривих на α_{nn} і на роботу відцентрової сили, яка залежить також від категорії поїздів і швидкості їх руху.

3.6 Розподілення витрат на утримання колії в залежності від структури поїздопотоків

Для визначення економічної оцінки впливу інтенсивності вантажного й пасажирського руху на знос колійної інфраструктури і розподілення витрат на утримання колії в залежності від структури поїздопотоків була застосована вище викладена методика і програма розрахунків ZnosInfra, складена доц. І.П. Корженевичем [52-54].

Для використання запропонованої методики необхідно розділити напрямки, що досліджується, на окремі ділянки з урахуванням їхніх особливостей як за параметрами траси, так і за експлуатаційними показниками. Наприклад, на напрямку Підволочиськ-Львів найбільш складною є ділянка Підволочиськ-Тернопіль, як за параметрами поздовжнього профілю (табл. 3.4), так і за параметрами плану (табл. 3.5).

Таблиця 3.4 – Характеристика поздовжнього профілю

Ділянка	Середній ухил, ‰	Протяжність елементів профілю, %, з ухилами, ‰		
	$i_{сер}$	$i > 4$	$i > 6$	$i > 8$
Підволочиськ-Тернопіль	5,1	61,0	47,1	17,6
Тернопіль-Красне	3,8	44,7	16,9	7,0
Красне-Львів	2,7	19,6	14,0	8,1

Таблиця 3.5 – Характеристика плану ділянок залізниці

Ділянка	Середній радіус $R_{сер}$, м	Співвідношення кривих до прямих, %	Протяжність кривих, %, що обмежують швидкість	
			до 160 км/год	до 140 км/год
Підволочиськ-Тернопіль	717	30,9	24,7	19,2
Тернопіль-Красне	842	29,0	22,2	12,8
Красне-Львів	883	21,8	15,4	8,1

Обсяги вантажних і пасажирських перевезень на напрямку Київ-Львів наведені в табл. 3.7 за даними Київдіпротрансу.

Таблиця 3.6 – Обсяги перевезень вантажів і пасажирів

Показники	Красне-Львів	Тернопіль-Красне	Хмельницький-Тернопіль
Відстань, км	50,5	89,5	117,2
Тип вантажного локомотива	ВЛ 80		
Маса вантажного поїзда, т	4600/2800	4000/2800	3400/2800
Вантажонапруженість нетто, млн. ткм/км	45,6/16,4	8,9/9,4	9,6/9,7
Тип пасажирського локомотива	ЧС 4, ЧС 8		
Маса пасажирського поїзда, т	№7/8 Київ-Чоп „Дукла” не більше 1000 т		
Розміри пасажирського руху, пар поїздів на добу*)	48(7)+12	33(5)+8	37(6)+6

Примітка: пасажирський рух – пар поїздів на добу: щорічні (в тому числі літні) + приміські

Нижче наводяться вихідні дані для розрахунків: характеристика ділянок (табл. 3.7) для напрямку Підволочиськ-Львів і параметри поїздопотоків (табл. 3.8).

Таблиця 3.7 – Характеристика ділянок

Показники	Красне-Львів	Тернопіль-Красне	Підволочиськ-Тернопіль
Стан колії	середній	добрий	середній
Довжина ділянок, км	50,5	89,5	51,2
Довжина кривих, км	11,2	26,0	15,8
Середній радіус кривих	1003	842	717
Складність профілю	легкий	легкий	середній
Складність плану	середній	важкий	важкий
Кількість категорій поїздів	5	5	5

Таблиця 3.8 – Характеристика поїздопотоків для ділянок на напрямку
Підволочиськ-Львів

Підволочиськ-Тернопіль					
Вид тяги	електрична	електрична	електрична	електрична	електрична
Тип поїздів	вантажний	вантажний	вантажний	пасажирський	приміський
Маса, т	3400	2800	1200	1000	400
Відстань між зупинками, км	30	30	51	51	17
Середня швидкість, км/год	69	69	71	95	80
Кількість поїздів	1278	1716	438	13505	2190
Тернопіль-Красне					
Вид тяги	електрична	електрична	електрична	електрична	електрична
Тип поїздів	вантажний	вантажний	вантажний	пасажирський	приміський
Маса, т	4000	2800	1200	1000	400
Відстань між зупинками, км	42	42	48	90	18
Середня швидкість, км/год	69	69	71	100	85
Кількість поїздів	1351	1935	584	12045	2920
Красне-Львів					
Вид тяги	електрична	електрична	електрична	електрична	електрична
Тип поїздів	вантажний	вантажний	вантажний	пасажирський	приміський
Маса, т	4600	2800	1200	1000	400
Відстань між зупинками, км	44	44	51	51	18
Середня швидкість, км/год	69	69	71	90	80
Кількість поїздів	11972	11206	766	17520	4380

Були виконані розрахунки не тільки на основі апроксимуючих залежностей [52], але й за допомогою інформації про роботу сил, яка отримується при моделюванні руху поїзда за програмою MoveRW.

Ці показники розраховуються як для кожної категорії поїздів, так і сумарно для поїздопотоків.

Кошти на утримання колійної інфраструктури розподіляються пропорційно впливу поїздів на колію. Результати розрахунків ілюструються на діаграмах.

Для прикладу показано розподілення витрат на утримання інфраструктури за категоріями поїздів на ділянці Підволочиськ-Тернопіль (рис. 3.23, 3.24) і табл. 3.9.

Розподілення витрат на утримання інфраструктури по категоріях поїздів

Читати дані по ділянці Назва ділянки: Підволочиськ-Тернопіль

Витрати на утримання за розрахунковий період (тис. грн): колії - 10837 контактної мережі - 1871

Стан колії: середній Довжина ділянки, км: 51 Довжина кривих на ділянці, км: 17 Середній радіус кривих, м: 717

Кількість категорій поїздів в розрахунку: 5 Складність профілю: середній Складність плану: важкий

Роботи яких сил будуть не за апроксимацією, а за результатами точних розрахунків: ☐ поздовжніх ☐ поперечних ☐ вертикальних

Задайте кількість категорій поїздів та іншу інформацію по ділянці. В таблиці заповніть відповідні поля: Тяга - задайте т для тепловозної тяги, е - для електричної постійного струму, з - для змінного; Тип - кнопкою миші оберіть тип поїзда для категорії; Прим. - наберіть при необхідності якусь примітку. Після вводу інформації натисніть "Поновити".

Q - маса поїзду, т; Lz - середня відстань між зупинками, км; V - середня швидкість, км/год; N - кількість поїздів за розрахунковий період.

Наступні три значення роботи вводяться для одного поїзда в ткм, якщо вони будуть задаватися за результатами точних розрахунків: D1mt - поздовжніх сил; D1p - поперечних сил; D1v - вертикальних сил. D1 - загальна дія на колію одного поїзда; D - всіх поїздів цієї категорії, млн. ткм. E1 - загальна дія на контактну мережу одного поїзда (у.о.); E - всіх поїздів цієї категорії. Далі йде доля поїздів цієї категорії в загальних витратах. Для колії: a1, A1 - одного поїзда (1000%, тис. грн.); аз, Аз - всіх (% млн. грн.). Для контактної мережі: k1, K1 - одного поїзда (1000%, тис. грн.); кз, Кз - всіх поїздів цієї категорії (% млн. грн.). Т - вартість 10 ткм, коп.

Загальний вплив всіх поїздів на колію: 13.513 та на контактну мережу: 7.55. Середня вартість 10 ткм - 11.499 коп.

№	Тяга	Тип	Прим	Q	Lz	V	N	D1mt	D1p	D1v	D1	D	E1	E	a1	A1	аз	Аз	k1	K1	кз	Кз	T
1	з	вантаж		3400	30	69	1178	1503.0	255.6	1759	2.072	0.856	1.008	13.02	1.411	15.3	1.662	11.34	0.212	13.4	0.25	9.36	
2	з	вантаж		2800	30	69	1168	1332.0	226.6	1559	1.821	0.759	0.886	11.54	1.251	13.5	1.461	10.05	0.188	11.7	0.22	10.07	
3	з	вантаж		1200	50	71	10	531.7	3.8	90.4	626	0.006	0.311	0.003	4.63	0.502	0	0.005	4.13	0.077	0	0.001	9.46
4	з	пасажир		1000	50	95	13505	467.7	116	39.8	624	8.422	0.367	4.951	4.61	0.5	62.3	6.754	4.86	0.091	65.6	1.227	11.59
5	з	примісь		400	17	80	2190	485.7	17.1	41.3	544	1.191	0.321	0.702	4.03	0.436	8.8	0.956	4.25	0.079	9.3	0.174	25.28

Райл Brain Systems Керженеви І. П. kjp@railbs.com Поновити ☒ Показувати діаграми Зберегти дані Зберегти результати Закінчити роботу

Рисунок 3.23 – Розподіл витрат на утримання інфраструктури за категоріями поїздів (ділянка Підволочиськ -Тернопіль)

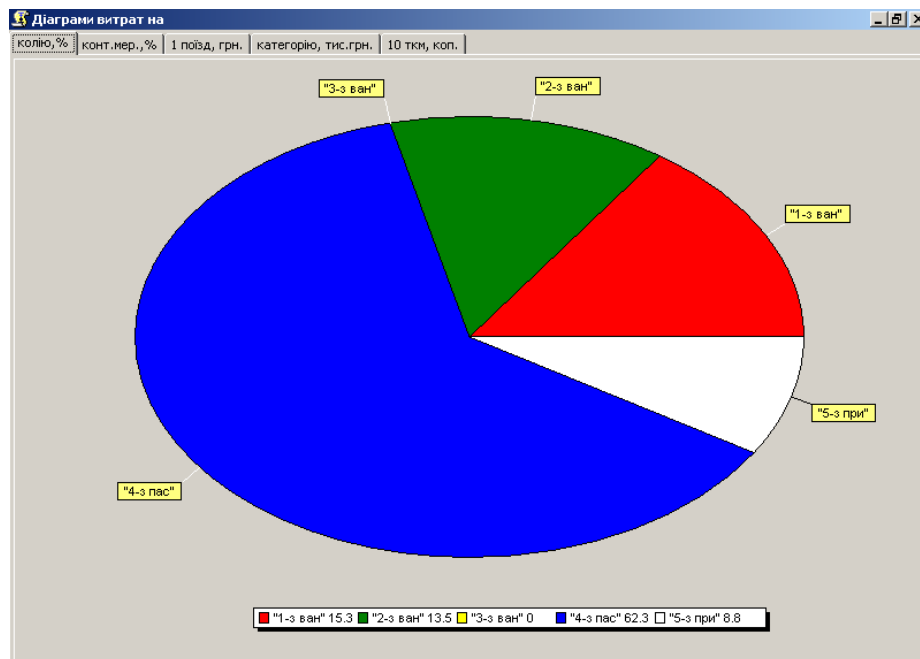


Рисунок 3.24 – Діаграма витрат на колійну інфраструктуру на ділянці Підволочиськ-Тернопіль

Таблиця 3.9 – Загальний вплив всіх поїздів, млн. т-км

Назва ділянок	Вплив на колію
1. Підволочиськ-Тернопіль	13,513
2. Тернопіль-Красне	25,465
3. Красне-Львів	41,448
Всього	80,426

Подальший розподіл витрат виконується таким чином. За звітом залізниць про доходи і витрати (форма № 14-зал.) визначаються загальні витрати за розрахунковий період. Наприклад, вони становлять 64,5 млн. грн. Тоді пропорційно сумарному впливу поїздів на першу ділянку на утримання колії припадає

$$\frac{64,5 \cdot 13,513}{80,426} = 10,837 \text{ млн. грн.}$$

Відповідно для другої і третьої ділянки на утримання колійної інфраструктури маємо 20,422 млн. грн. і 33,255 млн. грн.

Отримані значення задаються для повторного розрахунку для кожної ділянки. Для прикладу, на рис. 3.25 наведені дані для третьої ділянки Красне-Львів.

Розподілення витрат на утримання інфраструктури по категоріях поїздів

Читати дані по ділянці Назва ділянки: Красне-Львів

Витрати на утримання за розрахунковий період (тис. грн): колії - 33255 контактної мережі - 5288

Стан колії: середній Довжина ділянки, км: 51 Довжина кривих на ділянці, км: 11 Середній радіус кривих, м: 1003

Кількість категорій поїздів в розрахунку: 5 Складність профілю: легкий Складність плану: середній

Роботи яких сил будуть не за апроксимацією, а за результатами точних розрахунків: ☐ поздовжніх ☐ поперечних ☐ вертикальних

Задайте кількість категорій поїздів та іншу інформацію по ділянці. В таблиці заповніть відповідні поля: Тяга - задайте т для тепловозної тяги, е - для електричної постійного струму, з - для змінного; Тип - кнопкою миші оберіть тип поїзда для категорії; Прим. - наберіть при необхідності якусь примітку. Після вводу інформації натисніть "Поновити".
Q - маса поїзду, т; Lz - середня відстань між зупинками, км; V - середня швидкість, км/год; N - кількість поїздів за розрахунковий період.
Наступні три значення роботи вводяться для одного поїзда в ткм, якщо вони будуть задаватися за результатами точних розрахунків:
D1mt - поздовжніх сил; D1п - поперечних сил; D1в - вертикальних сил. D1 - загальна дія на колію одного поїзда; D - всіх поїздів цієї категорії, млн.ткм. E1 - загальна дія на контактну мережу одного поїзда (у.о.); E - всіх поїздів цієї категорії. Далі йде доля поїздів цієї категорії в загальних витратах. Для колії: a1, A1 - одного поїзда (1000%, тис.грн.); аз, Аз - всіх (% млн. грн.). Для контактної мережі: k1, K1 - одного поїзда (1000%, тис.грн.); kз, Kз - всіх поїздів цієї категорії (% млн.грн.). Т - вартість 10 ткм, коп.

Загальний вплив всіх поїздів на колію: 41.448 та на контактну мережу: 21.338. Середня вартість 10 ткм - 7.087 коп.

№	Тяга	Тип	Прим	Q	Lz	V	N	D1mt	D1п	D1в	D1	D	E1	E	a1	A1	аз	Аз	k1	K1	kз	Kз	T
1	з	вантаж		4600	44	69	11972	1320.0	224.6	1545	18.502	0.752	9.002	3.73	1.24	44.6	14.84	3.52	0.186	42.2	2.231	6.08	
2	з	вантаж		2800	44	69	11206	1003.0	170.6	1173	13.15	0.571	6.398	2.83	0.942	31.7	10.55	2.68	0.141	30	1.586	7.58	
3	з	вантаж		1200	50	71	766	463.3	1.8	78.8	544	0.417	0.271	0.208	1.31	0.436	1	0.334	1.27	0.067	1	0.052	8.23
4	з	пасажир		1000	50	90	17520	339.6	41.8	28.9	410	7.187	0.252	4.418	0.99	0.329	17.3	5.767	1.18	0.062	20.7	1.095	7.68
5	з	примісь		400	18	80	4380	454	7.9	38.6	501	2.192	0.3	1.312	1.21	0.402	5.3	1.759	1.4	0.074	6.2	0.325	23.33

RailBrain Systems Корженевич І. П. kjp@railbs.com

Поновити ☐ Показувати діаграми Зберегти дані Зберегти результати Закінчити роботу

Рисунок 3.25 – Розподіл витрат на утримання інфраструктури за категоріями поїздів (ділянка Красне-Львів)

На рис. 3.26-3.27 і в табл. 3.10 наведені витрати відповідно на колійну інфраструктуру, на 1 поїзд і для потоку поїздів, а також питомі витрати на 10 ткм.

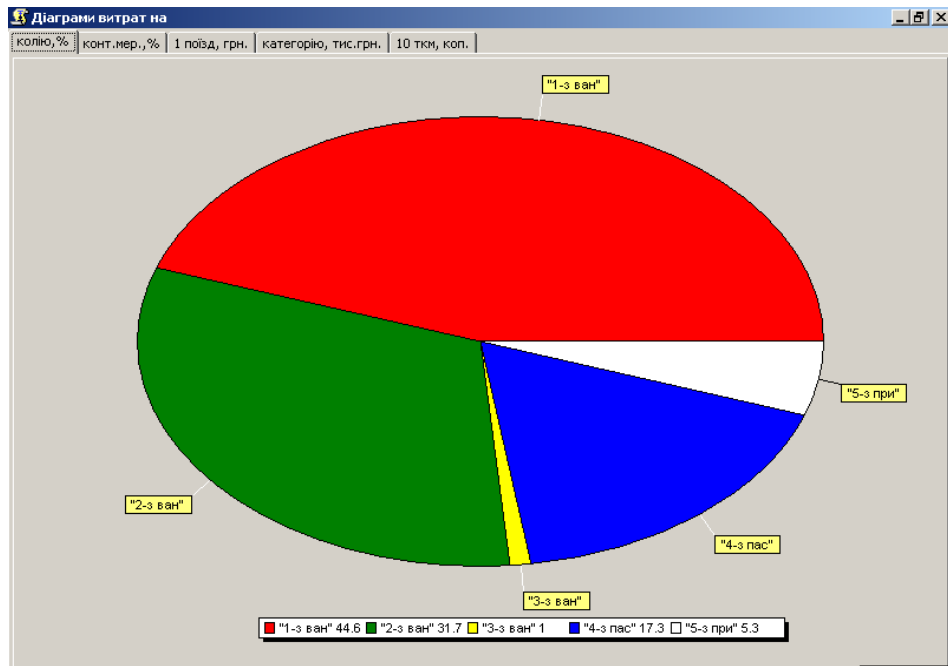


Рисунок 3.26 – Діаграма витрат на колійну інфраструктуру на ділянці Красне-Львів

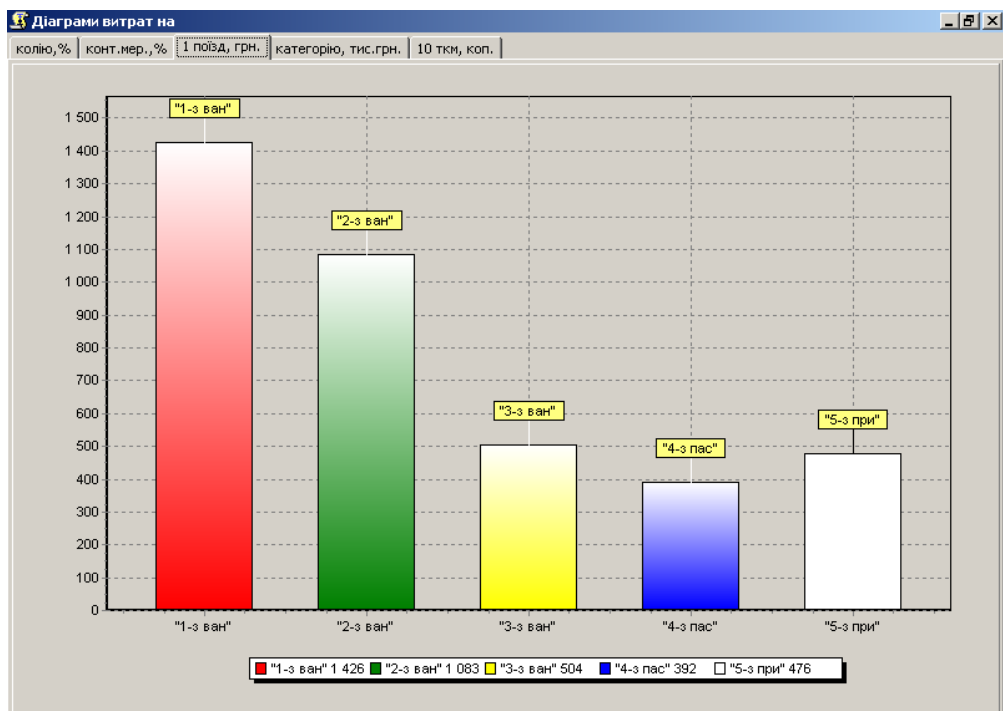


Рисунок 3.27 – Діаграма витрат на один поїзд на ділянці Красне-Львів

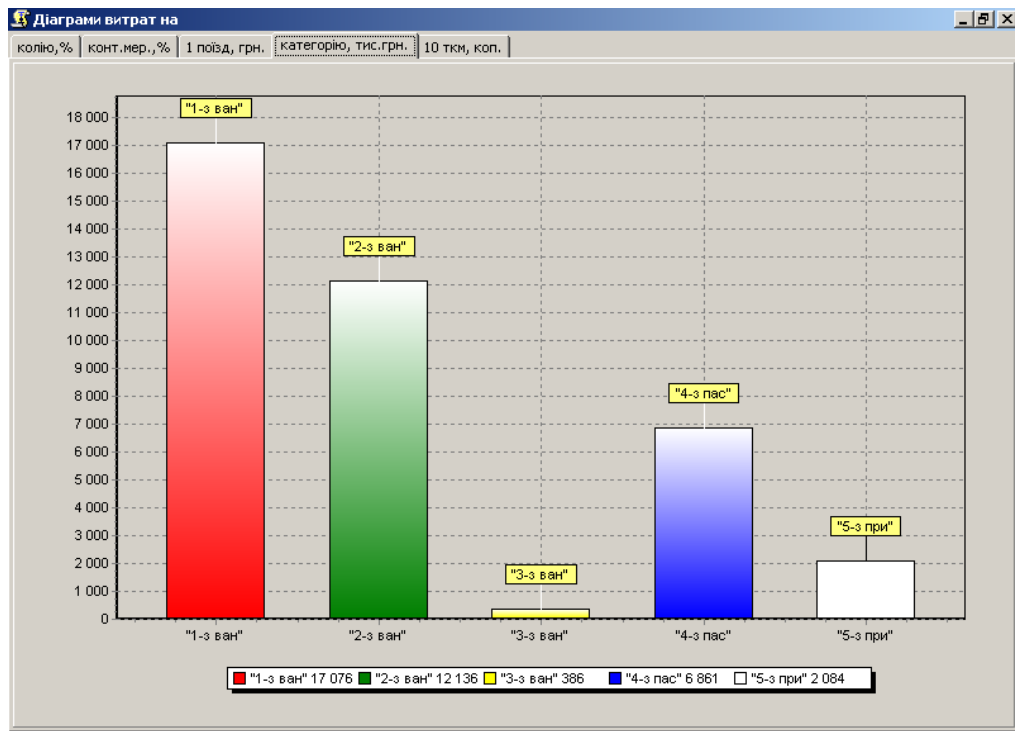


Рисунок 3.28 – Діаграма витрат на ремонт колійної інфраструктури від дії потоку поїздів на ділянці Красне-Львів

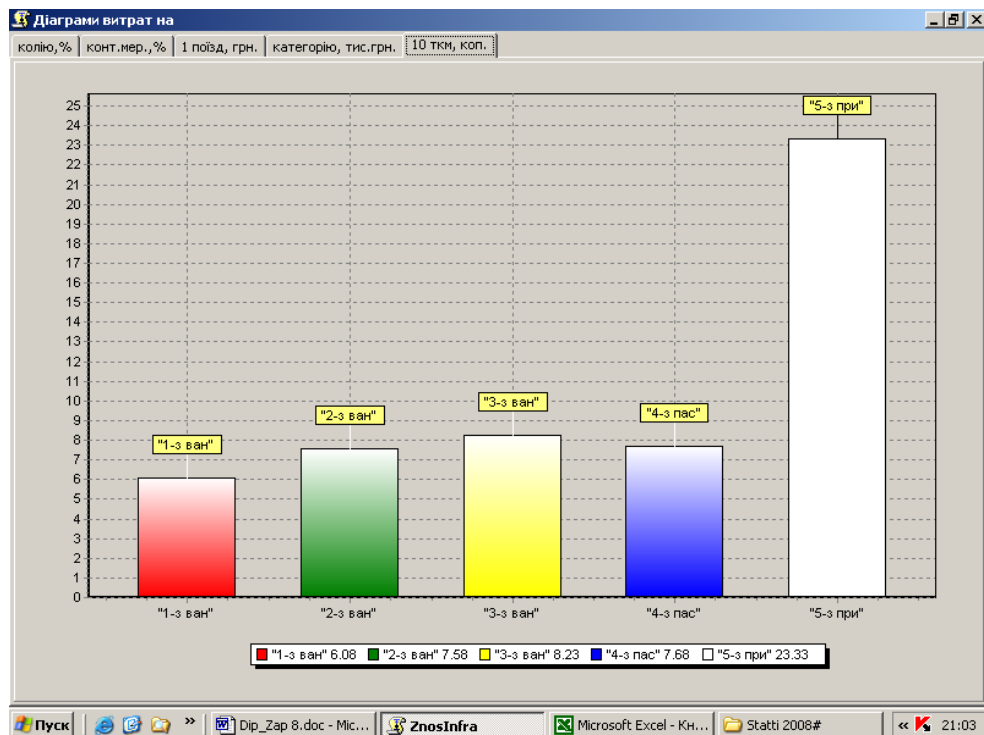


Рисунок 3.29 – Витрати, приведені до 10 т-км вантажообігу

Таблиця 3.10 – Витрати на утримання інфраструктури від Підволочиська до Львова, віднесені до відповідних категорій поїздів

Категорія поїздів	Утримання колійної інфраструктури	
	на 1 поїзд, грн.	на всі поїзди, тис. грн.
Підволочиськ-Тернопіль		
1	1411	1662
2	1251	1461
3	502	50
4	50	6756
5	436	956
Всі		10840
Тернопіль-Красне		
1	2136	5023
2	1715	3319
3	794	464
4	789	9499
5	725	2116
Всі		20421
Красне-Львів		
1	1239	14833
2	941	10543
3	436	334
4	329	5762
5	401	1758
Всі		33230

Зміна дії на колію та витрат на утримання інфраструктури було досліджено на ділянці Тетерів – Коростень при збільшенні пасажирських та вантажних поїздів (рис. 3.30–3.35).

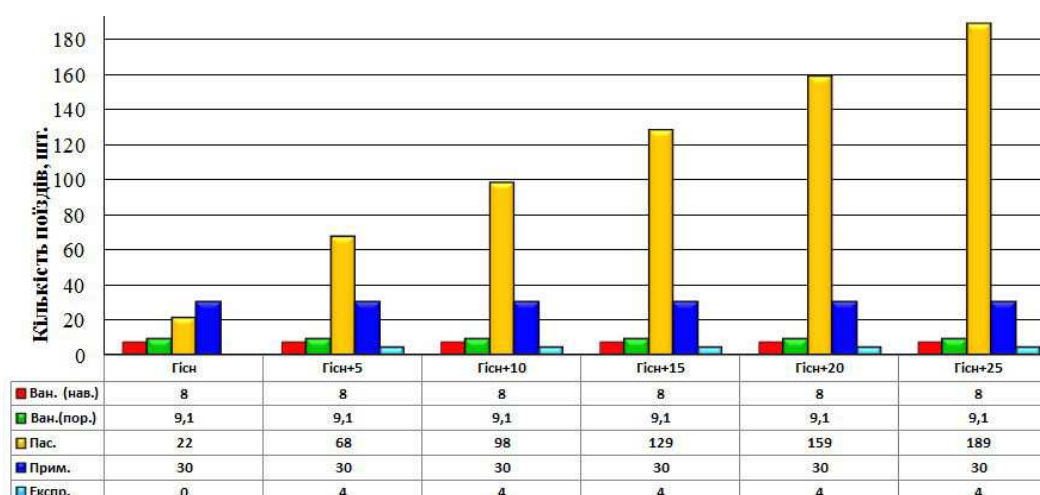


Рисунок 3.30 – Гістограма залежності кількості поїздів від вантажонапруженості при збільшенні кількості пасажирських поїздів

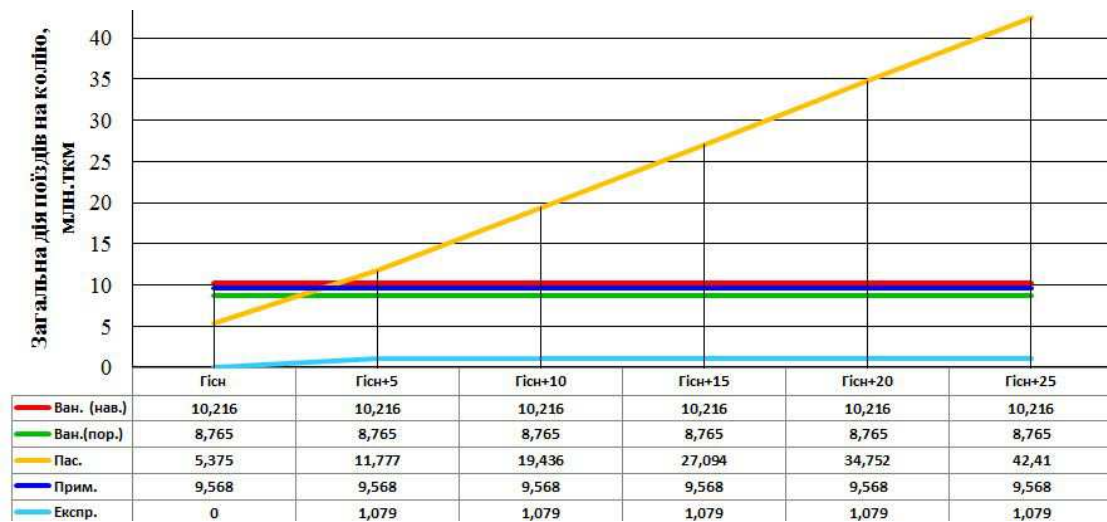


Рисунок 3.31 – Графік залежності дії поїздів на колію при збільшенні кількості пасажирських поїздів

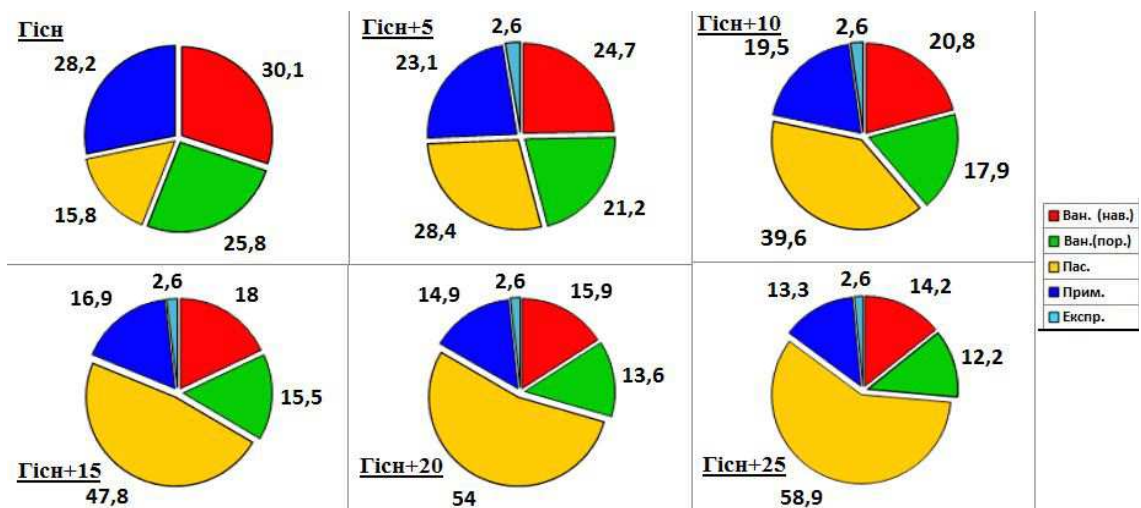


Рисунок 3.32 – Витрати на ремонт колії від дії поїздів у % при збільшенні кількості пасажирських поїздів

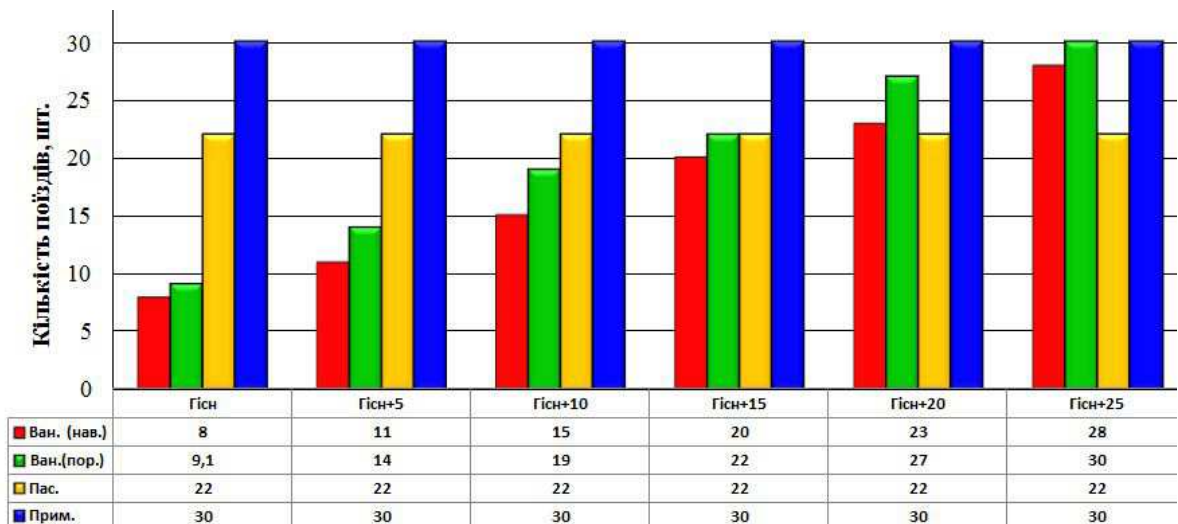


Рисунок 3.33 – Гістограма залежності кількості поїздів від вантажонапруженості при збільшенні кількості вантажних поїздів



Рисунок 3.34 – Графік залежності дії поїздів на колію при збільшенні кількості вантажних поїздів

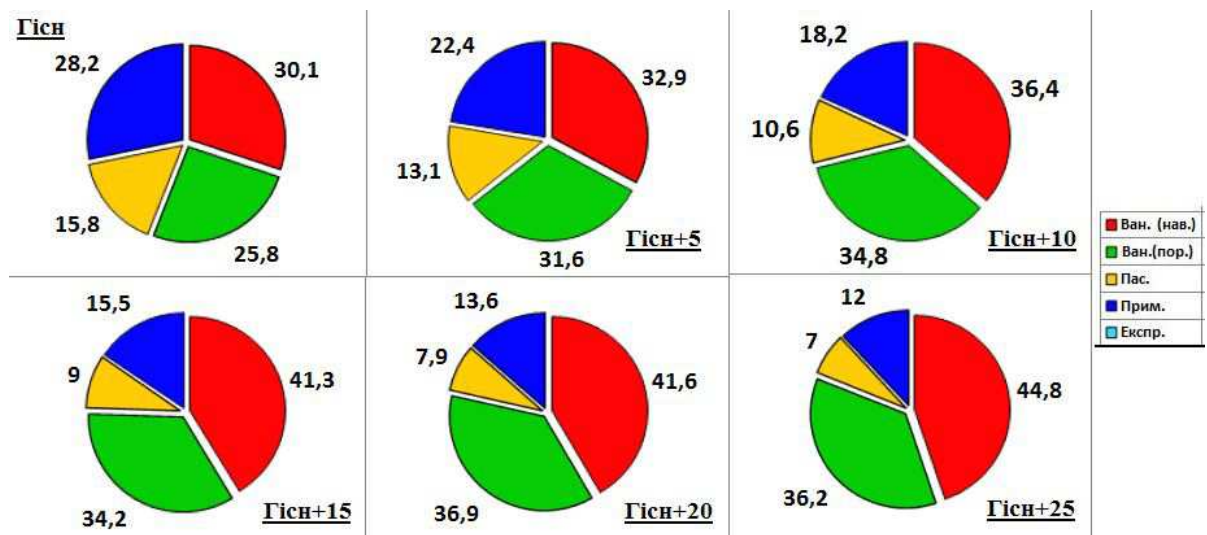


Рисунок 3.35 – Витрати на ремонт колії від дії поїздів у % при збільшенні кількості вантажних поїздів

3.7 Висновки по третьому розділу

1. Розрахунки показали, що врахування впливу поїздів на інфраструктуру через приведений вантажообіг, що має місце в теперішній час, є не точним, бо не враховує низку технічних і експлуатаційних факторів.

2. Отримані в дослідженні аналітичні й експериментальні залежності достатньо точно характеризують вплив основних факторів (типу рухомого складу, швидкості руху, стану залізничної колії тощо) на знос залізничної колійної інфраструктури, визначають зв'язок між кількісними показниками впливу та якісним станом інфраструктури.

3. Використаний в дисертації новий підхід надає можливість давати попередню оцінку впливу різних факторів на знос інфраструктури, не виконуючи багатоваріантні тягові розрахунки та тривалі статистичні спостереження. Оскільки в розрахунках важливими є не абсолютні значення тих чи інших показників, а їх співвідношення, то апроксимуючі залежності можуть використовуватися при визначенні впливу кожного поїзду та груп поїздів як частку в загальних витратах на утримання інфраструктури.

4. Переключення руху вантажних і пасажирських поїздів на паралельні колії дозволяє одержати додатковий прибуток за рахунок зменшення зносу

коліїної інфраструктури. Так, за умови змішаного пасажирського і вантажного руху колію необхідно обновляти кожні 4-6 років, а на ділянках, де обертаються винятково пасажирські поїзди, залізнична колія може служити без капітального ремонту в два-три рази довше.

5. На основі проведеного дослідження запропоновано способи зменшення дії поперечних сил на колійну інфраструктуру. Влаштування підвищень за умови мінімуму роботи відцентрових сил (навіть без розмежування потоків) дозволяє для ділянок, що розглядалися, зменшити цю роботу на 12-15 %. Все це вказує на необхідність більш ретельного підходу в дистанціях і службах колії до визначення підвищень зовнішньої рейки в кривих з урахуванням реального поїздопотoku.

РОЗДІЛ 4

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПЛАНУ ЛІНІЇ НА ІСНУЮЧИХ ЗАЛІЗНИЦЯХ ПРИ СПЕЦІАЛІЗАЦІЇ НАПРЯМКІВ ДЛЯ ВАНТАЖНИХ І ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

4.1 Аналіз підходів до встановлення підвищення зовнішньої рейки в кривих

Правильно встановлене підвищення забезпечує приблизно однакове вертикальне навантаження рейкових ниток, дозволяючи при цьому знизити величини направляючих, бічних і рамних сил і тим самим підвищити міцність і стійкість колії і забезпечити умови комфорту пасажирів. Таким чином, задача визначення оптимального підвищення зовнішньої рейки в кривих для поїздопотoku з реально реалізованими швидкостями є своєчасною.

Питання розрахунку підвищення зовнішньої рейки в кривих виявилось непростим. Уперше формула для підрахунку підвищення на російських залізницях була включена в циркулярний документ у 1860 р., відповідно до якої підвищення змінювалося прямо пропорційно квадратові швидкості і обернено пропорційно радіусу. У працях того часу висловлювалася думка, що правильно встановлене підвищення відомим образом вирівнює колісні навантаження, що виникають при проході криволінійних ділянок колії. Важливим практичним наслідком цього міг бути приблизно однаковий вертикальний знос зовнішньої і внутрішньої рейок, що не знаходило функціонального вираження, але впевнено проглядалось в експлуатації кривих.

У 1904 р. відомий фахівець в області колії К.Ю.Цеглинський запропонував поширити залежність для окремого екіпажа на поїздопотік і визначати підвищення за формулою

$$h_p = \sum_{i=1}^N \left(\frac{h_i T_i}{\sum T_i} \right),$$

де T_i , $\sum T_i$ - відповідно тоннаж кожного i -го поїзда в загальному тоннажі бруutto, N - число видів поїздів.

Аналітичний метод визначення розрахункового підвищення одержав розповсюдження, незважаючи на те, що не є досить строгим у теоретичному відношенні.

Відповідно до діючих сьогодні інструкцій [65] підвищення зовнішньої рейки в кривій відомого радіусу в загальному вигляді визначається за формулою
$$h_i = 12,5 \frac{V_i^2}{R} - \frac{S}{g} [\alpha_{ni}]$$
. Після проведення модернізації транспортних коридорів Укрзалізниця впроваджує на основних напрямках денні поїзди з місцями для сидіння і тривалістю поїздки до 6 год. Застосування сучасного рухомого складу на напрямках А і Б при скороченні часу поїздки дозволяють за узгодженням Укрзалізниці прийняти значення $0,7 \leq [\alpha_{ni}] \leq 1,0$. У зв'язку з спеціалізацією напрямків для перевезень вантажів і пасажирів (табл. 1.2) виникла потреба у систематизації розрахункових формул для визначення підвищення зовнішньої рейки в кривих h_i з урахуванням максимально встановленої швидкості руху і нормативних значень $[\alpha_{ni}]$, табл. 4.1.

Для забезпечення комфортабельності їзди пасажирів при слідуванні пасажирських поїздів з максимальною допустимою швидкістю використовуються формула (4.1) при $\alpha_{нп\ нас} = 1,0 \text{ м/с}^2$, формула (4.2) при $\alpha_{нп\ нас} = 0,8 \text{ м/с}^2$ і формула (4.3) при $\alpha_{нп\ нас} = 0,7 \text{ м/с}^2$.

За умови забезпечення однакової вертикальної дії на обидві рейкові нитки від сумарного потоку поїздів використовується формула 4.4.

По недопущенню перевантаження вантажними поїздами внутрішньої рейкової нитки (неперевищення непогашеного прискорення - $0,3 \text{ м/с}^2$, направлено до центру кривої) застосовується формула 4.5.

Таблиця 4.1 – Підвищення зовнішньої рейки в кривих в залежності від характеру напрямку і типу поїздів

Характеристика напрямку		Максимальна швидкість, км/год	Розрахункова формула
А	Суто пасажирський рух (швидкісний)	$161 < V_{\max} \leq 200$	$h_{\min \text{ пас}} = 12,5 \frac{V_{\max \text{ пас}}^2}{R} - 163 \quad (4.1)$
Б	Переважно пасажирський рух (прискорений)	$121 < V_{\max} \leq 160$	$h_{\min \text{ пас}} = 12,5 \frac{V_{\max \text{ пас}}^2}{R} - 130 \quad (4.2)$
В	Суміщений рух	$80 < V_{\max} \leq 120$	$h_{\min \text{ пас}} = 12,5 \frac{V_{\max \text{ пас}}^2}{R} - 115 \quad (4.3)$ $h_p = 12,5 \frac{V_{\text{серзв}}^2}{R} \quad (4.4)$ $h_{\max \text{ вант}} = 12,5 \frac{V_{\min \text{ вант}}^2}{R} + 49 \quad (4.5)$
Г	Вантажний рух	$80 < V_{\max} \leq 100$	$h_{\max \text{ вант}} = 12,5 \frac{V_{\min \text{ вант}}^2}{R} + 49 \quad (4.5)$ $h_{\min \text{ вант}} = 12,5 \frac{V_{\max \text{ вант}}^2}{R} - 49 \quad (4.6)$

По недопущенню перевантаження зовнішньої нитки вантажними поїздами, що рухаються з максимальною швидкістю (при $\alpha_{\text{нп вант}} \leq 0,3 \text{ м/с}^2$) – формула 4.6.

У наведених формулах (4.1-4.6):

$V_{\max \text{ пас}}$ і $V_{\max \text{ вант}}$ – максимальні швидкості в кривій відповідно пасажирського й вантажного поїздів, км/год;

$V_{\text{сер}}$ – середньозважена швидкість поїздопотоку, км/год;

$V_{\min \text{ вант}}$ – швидкість, менше якої у кривій рухається біля 15% поїздів від загальної кількості вантажних поїздів в поїздопотоці, км/год;

R – радіус кривої, м.

4.2. Фактори, що впливають на величину підвищення зовнішньої рейки

Якщо на напрямках А і Б (табл. 4.1) розрахунки підвищення зовнішньої рейки в кривих не викликають труднощів, то при суміщеному русі (напрямок В) виникає складність розрахунків за формулою (4.4), тобто при визначенні середньозваженої квадратичної швидкості, яка повинна встановлюватись за фактичними швидкостями усіх категорій поїздів.

В публікаціях останніх років висловлюється думка щодо відмови розрахунку підвищення зовнішньої рейки за формулою 4.4. Так, проф. С.П. Першин вважав непотрібним уведення в розрахункові формули такої ознаки як тоннаж і поставив під сумнів досягнення однакового зносу зовнішньої та внутрішньої рейок при улаштуванні підвищення. Сергій Петрович запропонував середню швидкість потоку визначати як середнє гармонійне [66]:

$$V_{nn}^{cz} = \frac{\sum N_i}{\sum \left(\frac{N_i}{V_{czi}} \right)}, \text{ де } V_{czi} = \frac{2V_{\max i} \cdot V_{\min i}}{V_{\max i} + V_{\min i}} \quad (4.7)$$

Як показав аналіз, фактичні швидкості руху поїздів є випадковими величинами [67]. Щоб дослідити вплив усього спектра швидкостей від мінімальних до максимальних на величину підвищення зовнішньої рейки, за даними швидкостемірних стрічок вантажних і пасажирських поїздів були побудовані графіки розподілу швидкостей (фрагмент на рис. 4.1).

Встановлено, що розподіл швидкостей руху поїздів на перегоні в багатьох випадках наближається до нормального закону.

Для графіків, представлених на рис. 4.1, математичне очікування швидкості $\bar{V}_i$ пасажирського й вантажного поїздів складає 69,0 км/год і 53,0 км/год відповідно, а середньоквадратичне відхилення σ_v –14,1 км/год і 15,6 км/год.

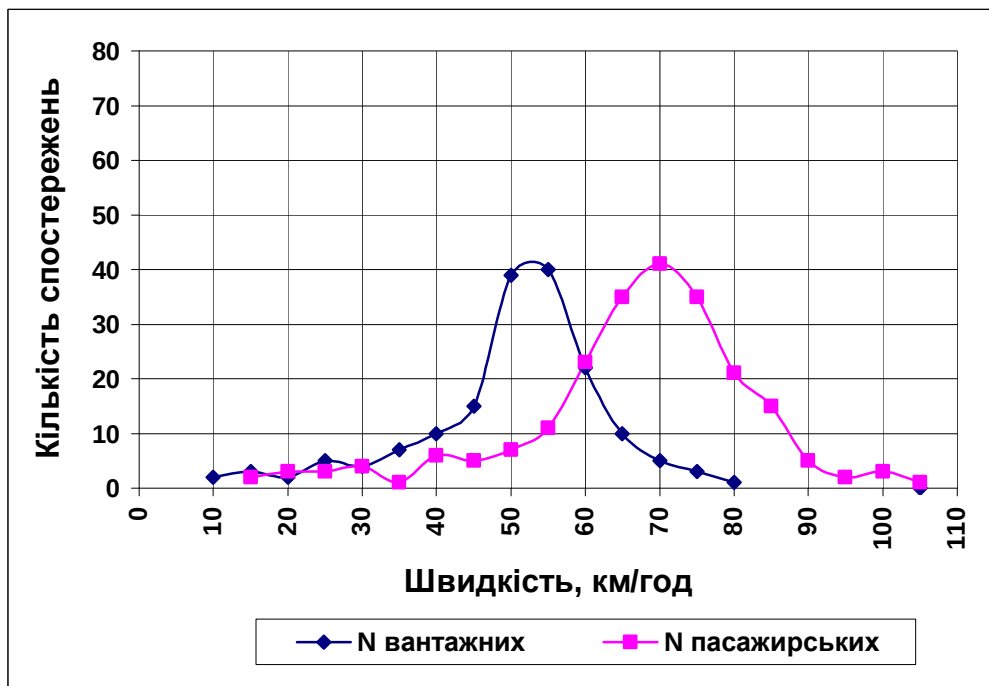


Рисунок 4.1 – Розподіл швидкостей руху вантажних і пасажирських поїздів

Таблиця 4.2 – Середньогармонійна швидкість при інтервальному поданні швидкості руху поїздів

Найменування показників	Значення показників для поїздів:		Середньогармонійна швидкість
	пасажирських	вантажних	
Кількість N_i	5	20	
Швидкість V_i	69,0	53,0	55,6
Швидкість $V_i \pm 1,0\sigma_v$	51,5 - 86,5	38,9 - 67,1	51,7
Швидкість $V_i \pm 1,5\sigma_v$	42,8 - 95,3	31,9 - 74,2	46,9
Швидкість $V_i \pm 2,0\sigma_v$	34,0 - 104,0	24,8 - 81,2	40,1

З аналізу даних табл. 4.2 випливає, що середньогармонійна швидкість непостійна. Вона зменшується при збільшенні інтервалу швидкості, отже, не може бути характеристикою поїздопотоків.

У вказівках [68] крім формули (4.4) наводиться спрощена формула

$$\overline{V}_{\text{ном}} = \frac{(\Gamma_{\text{пас}} V_{\text{пас}} + \Gamma_{\text{вант}} V_{\text{вант}}) k_m}{\Gamma_{\text{пас}} + \Gamma_{\text{вант}}}, \quad (4.8)$$

де $V_{\text{пас}}$, $V_{\text{вант}}$ - середні ходові швидкості пасажирських і вантажних поїздів;

$\Gamma_{пас}$, $\Gamma_{вант}$ - річна вантажна напруженість в пасажирському й вантажному русі, млн. ткм брутто.

Дозволимо собі з деякими положеннями викладеними в роботах [66-68] не погодитися. Проф. О.П. Єршков довів [69], що для оптимальної роботи залізничної колії необхідно щоб поїзди всіх категорій, що проходять за добу, рухались по кривій з мінімальними значеннями α_{nn} , тобто необхідно виконання умови

$$\sum n_i Q_i \alpha_{nni} \rightarrow 0, \quad (4.9)$$

де $n_i, Q_i, \alpha_{nn(i)}$ – відповідно число, маса і непогашені прискорення, що реалізуються поїздом $i - \bar{i}$ категорії.

Підставляючи у формулу (4.9) вираз для визначення α_{nn} через швидкість, радіус кривої й підвищення зовнішньої рейки, отримаємо:

$$n_1 Q_1 \left(\frac{V_1^2}{R} - \frac{g h}{S} \right) + n_2 Q_2 \left(\frac{V_2^2}{R} - \frac{g h}{S} \right) + \dots \rightarrow 0.$$

$$\text{Звідки} \quad \sum (n_i Q_i V_i^2) \rightarrow 0 \quad (4.10).$$

З аналізу формули (4.10) випливає висновок про необхідність урахування структури поїздопотoku при суміщеному русі поїздів (на напрямках В за класифікацією табл. 1.1). Для підтвердження цього висновку звернемось до фактичних результатів роботи кривих ділянок колії.

Кафедрою «Колія й колійне господарство» ДПТУ були проведені дослідження щодо виявлення відповідності встановленого в кривих підвищення зовнішньої рейки розрахунковим значенням, встановленим за фактичними швидкостями руху поїздів на основних напрямках транспортних коридорів [67].

На напрямках суміщеного руху (напрямок В за класифікацією табл. 1.1) через велику різницю у швидкостях пасажирських і вантажних поїздів, величина підвищення зовнішньої рейки розрахована для середньозваженої швидкості, виявилась недостатньою для пропуску прискорених пасажирських поїздів і надлишковою для вантажних. При виникненні

негативних непогашених прискорень відбувається більш інтенсивний розлад колії в кривих, спостерігається підвищений знос рейок і порушуються умови безпеки руху поїздів.

У всіх обслідуваних кривих спостерігався невеликий (до 1-3 мм) (рідко до 4 мм) вертикальний знос обох рейок. Боковий знос внутрішньої рейки знаходився в діапазоні 2-3 мм (рідко до 5-6 мм). Боковий знос зовнішньої рейки в 3-4 рази більший, ніж внутрішньої. Таке співвідношення спостерігалось у кривих різних радіусів. Було встановлено, що в більшості кривих мало місце надлишкове підвищення зовнішньої рейки, що приводить до негативних поперечних прискорень, зазвичай до $-0,3 \text{ м/с}^2$ і викликає перевантаження внутрішньої рейки вертикальними силами, більш інтенсивний вертикальний знос, ніж на зовнішній рейковій нитки.

Великі непогашені прискорення приводять також до нахилу кузова вагону, спирання його на ковзуни, що викликає додатковий опір повороту візка відносно кузова при вписуванні в криві.

Невеликий боковий знос внутрішніх рейок (у порівнянні з зовнішніми) указує на ту обставину, що при достатній ширині колії навіть при надлишковому підвищенні не виникає тиску останніх по ходу візків екіпажів на цю рейкову нитку. Багаточисельними дослідженнями встановлено, що надлишкове підвищення є несприятливим фактором, який збільшує боковий знос зовнішньої рейкової нитки.

У роботі [68] наведено приклади для кривих радіусом 600-700 м на п'яти ділянках Єкатеринбургської залізниці і зроблено висновок, що знос внутрішньої і зовнішньої рейок напряму не залежить від підвищення зовнішньої рейки. Причиною підвищеного зносу, вважають автори, є порушення норм утримання колії в плані, ширині колії, підуклонці тощо, а тому пропонують відмовитись від громіздких розрахунків за формулою (4.4), а підвищення зовнішньої рейки визначати за формулою (4.3) з перевіркою його по найбільшим швидкостям вантажних поїздів (формула 4.6). Автори

[68, 69] розглядають обмежену кількість причин, що впливають на знос рейок в кривих, а тому не можна погодитись з їхнім висновком.

Питання зносу рейок досліджувалось і в ДІТі [70]. Після проходження поїзда дані по зібраній металевій стружці зіставлялися з величиною сумарних бокових сил, що передавалися від коліс рухомого складу на зовнішню рейку. Було встановлено, що на величину зносу впливають такі фактори як вантажнапруженість, швидкість, ширина колії, величина підвищення, радіус кривої й ухил поздовжнього профілю.

Проблеми експлуатаційного і технічного характеру, що виникають при сумісному русі, пов'язані перш за все з розладами верхньої будови колії. По оцінці економістів Південно-Уральської залізниці (Росія) при підвищеннях, встановлених у кривих для пасажирських поїздів, щорічні втрати на ремонт колії складають до 300 тисяч карбованців на кожен кілометр кривої [68]. При непогашених прискореннях $-0,3 \text{ м/сек}^2$, що допускається для вантажних поїздів, переважає горизонтальна сила, яка віджимає внутрішню рейку і передчасно виводить колію з ладу. Після посиленого капітального ремонту колія нормально експлуатується не більш чотирьох років, пропускаючи всього 200-250 мільйонів тонн вантажу. Після цього в кривих радіусом 600-650 метрів бічний знос досягає граничної величини 15-17 мм, виходять з ладу нашпальна гума, скріплення КБ і навіть шпали.

У порядку експерименту на напрямку Курган-Челябінськ в кривих були влаштовані підвищення, що забезпечили однакові навантаження на обидві рейкові нитки. Так, у кривій радіусом 809 метрів після зміни підвищення з 100 до 60 мм інтенсивність бічного зносу зменшилася рівно в 2 рази. Всі елементи скріплень, у тому числі нашпальна гума, після пропуску більш 700 мільйонів тонн знаходяться в задовільному стані. Рейки мають бічний знос у межах 7-8 мм, хоча по них пропущено додатково більш 380 мільйонів тонн. Колія при рівномірному завантаженні рейкових ниток стабільна.

4.3. Співвідношення швидкостей вантажних і пасажирських поїздів та їхній вплив на середньозважену швидкість потоку поїздів

До 60-х років минулого століття швидкості вантажних поїздів становили 2/3 швидкості пасажирських. За минулий час різниця між максимальною швидкістю вантажних і пасажирських поїздів $V_{пас} - V_{ван}$ збільшилась у 1,5-2 рази. Проблеми експлуатаційного і технічного характеру, що виникають при сумісному русі, пов'язані із співвідношенням швидкостей вантажних і пасажирських поїздів, розладами верхньої будови колії. При пропуску вантажних поїздів з малими швидкостями виникають великі негативні непогашені прискорення α_{nn} , що приводять до розвантаження коліс, які рухаються по зовнішній нитці, що, в свою чергу, порушує безпеку руху поїздів.

Дослідженням раціонального співвідношення швидкостей вантажних і пасажирських поїздів займалися Л.Д. Каретніков, О.П. Єршков та інші.

Проф. О. П. Єршков прийшов до висновку, що за умов недопущення підвищення динамічного впливу рухомого складу на колію, стійкості й міцності колії, комфортності пасажирів у поїздах, необхідно щоб відношення швидкостей руху вантажних поїздів до пасажирського на всіх елементах профілю, особливо на площадках і спусках, було не менше 0,7 і тільки у виняткових випадках можна знизити це відношення до 0,5 [68].

Автором дисертації виконані розрахунки при різних співвідношеннях швидкості $\alpha = V_g / V_{пас}$, що змінювались від 0,6 до 0,8. За результатами розрахунків побудовані графіки (рис. 4.2).

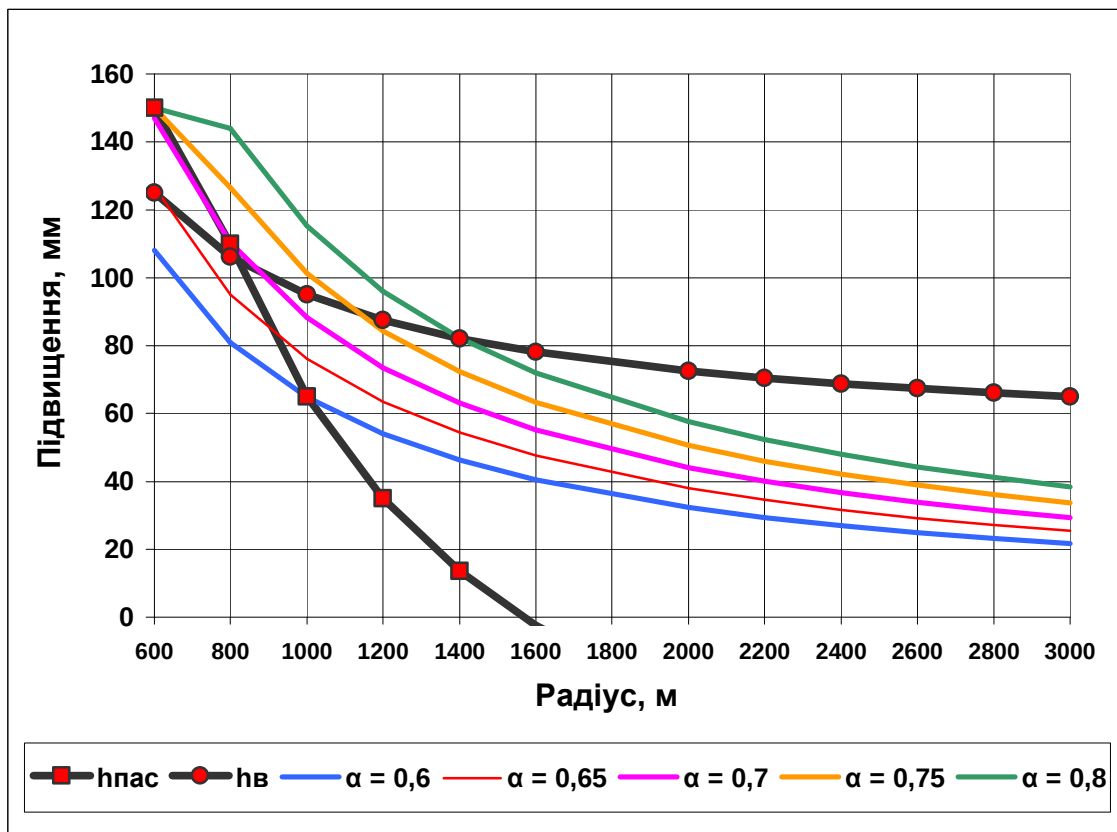


Рисунок 4.2 – Залежність підвищення зовнішньої рейки від радіусу і співвідношенні швидкостей вантажних і пасажирських поїздів

З рис. 4.2 випливає, що при зменшенні розриву у швидкостях руху вантажних і пасажирських поїздів можна в кривих допустити більше підвищення зовнішньої рейки, що при одному й тому радіусі дозволяє реалізувати більші швидкості руху пасажирських поїздів і покращити комфортність пасажирів.

Найбільш несприятливі наслідки збільшення підвищення складаються в порушенні раціонального співвідношення швидкостей руху вантажних і пасажирських поїздів. Вважалось, що мінімальний вплив на колію вантажних поїздів з погляду розладів колії і зносу має місце при їхньому русі в кривих ділянках у діапазоні непогашених прискорень $\pm 0,3 \text{ м/с}^2$. За умови $h_{\min}^{\text{пас}} = h_{\max}^{\text{ван}}$ (див. формули 4.3, 4.5) визначено співвідношення максимальної швидкості пасажирських поїздів і потоку вантажних поїздів

$$V_{\max \text{ пас}} \leq \sqrt{V_{\text{ср.вант.ном.}}^2 + 3,6^2 R}, \quad (4.11)$$

де $V_{\text{ср.вант.пот.}}$ - середня швидкість потоку вантажних поїздів, км/год;

3,6 – коефіцієнт, що враховує зміну одиниці виміру.

Виходячи з формули (4.11), при русі пасажирського поїзда в кривій радіусом 1500 м зі швидкістю 160 км/год швидкість потоку вантажних поїздів повинна складати не менш 80 км/год, що сьогодні практично нереально. Отже, у цьому випадку, вантажні поїзди будуть інтенсивно впливати на колію.

Розрахунки показали, що чим вище вантажонапруженість ділянки, тим значніші негативні наслідки підвищення максимальної швидкості поїздів, що говорить на користь відокремлення вантажного руху від пасажирського.

Згідно з [67] середньозважена швидкість $V_{\text{ср}}$ повинна встановлюватись на розрахунковий рік експлуатації в місці розташування кривої. Якщо отримання даних про масу, кількість і швидкість руху поїздів становить певні труднощі в період експлуатації залізниці, то виникає природне запитання, як вирішувати таку задачу на перспективу.

Сьогодні середньозважена швидкість потоку поїздів $V_{\text{ср}}$ визначається або на основі швидкостемірних стрічок або за даними тягових розрахунків з урахуванням поправочного коефіцієнту $k_m=0,7...0,80$ за формулою

$$V_{\text{ср}}^{\text{тяг}} = \sqrt{\sum_{i=1}^j n_i Q_i V_i^2 / \sum_{i=1}^j n_i Q_i}, \quad (4.12)$$

де n_i – добова кількість поїздів i -ої категорії (вантажних, пасажирських і т.д.);

j – кількість категорій поїздів;

Q_i , V_i – маса (т) і швидкість (км/год) поїзда відповідної категорії при тягових розрахунках.

З розрахованих за формулами (4.3, 4.4, 4.5) підвищення вибирається значення, яке рекомендується до установки в колії $h_{\text{рек}}$. Це підвищення

повинно дорівнювати розрахованому за формулою (4.4), або відрізнятись від нього не більше ніж на величину Δh , яка в сучасних умовах експлуатації не перевищує 20...30 мм. У той же час підвищення, що рекомендується, не повинне бути меншим за значення, одержані за формулами (4.3 і 4.5). Якщо різниця між $h_{\min}$ і $h_{\text{рек}}$ буде більше допустимої величини Δh , то треба обмежити максимальну швидкість руху поїздів відповідної категорії [65].

4.4 Моделювання потоку поїздів

Як показав проведений аналіз швидкостемірних стрічок, фактичні швидкості руху поїздів слід розглядати як випадкові величини. Співвідношення кількості пасажирських, вантажних та інших категорій поїздів у вибірці повинно відповідати реальному співвідношенню добового графіку. Складність цієї задачі полягає в тому, що для кожного з напрямків інфраструктури А, Б, В і Г необхідно спрогнозувати структуру поїздопотoku.

Запропонований в ДПТі підхід [71] оснований на ймовірному моделюванні руху потоку поїздів. Потік поїздів N_i подається у вигляді тривимірної поверхні, що є апроксимуючою для реального розподілу мас Q_i і швидкостей руху поїздів V_i . Програма працює в такий спосіб. Задаються параметри поїздопотoku: для кожної категорії поїздів вводяться мінімальне значення швидкості, її математичне очікування і максимальне значення. Аналогічний підхід застосовується для введення даних щодо маси і кількості поїздів кожної категорії. Далі задається закон розподілу швидкостей руху, маси і кількості поїздів і вводяться характеристики кривої ділянки колії (радіус і діапазон, у якому може змінюватись підвищення зовнішньої рейки), рис. 4.3.

Расчет возвышения

Параметры потока | Параметры участка | Выполнить расчет | Закон распределения | Сохранить график | Выход

Параметры потока

Открыть | Сохранить | Сохранить как | Дополнить 2,3=1 | Применить | Закрыть

Пассажи́рские | Пригородные | Полновесные | Полносоставные | Закон распределения

	Q	N	Vmin	Vcp	Vmax		Шаг изменения
1	2000	2	70	75	80	20	Скорость 1
2	2400	2	66	70	80	30	Возвышение 1
3	2800	2	62	66	80	30	Вес поезда 100

Общее количество поездов 15

Минимум поездов (рек. 100) 100

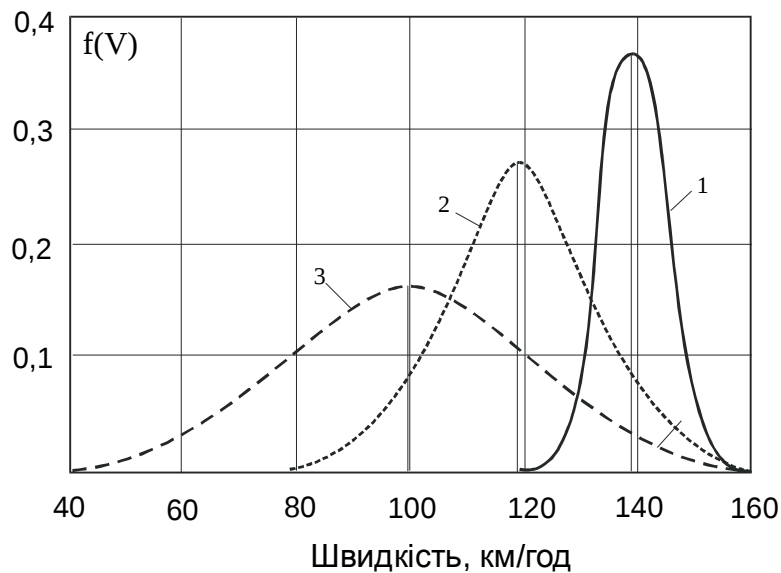
Параметры участка

Радиус кривой Возвышение | Применить | Закрыть

800 от 0 до 150

Рисунок 4.3 – Фрагмент уведення вихідних даних

Для прогнозування розподілу швидкостей на ділянках залізниць, де передбачається уведення швидкісного руху поїздів, можна використовувати теоретичні криві по типу таких, які представлені на рис. 4.1. Аналіз статистичних даних показав, що розподіл швидкостей руху в одному перетині колії для всіх поїздів даного типу наближається до нормального закону [67]. При оцінці відхилень емпіричного розподілу від нормального за критеріями згоди встановлено, що в більшості вибірок ці відхилення незначимі, і в подальших розрахунках можна використовувати теоретичні криві розподілу фактично реалізованих швидкостей. Фрагмент такого розподілу для пасажирських, приміських і вантажних поїздів наведено на рис. 4.4.



1 – пасажирські, 2 – приміські, 3 – вантажні

Рисунок 4.4 – Варіанти розподілу прогнозованої швидкості руху за нормальним законом для різних категорій поїздів

Було прийнято, що на ділянках швидкісного руху максимальні швидкості пасажирських й вантажних поїздів у розглянутому перетині траси встановлюються тяговими розрахунками, а середні і мінімальні швидкості руху визначаються за формулами:

$$\bar{V}_i = V_{\max i} - \sigma_{vi} \quad (4.13)$$

$$V_{\min i} = \bar{V}_i - \sigma_{vi}, \quad (4.14)$$

де σ_{vi} - середньоквадратичне відхилення швидкості.

Мінімальна розрахункова швидкість руху вантажних поїздів при опрацюванні масиву швидкостемірних стрічок приймається як різниця між середньозваженою швидкістю поїздів і одним середньоквадратичним відхиленням

$$\sigma_v = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N V_n^2}{N} - \left(\frac{\sum_{n=1}^N V_n}{N} \right)^2}, \quad (4.15)$$

де n – порядковий номер поїзда у вибірці;

N – кількість поїздів у вибірці;

V_n – фактична швидкість n -го поїзда, км/год.

За результатами обробки 15 пар вибірок парної й непарної колії отримані такі результати, табл. 4.3

Таблиця 4.3 – Середньоквадратичне відхилення швидкості

Ділянка	Колія	Вантажний рух	Пасажирський рух
Стрий-Лавочне	парна	5,1-12,7	8,0-17,4
	непарна	7,2-14,1	6,5-17,2
Лавочне-Мукачево	парна	6,4-18,7	7,3-19,9
	непарна	5,3-13,4	6,1-17,0

При моделюванні потоку поїздів (табл. 4.4) середньоквадратичне відхилення можна приймати приблизно таким, як до реконструкції залізниці за результатами статистичної обробки швидкостемірних стрічок. Розрахунки показують, що в більшості випадків величина середньоквадратичного відхилення складає $\sigma_v = 5-20$ км/год.

Розроблені на кафедрі проектування і будівництва доріг ДІІТу програми [60] були використані в дисертаційній роботі для визначення роботи непогашених відцентрових сил і оптимального підвищення зовнішньої рейки в кривих.

При визначенні оптимального підвищення в кривій в програмі RWPlan розв'язується система рівнянь:

$$\begin{cases} F(h) \rightarrow \min \\ f_{\alpha}(V_{\max}, R, h) \leq [\alpha]_{\text{зов}} \\ f_{\alpha}(V_{\min}, R, h) \geq [\alpha]_{\text{вн}} \end{cases} \quad (4.16)$$

де $F(h) \rightarrow \min$ – мінімальна сумарна дія поперечних сил на колію в кривій;

$f_{\alpha}(V, R, h)$ – непогашене поперечне прискорення, що залежить від швидкості і параметрів кривої (радіуса й підвищення).

Таблиця 4.4 – Прогнозування розподілу швидкостей руху поїздів

Характеристика напрямку		Максимальна швидкість, км/год	Графіки розподілу швидкостей руху поїздів
А	Суто пасажирський рух (швидкісний): 1 – денні експреси	$160 < V_{\max} \leq 200$	
Б	Переважно пасажирський рух (прискорений): 1 – денні експреси; 2 – пасажирські нічні поїзди; 3 – приміські; 4 – збірні	$120 < V_{\max} \leq 160$	
В	Суміщений рух: 2 – пасажирські нічні поїзди; 3 – приміські; 4 – збірні; 5 – вантажні	$V_{\max} \leq 120$	
Г	Вантажний рух: 3 – приміські; 4 – збірні; 5а – вантажні повновагові; 5б – вантажні повноскладові	$V_{\max} \leq 100$	

Розрахунки виконуються в такій послідовності:

1. У програмі RWPlan створюється за результатами зйомки або за докладними профілями існуючий план з існуючими підвищеннями зовнішньої рейки
2. Для існуючої ділянки виконуються за програмою MoveRW тягові розрахунки для різних категорій поїздів, що обертаються на ділянці
3. У програмі RWPlan задаються поїздопотоки для існуючого стану. Швидкості поїздів в окремих точках колії визначаються за результатами тягових розрахунків
4. Для заданого поїздопотoku визначається робота поперечних сил (див. розділ 3) для існуючого стану і знаходяться підвищення, які для цього поїздопотoku забезпечать потрібні швидкості і мінімум роботи поперечних сил

5. Для отриманих підвищень знову виконуються тягові розрахунки після чого уточнюються поїздопотоки і підвищення

6. Визначається робота поперечних сил для існуючого стану і плану лінії з оптимальними підвищеннями в кривих для пасажирського та вантажного напрямків

7. Для пасажирського напрямку за спеціальною методикою в програмі RWPlan виконуються розрахунки модернізації плану в межах земляного полотна, яка забезпечить максимальні швидкості пасажирських поїздів

8. Для модернізованого плану лінії виконуються розрахунки підвищень зовнішньої рейки за умови максимальних швидкостей на ділянці і тягові розрахунки

9. На основі результатів тягових розрахунків формуються нові поїздопотоки і знаходяться підвищення для модернізованого плану за умови мінімуму роботи поперечних сил і дотримання встановлених швидкостей руху.

4.5 Дослідження впливу структури поїздопотоків на вибір довжини перехідних кривих при реконструкції залізниці

4.5.1. Загальні положення

На залізницях України, як і в багатьох інших європейських країнах, зміну підвищення зовнішньої рейки h уздовж перехідної кривої l приймають у вигляді прямої лінії. Тоді довжина перехідної кривої визначається як $l = \frac{h}{i}$, де i – крутизну відводу, яка залежить від максимально допустимої швидкості руху по кривій [72].

При підготовці залізниць до введення підвищених швидкостей руху дослідження проводились стосовно класифікації напрямків, викладеній у розділі 1. Моделювання руху потоків поїздів проводилось за методикою,

викладеною в п. 4.1, а крутизна відводу встановлювалась відповідно максимальної швидкості $i-i$ категорії поїздів за формулами, рекомендованими ОСЗ [73], табл. 4.5.

Проведений аналіз показав, що допустима крутизна відводу залежить від таких факторів як максимальна швидкість, швидкість підйому колеса по відводу підвищення зовнішньої рейки, яка, в свою чергу, приймається диференційовано для окремо розташованих і сполучених кривих. З рис. 4.5 видно, що для швидкісного руху максимальне значення $f_v=35\ldots37$ мм/с. Якщо апелювати до рекомендацій ОСЗ, то нормативне значення $[f_v]$ приймається в нормальних умовах на рівні 28 мм/с, у складних умовах (як допустима) – 35 мм/с.

З урахуванням сказаного, можна прийняти параметри прямолінійного відводу підвищення зовнішньої рейки, що наведені в табл. 4.5 [74].

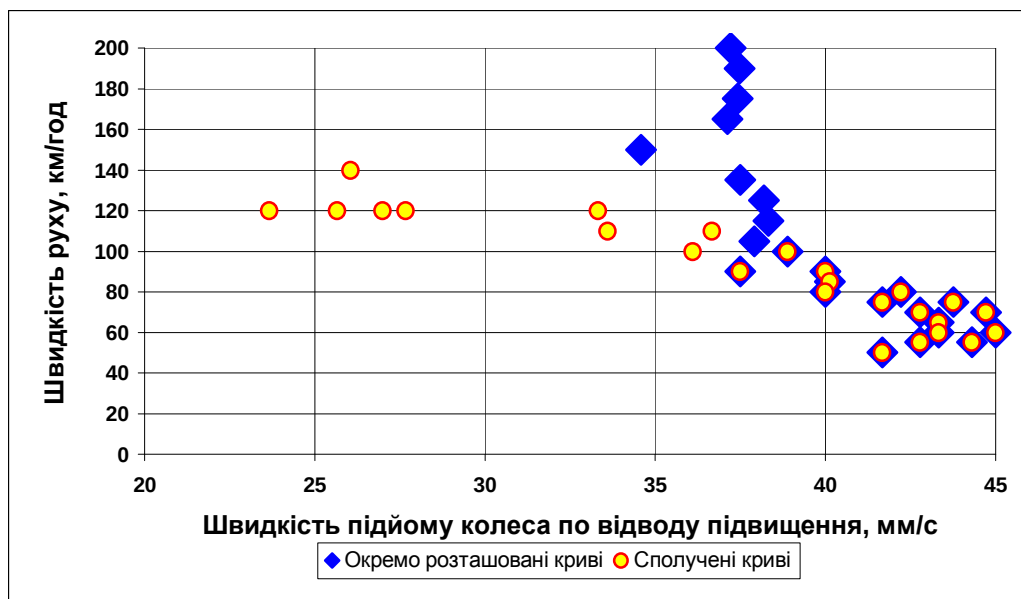


Рисунок 4.5 – Значення швидкості підйому колеса по відводу підвищення зовнішньої рейки, що прийняті в інструктивних документах

Таблиця 4.5 – Параметри прямолінійного відводу підвищення зовнішньої рейки

Швидкість руху, км/год	Допустимий ухил відводу підвищення рейки, ‰	Довжина відводу підвищення рейки, м	
$40 \leq V_{\max} < 200$	$\frac{100}{V_{\max}}$	Основна	$\frac{h V_{\max}}{100} \quad (4.17)$
	$\frac{125}{V_{\max}}$	Допустима	$\frac{h V_{\max}}{125} \quad (4.18)$

З урахуванням вище викладеного, були встановлені проектні значення довжини перехідних кривих для кожного напрямку відповідно прийнятої класифікації.

4.5.2 Суто пасажирський рух - напрямок А

Розрахунки підвищення зовнішньої рейки виконані за формулою (4.1) для нормальних умов експлуатації (рис. 4.6) і в важких умовах – рис. 4.7. Крутизна відводу встановлювалась за формулами (4.17) і (4.18).

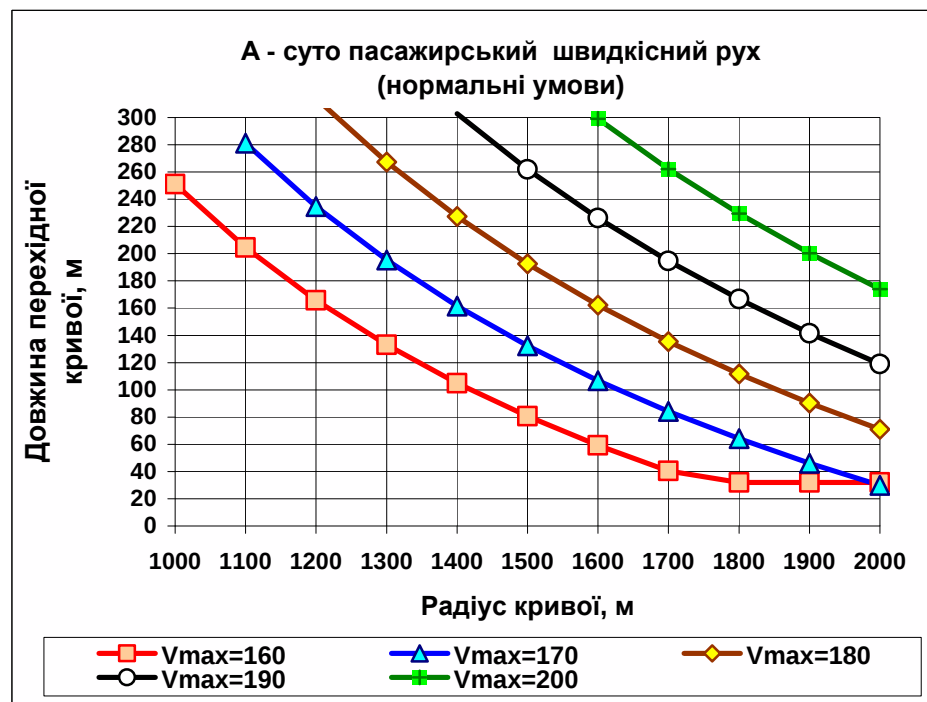


Рисунок 4.6 – Залежність довжини перехідної кривої від радіуса і максимальної швидкості (нормальні умови експлуатації)

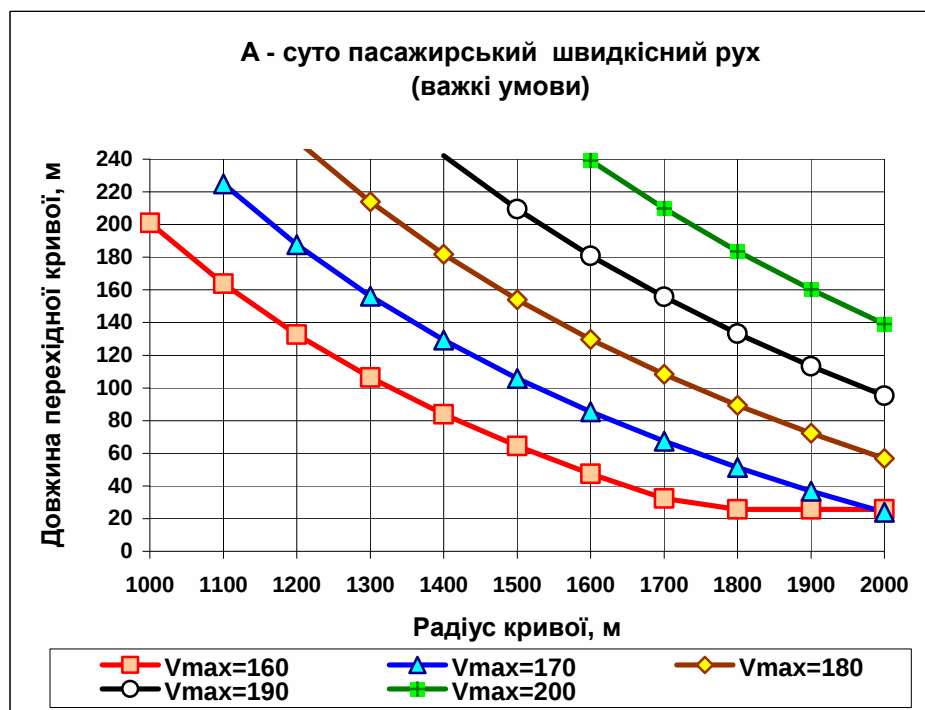


Рисунок 4.7 – Залежність довжини перехідної кривої від радіуса і максимальної швидкості (важкі умови експлуатації)

З рис. 4.6 і 4.7 можна встановити, що реалізація максимальної швидкості, наприклад, 160 км/год можлива в кривих радіусів 1100 м і більше при непогашеному прискоренні $\alpha_{nn}=1,0$ м/с². Довжина перехідної кривої становить 200 м у нормальних і 160 м у важких умовах.

При перебудові плану лінії під швидкісний рух поїздів виникає необхідність в подовженні перехідних кривих на напрямках (А). Найбільше зміщення осі колії (по бісектрисі) можна визначити за формулою

$$S_{пер} = \frac{1}{24R} (2l_{існ} + \Delta l) \Delta l, \quad (4.19)$$

де $\Delta l = l_{пр} - l_{існ}$,

$l_{пр}; l_{існ}$ - довжина проектної й існуючої перехідних кривих.

Результати розрахунків за формулою (4.19) представлені на рис. 4.8.

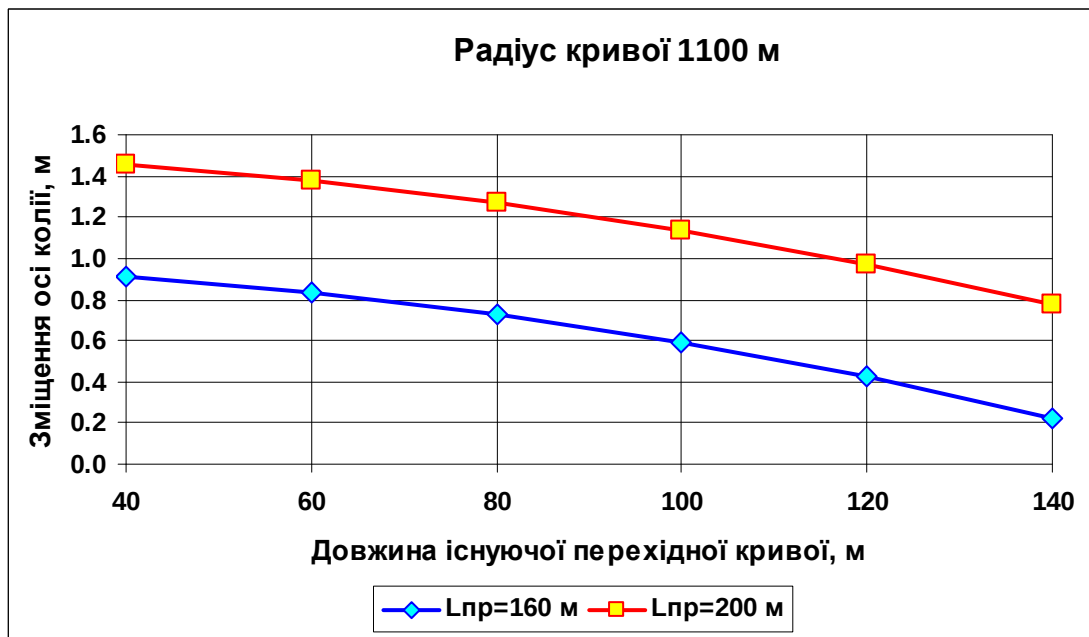


Рисунок 4.8 – Графіки залежності величини зміщення осі колії в залежності від подовження існуючої перехідної кривої

Як випливає з рис. 4.8, застосування перехідних кривих довжиною 160-200 м приводить до зміщення осі колії до 1-1,5 м, що, в свою чергу, викликає необхідність розширення існуючого земляного полотна до 3...4-х метрів.

4.5.3 Переважно пасажирський рух - напрямок Б

Переважаю пасажирський рух може здійснюватись на існуючих залізницях з параметрами плану більш складними у порівнянні з напрямками А, тому в цьому випадку досліджувались криві менших радіусів – до 1500 м. В таких кривих визначальним параметром виступає підвищення зовнішньої рейки, яке може прийматись рівним максимальному значенню 150 мм. Мінімальна швидкість руху пасажирських поїздів визначається за формулою 4.2 при $\alpha_{nn}=0,7...0,8 \text{ м/с}^2$ (більше значення приймається за дозволом Укрзалізниці).

За результатами розрахунків побудовані графіки (рис. 4.9).

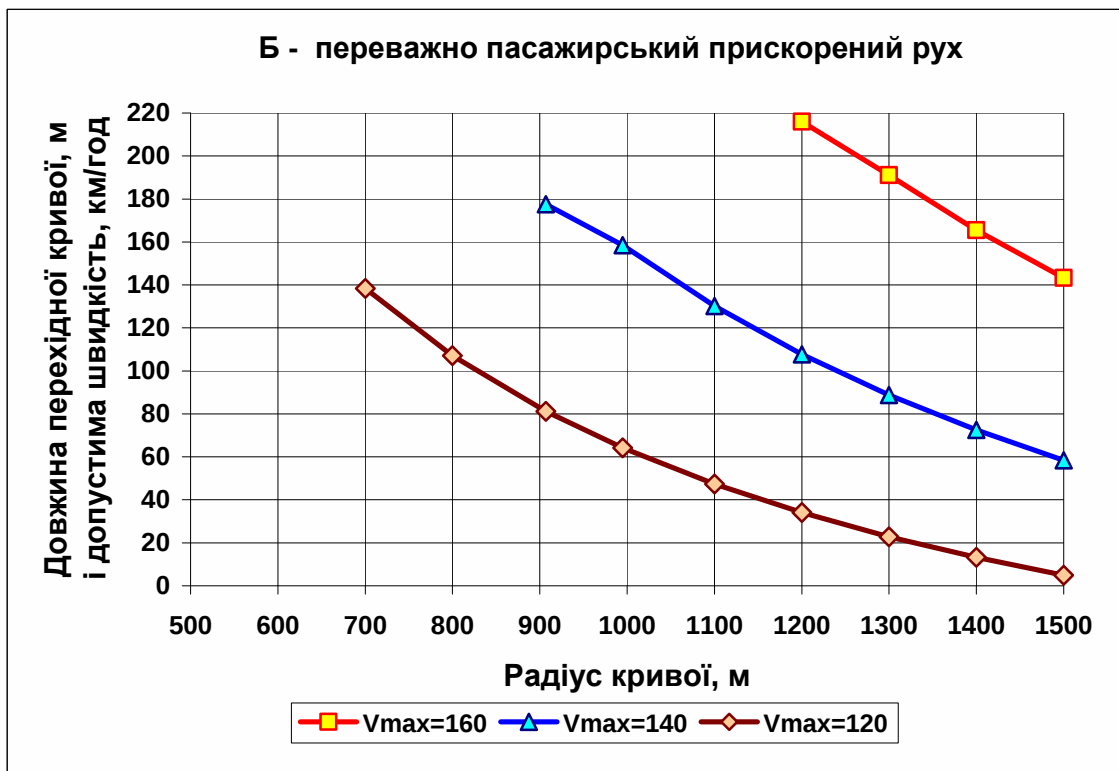


Рисунок 4.9 – Залежність довжини перехідної кривої від радіусу кривої

Як випливає з рис. 4.9, швидкість 120 км/год може бути реалізована в кривих радіусів $R \geq 700$ м, 140 км/год в кривих $R > 900$ м, 160 км/год в кривих $R > 1200$ м. При цьому, на напрямках Б виникає потреба в подовженні перехідних кривих до 140-220 м, що призводить до великих об'ємів робіт з розширення існуючого земляного полотна. На рис. 4.9 показано залежності $l = f(R)$ для поїздів різних категорій відповідно до класифікації наведеної в табл. 4.4.

При реалізації даного підходу прийнято, що в кривих малих радіусів, коли максимально допустима швидкість, що встановлена для напрямку Б не реалізується, застосовується максимальне підвищення зовнішньої рейки 150 мм. При більших радіусах (див. рис. 4.9) підвищення h зменшується і відповідно зменшується потрібна довжина перехідних кривих l .

При впровадженні на напрямку поїздів категорії «Денний експрес», повинні встановлюватись перехідні криві, що забезпечують реалізацію

максимально встановленої швидкості. Розглянемо рух пасажирських поїздів за такими категоріями: звичайний, «Денний експрес» і «Pendolino».

У зоні перехідних кривих швидкість руху поїздів встановлюється за показниками швидкості підйому колеса по відводу підвищення зовнішньої рейки $f_v = \frac{dh}{dt}$ та швидкості зміни непогашених прискорень в одиницю часу $\psi = \frac{d\alpha_{nn}}{dt}$. Довжина перехідної кривої l залежить від швидкості підйому колеса по відводу зовнішньої рейки f_v та на швидкості зростання прискорення ψ і визначається за формулами

$$l = \frac{h \cdot V_{\max}}{3,6 \cdot f_v} \quad (4.20)$$

$$l = \frac{\alpha_{nn} \cdot V_{\max}}{3,6 \cdot [\psi]} \quad (4.21)$$

Для звичайного поїзда $f_v = 28 \text{ мм/с}$; для «Денного експреса» та «Pendolino» – $f_v = 35 \text{ мм/с}$. Вимога (4.20) є визначальною.

Значення мінімальної довжини перехідної кривої, що задовольняє критерію f_v і забезпечує максимальні швидкості $V_{\max}$, залежно від підвищення зовнішньої рейки, наведені в табл. 4.6.

Таблиця 4.6 – Мінімальна довжина перехідних кривих в залежності від підвищення зовнішньої рейки в кривій

Тип поїзда	$V_{\max}$, км/год	Мінімальна довжина перехідної кривої l (м)				
		при підвищенні h , мм				
		80	90	100	110	120
Звичайний	120	95	110	120	130	145
Експрес	160	100	115	130	140	155
«Pendolino»	220	140	160	175	195	210

З аналізу даних табл. 4.6 можна зробити висновок, що при існуючих параметрах плану короткі довжини перехідних кривих не дозволяють

«Pendolino» повністю реалізувати можливості підвищення швидкості за рахунок більшого значення непогашеного прискорення, яке на рівні букси приймається рівним $1,8 \text{ м/с}^2$.

4.5.4 Суміщений рух - напрямок В

На напрямках суміщеного руху (традиційна схема на залізницях України) підвищення зовнішньої рейки розраховується за формулами (4.3-4.5) і встановлюється в колії таке, що забезпечує виконання умови (4.10).

Як впливає з аналізу результатів розрахунків (див. рис. 4.10), в кривих $R > 900 \text{ м}$ проблем не виникає. В кривих менших радіусів доводиться або зменшувати максимальну швидкість пасажирських, або збільшувати швидкість вантажних, що на сучасному етапі проблематично.

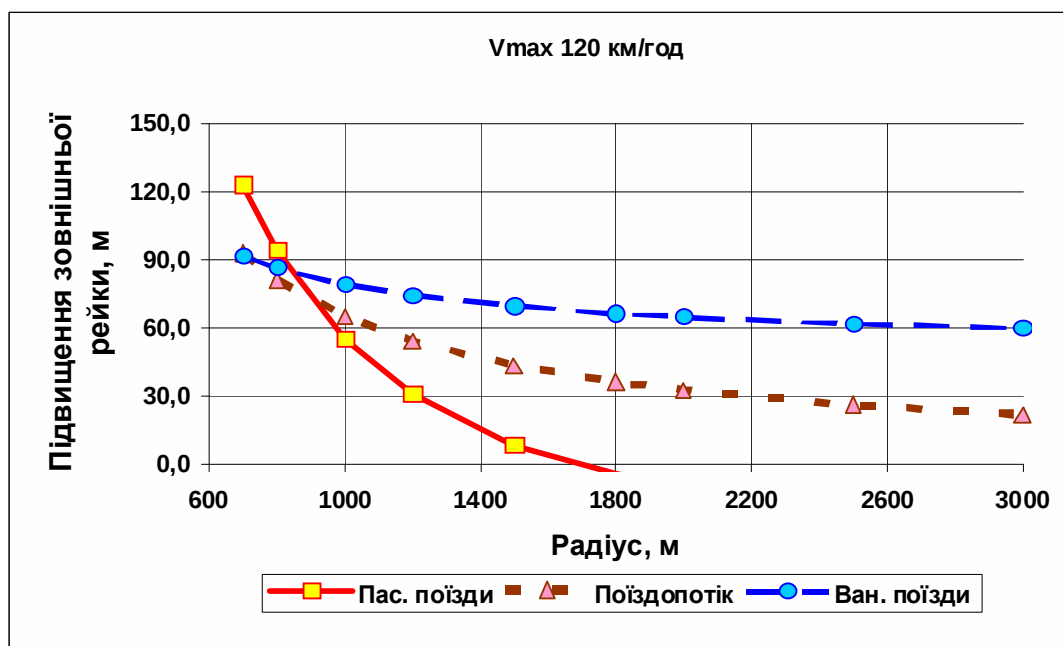


Рисунок 4.10 – Залежність підвищення від радіусу й структуру поїздопотоку

Довжина перехідної кривої суттєво залежить від середньозваженої швидкості поїздопотоку. Так, при $R=1000 \text{ м}$ знаходиться в діапазоні 60...100 м. Якщо основні пасажиропотоки будуть переведені на напрямки А і Б, що передбачається при розмежуванні руху, то середньозважена швидкість буде визначатись в основному вантажними поїздами.

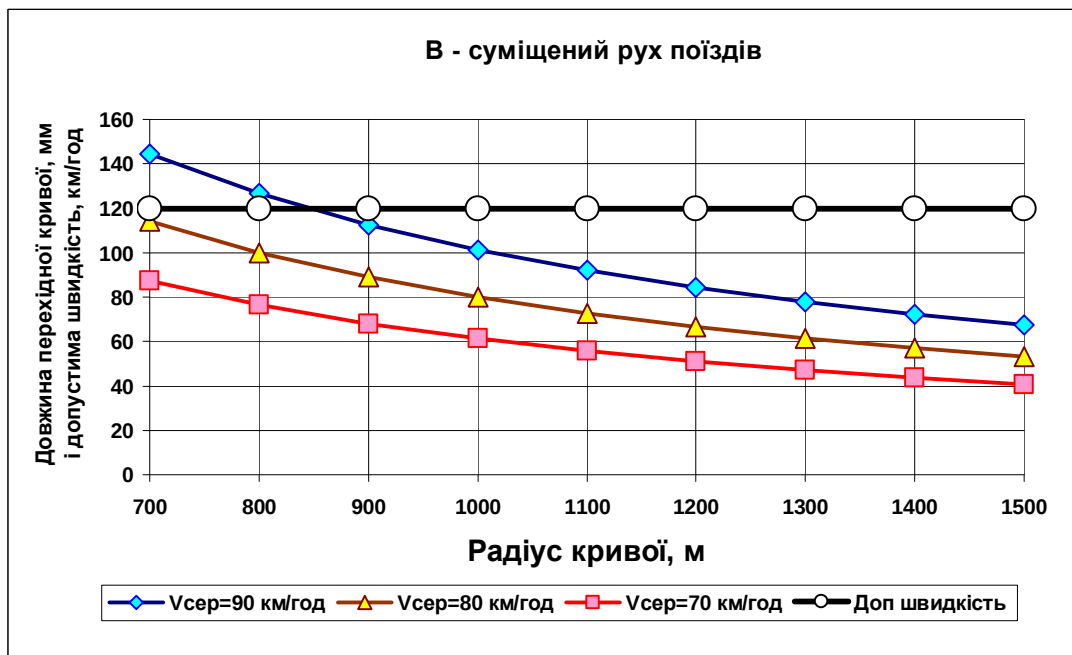


Рисунок 4.11 – Залежність довжини перехідної кривої від радіуса для потоку поїздів

У наведеному прикладі (див. п. 4.1) на напрямку Курган-Челябінськ в кривих були влаштовані підвищення, що забезпечили однакові навантаження на обидві рейкові нитки. Колія при рівномірному завантаженні рейкових ниток стабільна. Максимальна швидкість для пасажирських поїздів установлена за величиною підвищення, визначеного для вантажних поїздів, тобто про прискорений рух мова не ведеться.

4.5.5 Переважно вантажний рух - напрямок Г

На напрямках вантажного руху підвищення зовнішньої рейки визначається за формулами (4.5 і 4.6). Крутизна відводу зовнішньої рейки встановлюється по максимальній швидкості вантажних поїздів. Розрахункове підвищення через яке й визначається довжина перехідної кривої повинно встановлюватись (див. рис. 4.12) за умови

$$h_{\min}^e f(V_{\max}^e) \leq h_p \leq h_{\max}^e f(V_{\min}^e) \quad (4.22)$$

Тобто визначальною вимагаю є умова $h_p \geq h_{\max}^e f(V_{\min}^e)$.

Так, за умови (4.22) в кривій радіусу 1000 м при $V_{\max}^e = 90$ км/год довжина перехідної кривої повинна бути не менше $l \geq 33$ м, при $V_{\min}^e = 40$ км/год $l \geq 43$ м, остаточно приймається $l \geq 43$.

В кривій радіусом 700 м при $V_{\max}^e = 90$ км/год довжина перехідної кривої повинна бути не менше $l \geq 60$ м, при $V_{\min}^e = 40$ км/год $l \geq 48$ м. Тобто в кривих малих радіусів визначальною є умова $h_p \geq h_{\min}^e f(V_{\max}^e)$.

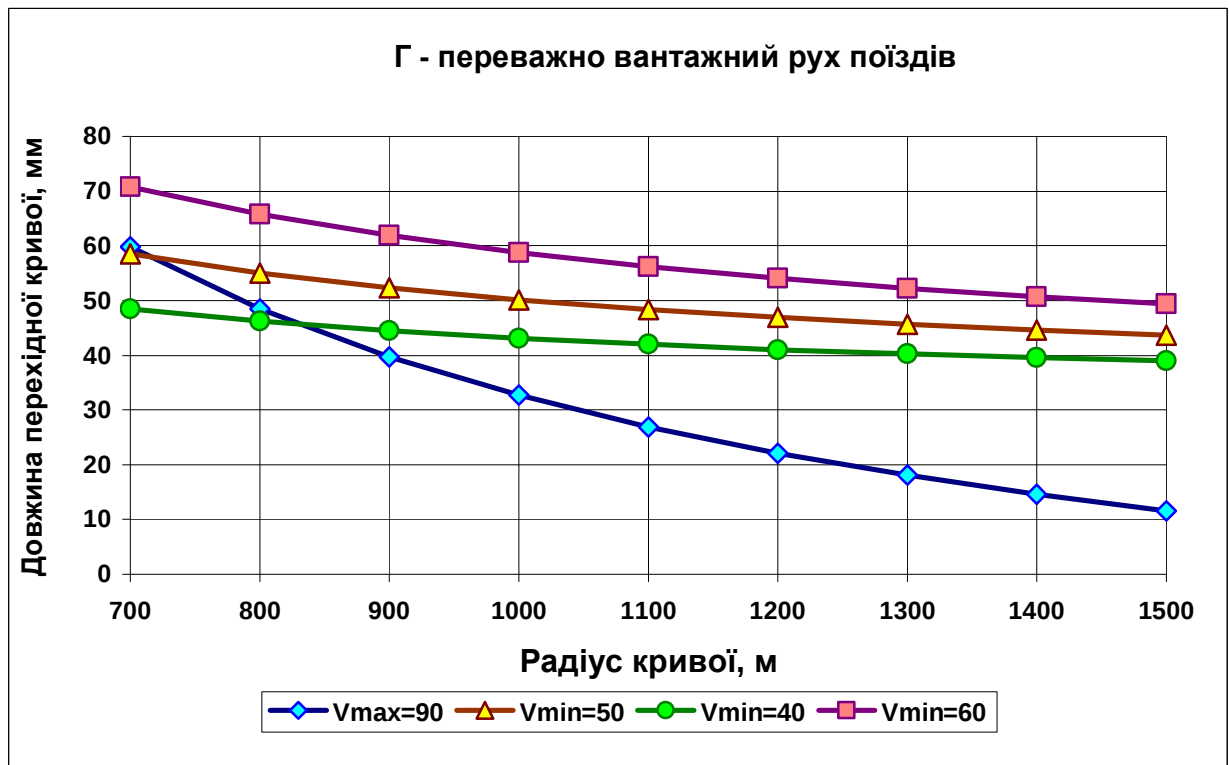


Рисунок 4.12 – Залежність довжини перехідної кривої від мінімальної й максимальної швидкості вантажних поїздів

4.5.6 Дослідження динамічних характеристик перехідних кривих

Розглядаючи динамічні процеси взаємодії рухомого складу і колії при проходженні кривих [75], було відмічено, що цьому процесу притаманні виляючий рух і бічне коливання.

Використовуючи розроблену в ДІТі під керівництвом проф. В. Д. Дановича математичну модель руху швидкісного екіпажа по кривій

[76], були досліджені бічні коливання пасажирського вагона під час руху його по перехідній кривій для вихідних даних:

- радіуси 1500, 2000, 2500, 3000 м;
- проектна перехідна крива довжиною 100...200 м.

Як експериментальна ділянка розглядалася частина кругової кривої відповідного радіуса, перехідна крива, що йде за нею і вихід на пряму. Досліджувалося загасання динамічних процесів при виході з кривої на пряму ділянку.

На рис. 4.13 показано бічне коливання кузова при швидкостях руху 160, 180 і 200 км/год для перехідної кривої у вигляді радіоїдальної спіралі. За нульову позначку по горизонтальній осі прийнято початок прямої ділянки після кривої. Таким чином, на рисунку показано вихід екіпажу з перехідної кривої довжиною (-100...0) з наступним переходом на пряму (0...300).

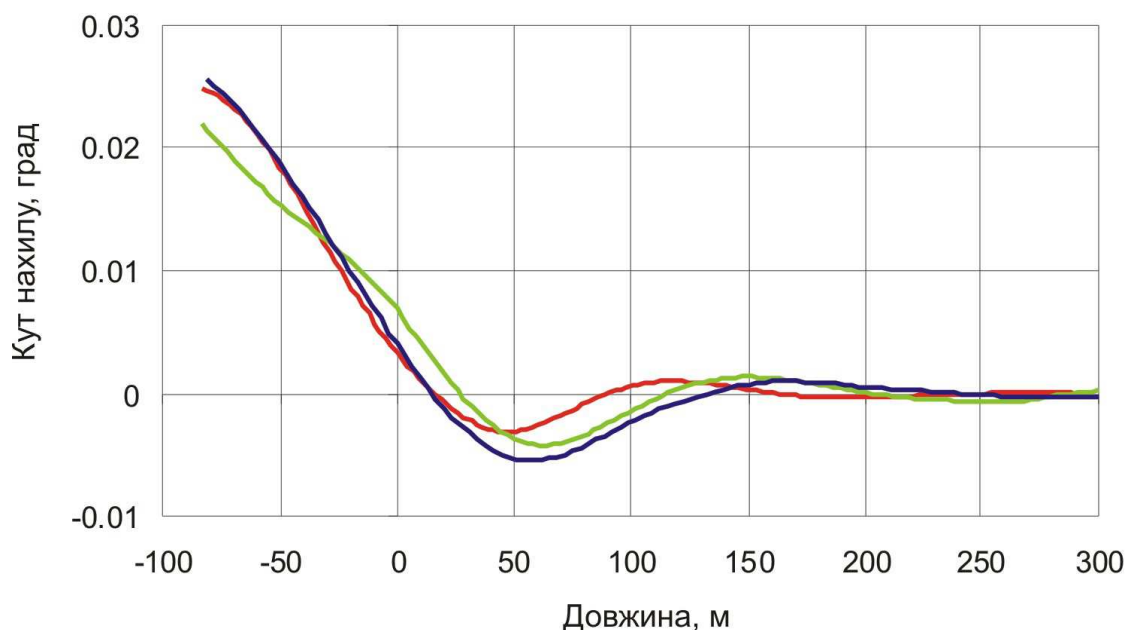


Рисунок 4.13 – Бічне коливання кузова вагона під час руху по перехідній кривій у вигляді радіоїдальної спіралі

Як впливає з аналізу графіків на рис. 4.13, загасання коливань кузова забезпечується через 150...200 м, що може служити підставою для призначення мінімальної довжини перехідної кривої на напрямках А з суто пасажирським рухом.

Проведене дослідження показало, що мінімально необхідна довжина прямої вставки тим більша, чим вищий рівень прискорень на перехідній кривій, тобто чим менший радіус кругової кривої, менше підвищення зовнішньої рейки і коротша перехідна крива. За наявності перехідної кривої достатньої довжини (інакше вже не пряма вставка, а сама крива буде обмежувати швидкість) основним, визначальним фактором є швидкість руху.

4.6 Визначення мінімального радіуса кривих в плані з урахуванням динаміки перевезень

4.6.1. Дослідження впливу параметра C на вартість перебудови кривих і динамічні показники взаємодії рухомого складу в криволінійних ділянках

Криві в більшості випадків визначають надійність роботи залізничної колії й рівень допустимої швидкості. Наприклад, на ділянці Київ-Львів максимальна швидкість 160 км/год обмежується 187 кривими, найбільше таких обмежень на ділянці Тернопіль-Підволочиськ, табл. 4.7

Таблиця 4.7 – Кількість обмежень максимальної швидкості мінімальним радіусом кривих

Рівень швидкості, км/год	Ділянки								
	Львів - Красне	Красне - Тернопіль	Тернопіль - Підволочиськ	Підволочиськ - Хмельницький	Хмельницький - Жмеринка	Жмеринка - Вінниця	Вінниця - Козятин	Козятин - Фастів	Фастів - Київ
140	21	35	76	5	23	6	2	-	10
160	22	36	78	5	24	7	2	2	11

Величину радіусів кривих в плані встановлюють у кожному конкретному випадку в залежності від швидкості руху поїздів і значень радіусів кривих існуючої колії. На цьому рекомендації ДБН В.2.3-19-2008

(п. 5.18) вичерпуються. Щоб отримати більш конкретні дані для напрямків пасажирського й вантажного руху були проведені додаткові дослідження.

На основі аналізу даних, отриманих з використанням моделі швидкісного пасажирського вагона [76] і матеріалів швидкісних випробувань локомотивів ЧС7, ЧС8 і ДС3, встановлено, що в кривих радіусом 1400-1600 м максимально ймовірні напруження в кромках підшви рейок становлять 110-177 МПа (до 75 % від допустимого значення), а максимально ймовірні бокові сили 70-77 кН. При таких радіусах забезпечуються коефіцієнт стійкості рейко-шпальної решітки в колії з щебеневим баластом і стійкість коліс проти вкочення на головку рейки. Таким чином, основною умовою для визначення мінімального радіуса є неперевикнення допустимих непогашених прискорень.

Виникає питання – прийняти більший радіус але меншу перехідну криву, чи менший радіус і більшу довжину перехідної кривої за умови забезпечення максимально встановленої швидкості. Розглянемо для $V_{\max}=160$ км/год наступні варіанти, вихідні дані для яких наведено в табл. 4.8-4.10.

Зсув Δ при збільшенні радіуса з R_{icn} до R_{np} дорівнює різниці бісектрис $\Delta_R = B_{np} - B_{icn}$ і різниці зсувів від перехідних кривих $\Delta_l = p_{np} - p_{icn}$ тобто

$$\Delta = (B_{np} + p_{np}) - (B_{icn} + p_{icn})$$

$$\text{або } \Delta = \left[R_{np} \left(\sec \frac{\alpha}{2} - 1 \right) + \frac{l_{np}^2}{24 R_{np}} \right] - \left[R_{icn} \left(\sec \frac{\alpha}{2} - 1 \right) + \frac{l_{icn}^2}{24 R_{icn}} \right].$$

Після перетворень отримаємо

$$\Delta = \Delta R \left(\sec \frac{\alpha}{2} - 1 \right) + \frac{R_{icn} (l_{np}^2 - l_{icn}^2) - l_{icn}^2 \Delta R}{24 R_{icn} (R_{icn} + \Delta R)} \quad (4.23)$$

Результати розрахунків за вихідними даними табл. 4.8-4.10 і формулою (4.23) представлено на рис. 4.14 і 4.15.

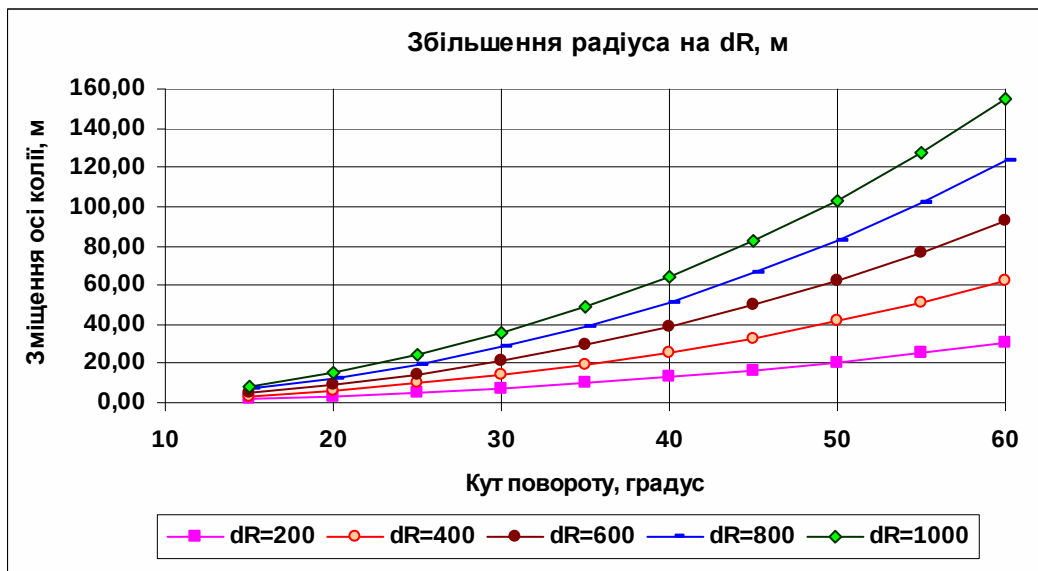


Рисунок 4.14 – Залежність зміщення осі колії від $dR = R_{np} - R_{існ}$ і кута α

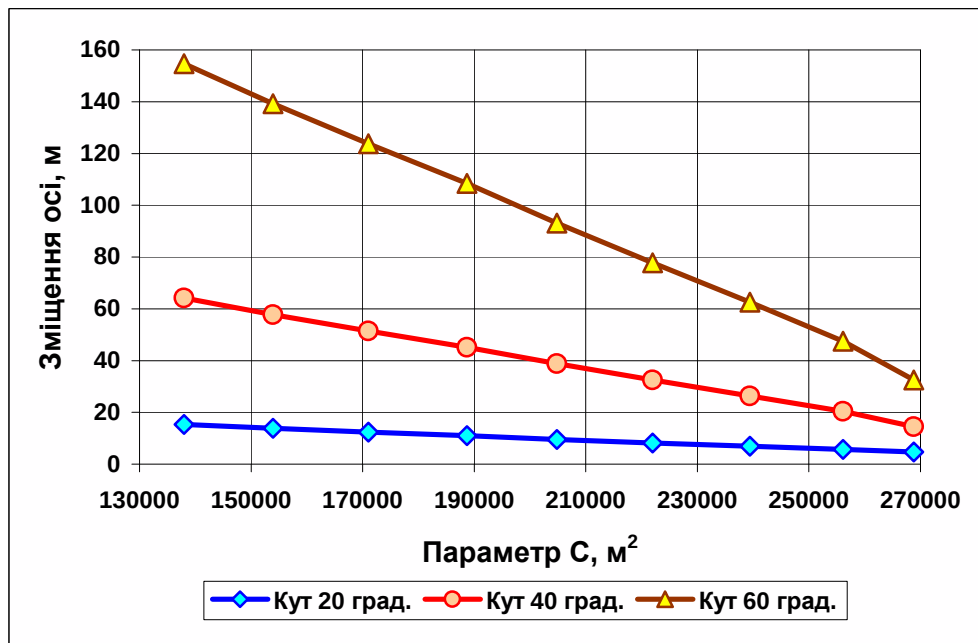


Рисунок 4.15 – Залежність зміщення осі колії від параметра C і кута α

Таблиця 4.8 – Параметри кривих (в метрах) при куті повороту 20°

Радіус	Ккруг.	L	Ксум	d R	C=R*L, м ²	S(R)	S(Lпер)	Сума S	%
1000	349,07	60	409,07	0	60000	0,000	0,000	Існуюч.	
1200	418,88	224	642,88	200	268800	3,085	1,592	4,678	51,6
1300	453,79	197	650,79	300	256100	4,628	1,094	5,722	23,6
1400	488,69	171	659,69	400	239400	6,171	0,720	6,891	11,7
1500	523,60	148	671,60	500	222000	7,713	0,458	8,172	5,9
1600	558,51	128	686,51	600	204800	9,256	0,277	9,533	3,0
1700	539,41	111	650,41	700	188700	10,799	0,152	10,951	1,4
1800	628,32	95	723,32	800	171000	12,341	0,059	12,400	0,5
1900	663,23	81	744,23	900	153900	13,884	-0,006	13,878	0,0
2000	698,13	69	767,13	1000	138000	15,427	-0,051	15,376	-0,3

Таблиця 4.9 – Параметри кривих (в метрах) при куті повороту 30°

Радіус	Ккруг	L	Ксум	d R	C=R*L	S(R)	S(Lпер)	Сума S	%
1000	523,6	60	583,60	0	60000	0,000	0,000	Існуюч.	
1200	628,32	224	852,32	200	268800	7,055	1,592	8,647	22,6
1300	680,68	197	877,68	300	256100	10,583	1,094	11,677	10,3
1400	733,04	171	904,04	400	239400	14,110	0,720	14,831	5,1
1500	785,40	148	933,40	500	222000	17,638	0,458	18,097	2,6
1600	837,76	128	965,76	600	204800	21,166	0,277	21,442	1,3
1700	890,12	111	1001,12	700	188700	24,693	0,152	24,845	0,6
1800	942,48	95	1037,48	800	171000	28,221	0,059	28,280	0,2
1900	994,84	81	1075,84	900	153900	31,749	-0,006	31,742	0,0
2000	1047,2	69	1116,20	1000	138000	35,276	-0,051	35,225	-0,1

Таблиця 4.10 – Параметри кривих (в метрах) при куті повороту 40°

Радіус	Ккруг	L	Ксум	d R	C=R*L	S(R)	S(Lпер)	Сума S	%
1000	698,13	60	758,13	0	60000	0,000	0,00	Існуюч.	
1200	837,76	224	1061,76	200	268800	12,836	1,59	14,428	12,4
1300	907,57	197	1104,57	300	256100	19,253	1,09	20,347	5,7
1400	977,38	171	1148,38	400	239400	25,671	0,72	26,391	2,8
1500	1047,20	148	1195,2	500	222000	32,089	0,46	32,547	1,4
1600	1117,01	128	1245,01	600	204800	38,507	0,28	38,783	0,7
1700	1186,82	111	1297,82	700	188700	44,924	0,15	45,076	0,3
1800	1256,64	95	1351,64	800	171000	51,342	0,06	51,401	0,1
1900	1326,45	81	1407,45	900	153900	57,760	-0,01	57,754	0,0
2000	1396,26	69	1465,26	1000	138000	64,178	-0,05	64,127	-0,1

Якщо параметр кривої C встановлюється за умови забезпечення максимально допустимої швидкості $V_{\max}$, то має місце таке співвідношення:

$C_{R_1}^{V_{\max}} > C_{R_2}^{V_{\max}} > \dots C_{R_n}^{V_{\max}}$, яке підтверджується й даними табл. табл. 4.8-4.10,

тобто параметр C має більші значення при менших проектних радіусах але довгих перехідних кривих і зростає при збільшенні кута повороту кривої. У цьому випадку, при кутах повороту 20, 30 і 40 град. частка перехідної кривої у формуванні загального зсуву осі колії при перебудові кривих становить від 51,6 до 22,6 і 12,4% відповідно (радіус 1200 м, перехідна крива 220 м), або 23,6; 10,3 і 5,7 (радіус 1300 м, перехідна крива 200 м), рис. 4.16-4.18.

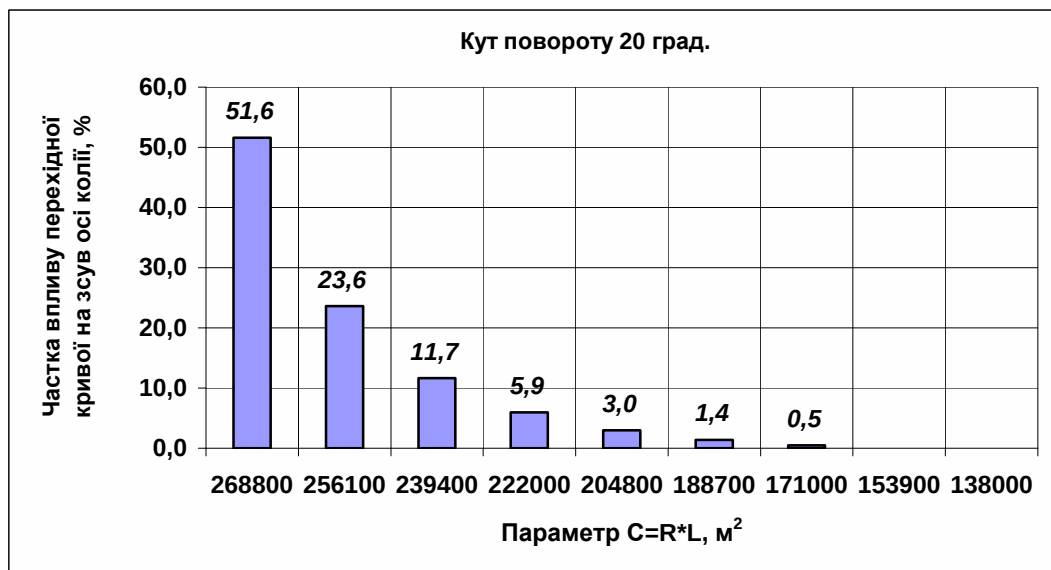


Рисунок 4.16 – Вплив перехідної кривої у формуванні загального зсуву осі колії (кут повороту 20°)

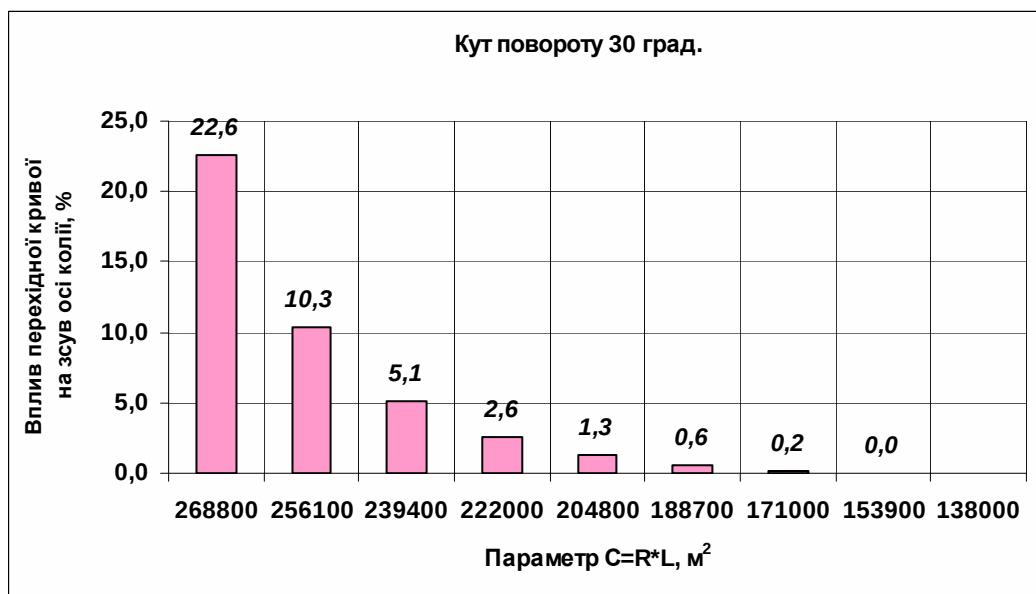


Рисунок 4.17 – Вплив перехідної кривої у формуванні загального зсуву осі колії (кут повороту 30°)

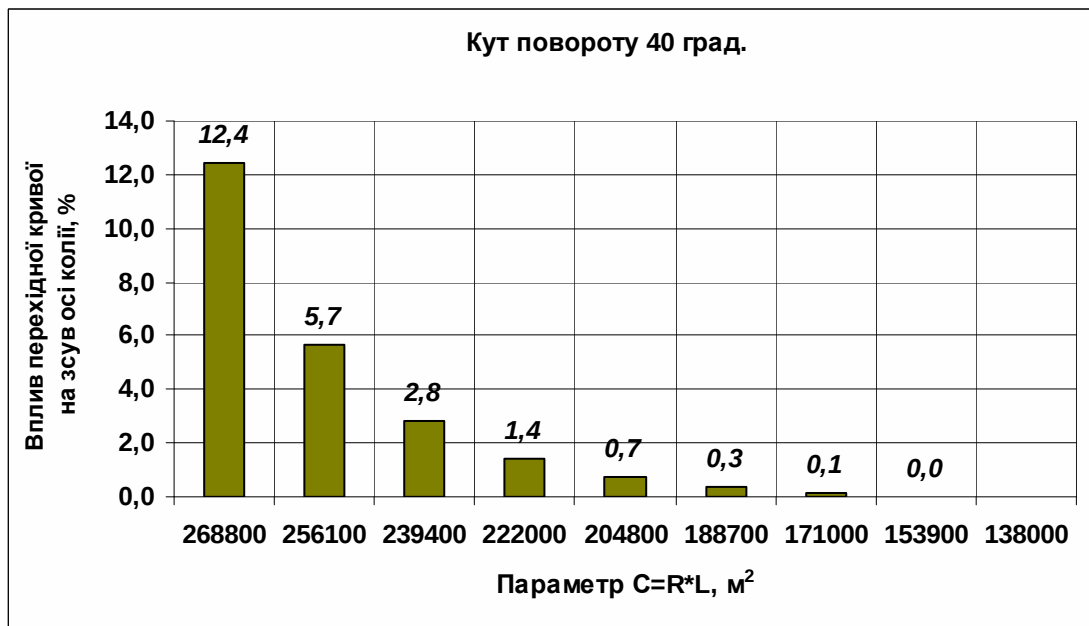


Рисунок 4.18 – Впливу перехідної кривої у формуванні загального зсуву осі колії (кут повороту 40°)

Поставимо питання, який параметр C можна вважати найбільш раціональним для забезпечення максимально встановленої швидкості на існуючих ділянках залізниці. Відповідно з графіками (рис. 4.19, 4.20) $V_{\max}=160$ км/год можна забезпечити при $R_{np}=1200$ м тільки, якщо $C=270000 \text{ м}^2$, при $R_{np}=1400$ м, якщо C знаходиться в діапазоні $182000 \dots 314000 \text{ м}^2$, $V_{\max}=200$ км/год можна забезпечити при $R_{np}=1900$ м і $C=420000 \text{ м}^2$ і т. д. Частка впливу перехідної кривої у формуванні загального зсуву осі колії в наведених прикладах незначна і визначається в основному величиною, що залежить від $dR = R_{np} - R_{icn}$.

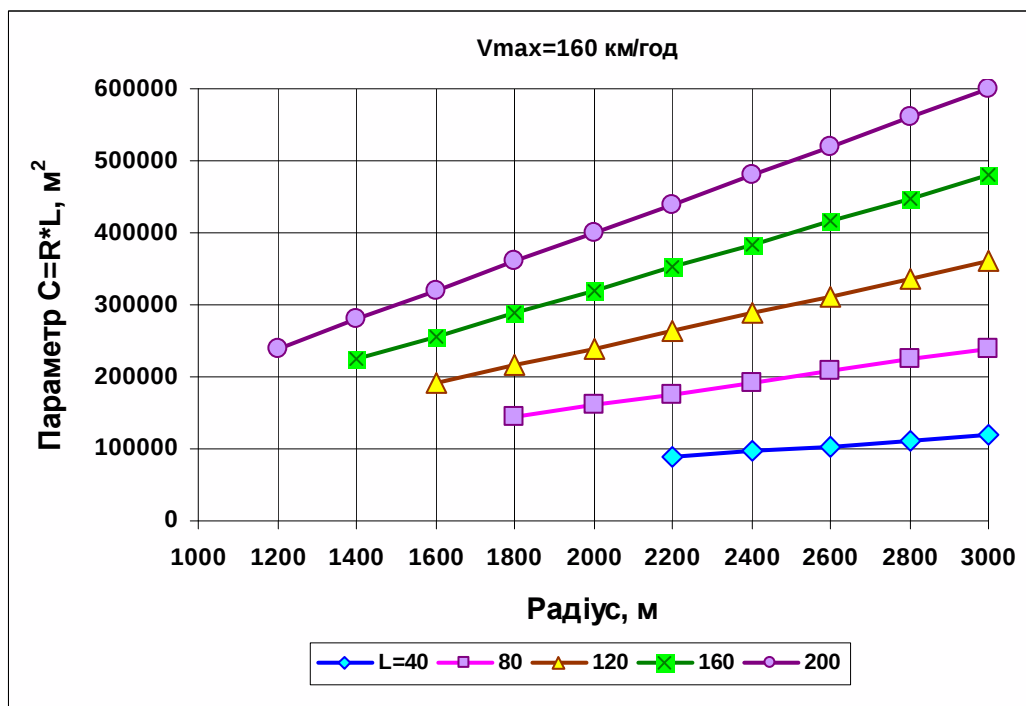


Рисунок 4.19 – Допустимі значення параметра C при $V_{\max}=160$ км/год

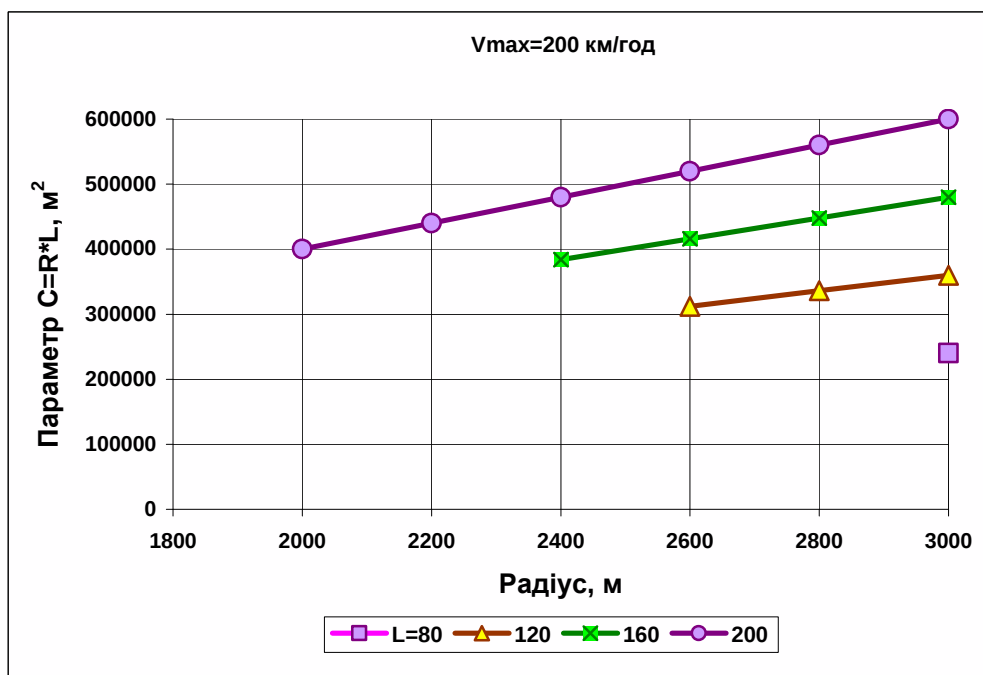


Рисунок 4.20 – Допустимі значення параметра C при $V_{\max}=200$ км/год

З використанням програми RWPlan і методики, що передбачає урахування відповідних робіт з перебудови кривої, була розрахована за формулою (4.24) вартість по кожному варіанту (рис. 4.21-4.23)

$$K = \sum_{i=1}^{i=4} a_i l_i + \sum_{i=5}^{i=7} a_i l_i + \sum_{i=8}^{i=10} a_i Q_i, \quad (4.24)$$

де $a_1, \dots, a_4$ – витрати на зміщення осі існуючої колії відповідно до 60 мм, 61-120 мм, 121-120 мм і більше 250 мм;

$l_1, \dots, l_4$ – довжина ділянок з відповідним діапазоном зсувів;

$a_5, \dots, a_7$ – витрати відповідно на перекладання верхньої будови колії, перенесення контактної мережі, пристроїв СЦБ;

$l_5, \dots, l_7$ – довжина ділянок перекладання колії, перенесення контактної мережі, кабелів СЦБ;

$a_8, \dots, a_{10}$ – вартість 1 м³ баласту, ґрунту для розширення існуючого земляного полотна та ґрунту для відсіпання земляного полотна на новій трасі;

$Q_8, \dots, Q_{10}$ – об'єм баласту, ґрунту для розширення існуючого земляного полотна та ґрунту для відсіпання нового земляного полотна.

Якщо зсув перевищує задане для перекладання значення, то замість витрат на рихтування підраховуються витрати на перекладання колії, перенесення контактної мережі і пристроїв СЦБ.

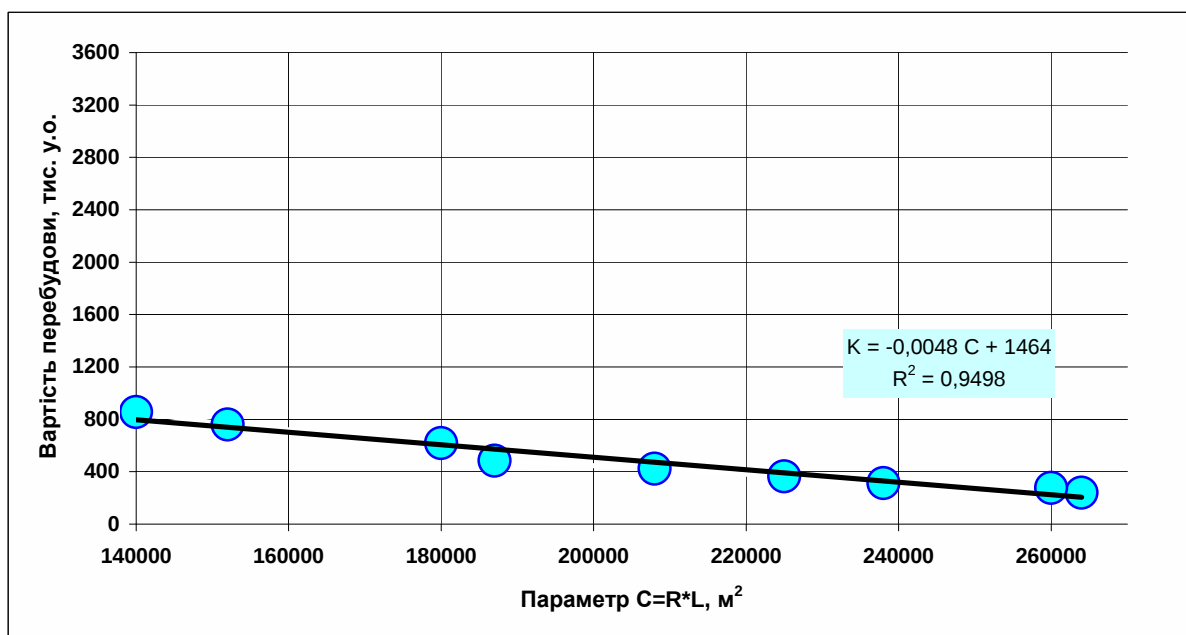


Рисунок 4.21 – Вартість перебудови кривої в залежності від параметра C (кут повороту 20°)

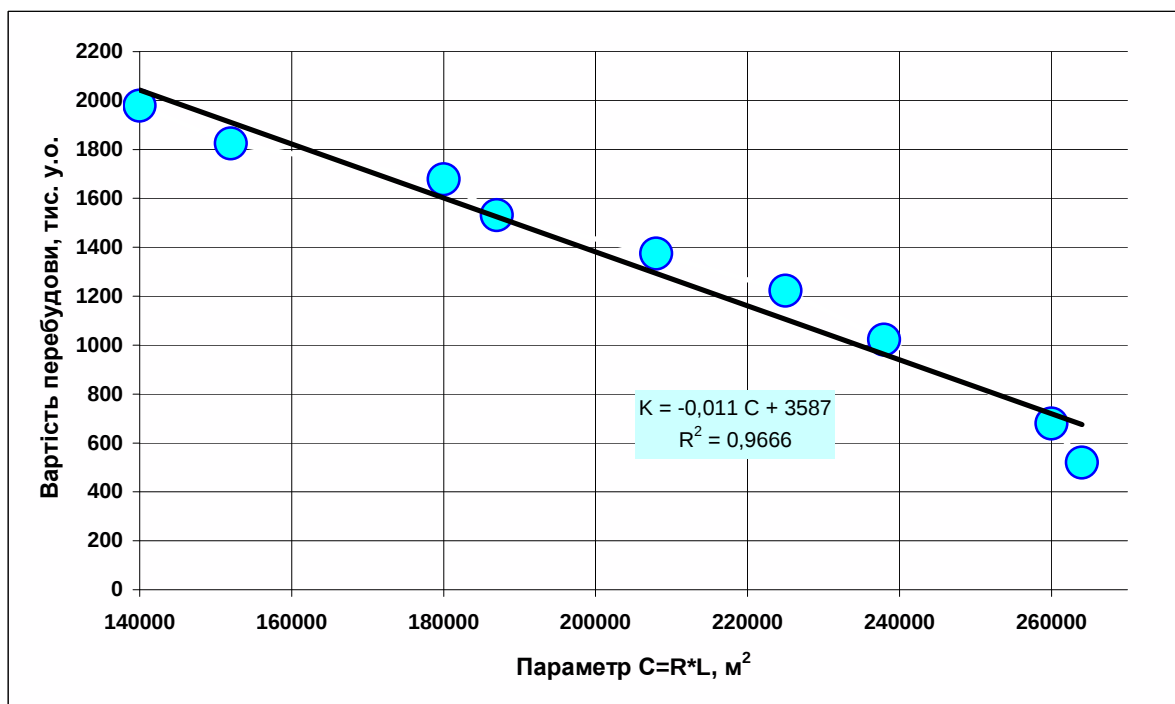


Рисунок 4.22 – Вартість перебудови кривої в залежності від параметра C (кут повороту 30°)

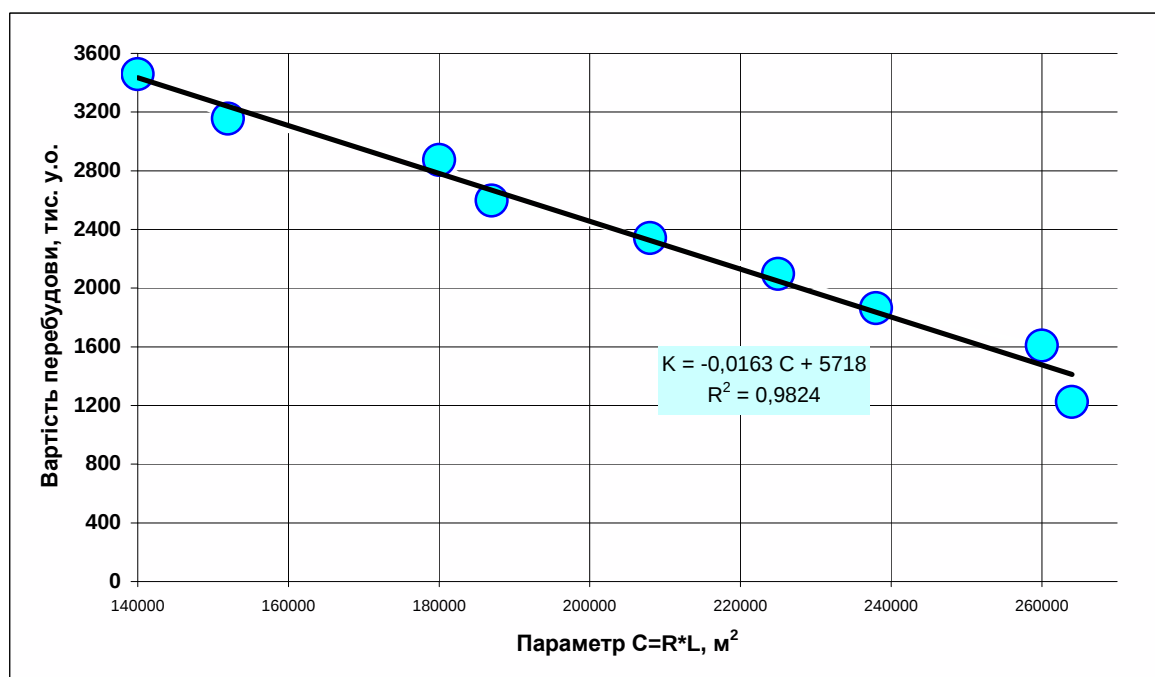


Рисунок 4.23 – Вартість перебудови кривої в залежності від параметра C (кут повороту 40°)

З аналізу графіків на рис. 4.21-4.23 випливає, що в кривих з кутом повороту 30 град. вартість перебудови кривих збільшується у 2.3...3.3 рази у порівнянні з кутом повороту 20 град. В кривих з кутом повороту 40 град.

вартість збільшується відповідно у 4...5,9 рази. Отже, рекомендації ДБН В.2.3-19-2008 щодо урахування значень радіусів кривих існуючої колії хоча і є не конкретними, але правомірними. Так, з рис. 4.21-4.23 і даних табл. 4.8-4.10 випливає, що перебудова кривих при впровадженні швидкісного руху повинна забезпечувати максимальне значення параметра C , тобто мінімально допустимий радіус і максимальні перехідні криви на існуючій залізниці для отримання мінімальної будівельної вартості (див. табл. 4.11 при $h = 120...150$ мм), якщо розташування кривої в плані дозволяє виконати подовжжеея перехідних кривих.

Отже, за умови мінімальної вартості перебудови кривих бажано, щоб $C \rightarrow \max$ при $R \rightarrow \min, l \rightarrow \max$. Розглянемо це питання з позиції динаміки взаємодії екіпажів в кривих з різними параметрами C . За базову принята модель просторових коливань швидкісного пасажирського вагона [76], що була адаптована для вирішення конкретних задач в дисертації. Так, для встановлення залежності бокових H_B і рамних сил H_R від параметру C були прийняті вихідні дані, що наведені в табл. 4.11.

Таблиця 4.11 – Вихідні дані

Показники	Максимальна швидкість пасажирських поїздів 140 км/год на кривих ділянках колії з параметрами:				
$R, \text{ м}$	800	1000	1200	1400	1600
$h, \text{ мм}$	60	60	60	60	60
$L_{\text{пер}}, \text{ м}$	70	70	70	70	70
$h, \text{ мм}$	90	90	90	90	90
$L_{\text{пер}}, \text{ м}$	100	100	100	100	100
$h, \text{ мм}$	120	120	120	120	120
$L_{\text{пер}}, \text{ м}$	130	130	130	130	130
$h, \text{ мм}$	150	150	150	150	150
$L_{\text{пер}}, \text{ м}$	170	170	170	170	170

В таблиці позначені:

h – підвищення зовнішньої рейки;

$L_{\text{пер}}$ – довжина перехідної кривої;

$V_{\text{min}}^{\text{ван}}$ – мінімальна швидкість вантажних поїздів.

Для знаходження бічної сили, що діє на рейки з боку коліс і рамних сил, що діють на колісні пари, обчислювалась направляюча сила, що являє собою реакцію рейки на загальний опір повороту візка (екіпажа) при русі по кривій. Визначення цієї сили відноситься до класу задач геометричного вписування. Для візкових екіпажів найбільш типовим є перекісне положення, що змінюється після кожного імпульсу в зоні контакту гребеня колеса з рейками.

При відомих направляючих силах Y_N , бічні Y_B і рамні сили Y_R визначались за формулами (3.6).

Як приклад, вираз для визначення бічної сили, що діє з боку колії на ліве колесо першої колісної пари першого візка буде мати вигляд

$$Y_{B(1,1,1)} = Y_{N(1,1,1)} - Y_{(1,1,2)}$$

Значення рамної сили, що діє на першу колісну пару першого візка, визначається з виразу

$$Y_{R(1,1)} = Y_{N(1,1,1)} - Y_{(1,1,1)} - Y_{(1,1,2)}.$$

В додатку В наведені результати розрахунків для пасажирського вагону, що були отримані на основі моделювання взаємодії колії і екіпажу при русі по кривим радіусів від 800 до 1400 м з перехідними кривими від 70 до 170 м. Для послідуочого аналізу побудовані графіки для максимально ймовірних бокових сил (рис. 4.24) і максимально ймовірних рамних сил (рис. 4.25). Аналіз таких графіків дозволяє зробити висновок на користь прийняття більшого параметру C , так як проглядається тенденція до зменшення як бокових, так і рамних сил при його зростанні.

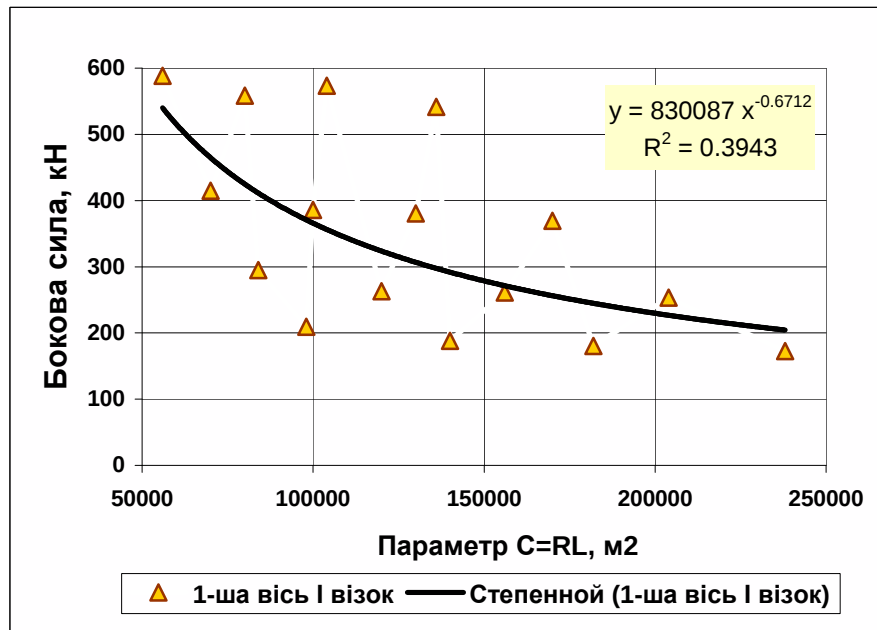


Рисунок 4.24 – Графіки зміни бокових сил від параметра C

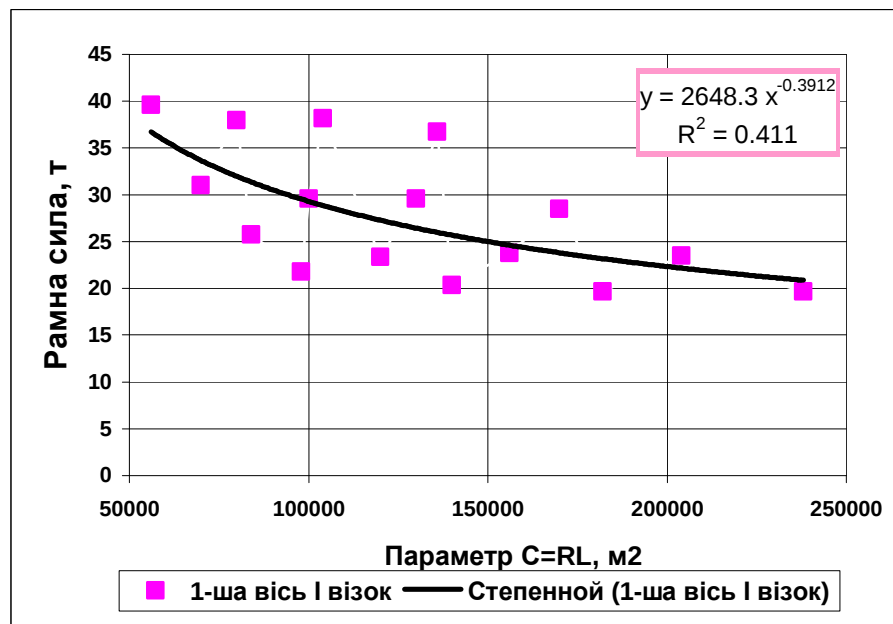


Рисунок 4.25 – Графіки зміни рамних сил від параметра C

Для дослідження зміни динамічних показників від параметра C були побудовані графіки залежності коефіцієнта горизонтальної динаміки колії k_{GD} , який є критерієм безпеки від зсуву рейко-шпальної решітки (рис. 4.26) і коефіцієнта, що визначає стійкість колеса проти вкочення його гребня на рейку k_{VKO} (рис. 4.27).

Коефіцієнт горизонтальної динаміки визначається як відношення максимальної рамної сили Y_R до статичного навантаження $P_{ст}$ колісних пар на рейки

$$k_{GD} = \frac{Y_R}{P_{ст}} \leq 0,4 \quad (4.25)$$

З рис. 4.26 видно, що при збільшенні параметра C з 50000 до 250000 м² коефіцієнт k_{GD} зменшується від 0,3 до 0,1, тобто умова безпеки від поперечного зсуву рейко-шпальної решітки (4.25) виконується і тим надійніше, чим більший параметр C .

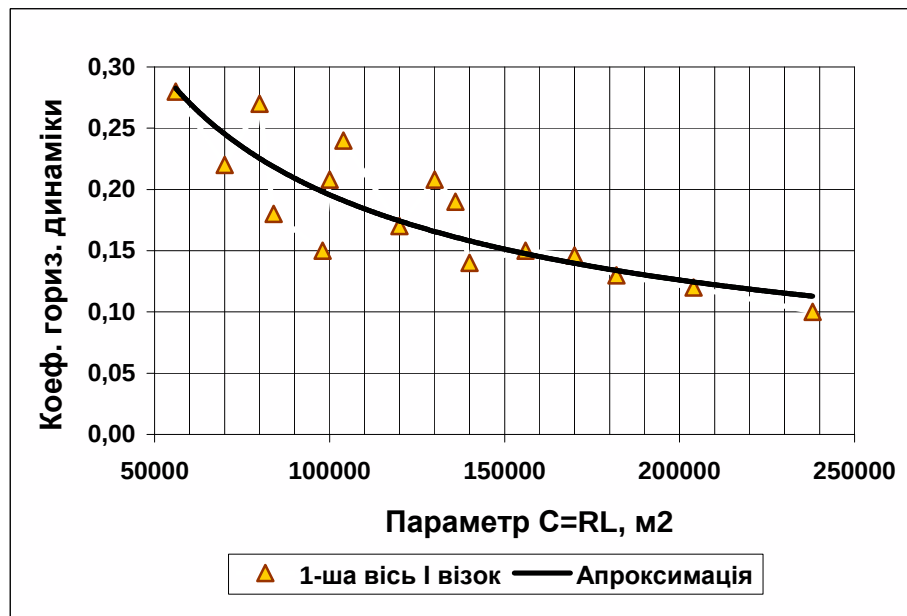


Рисунок 4.26 – Зміна коефіцієнта горизонтальної динаміки в залежності від параметра C

Стійкість колеса проти вкочення його гребня на рейку залежить від відношення бокової сили Y_B , що передається від колеса на рейку, до вертикальної сили P взаємодії колеса й рейки

$$k_{vko} = \frac{Y_B}{P} > [1, 2] \quad (4.26).$$

Перевірка щодо забезпечення безпеки від сходження коліс з рейок показала, що коефіцієнт запасу стійкості колеса проти вкочення на головку рейки k_{vko}

знаходиться в діапазоні 1,7...2,5 для вантажних і від 2,5 до 7,0 для пасажирських вагонів (рис. 4.27), що перевищує допустиме значення 1,4 при ймовірності 0,01, тобто умова (4.26) теж виконується і тим надійніше, чим більший параметр С.

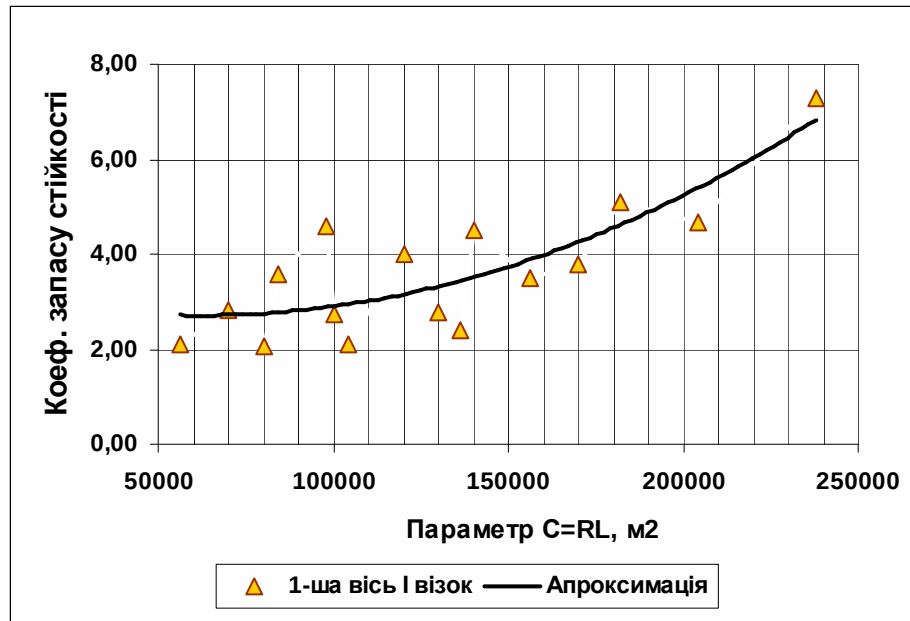


Рисунок 4.27 – Зміна коефіцієнту запасу стійкості проти вкочення на головку рейки

4.6.2 Суто пасажирський (швидкісний) і переважно пасажирський (прискорений) рух - напрямки А і Б.

Якщо виходити з формули підвищення зовнішньої рейки для швидкісних поїздів (формула 4.1) і визначити з неї величину радіуса, то отримаємо вираз (4.27)

$$R_{\min} = \frac{V_{\max \text{ пс}}^2}{3,6^2 \left([\alpha_{\text{нп}}]_{\text{зов}} + \frac{gh}{S} \right)}. \quad (4.27)$$

На рис. 4.28 і 4.29 наведені графіки залежності величини радіуса кривої від підвищення зовнішньої рейки для максимально встановленої швидкості 160, 180 і 200 км/год.

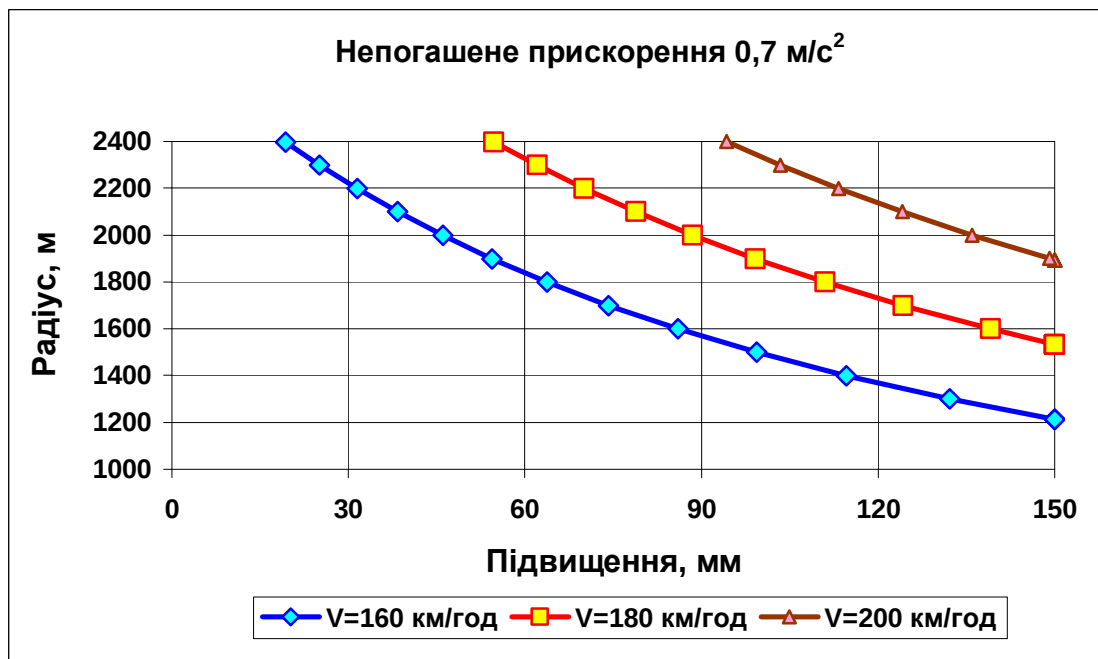


Рисунок 4.28 – Залежність величини радіуса кривої від підвищення зовнішньої рейки для максимально встановленої швидкості 160, 180 і 200 км/год (при $\alpha_{nn}=0,7 \text{ м/с}^2$).

Проведені ЛИИЖТом разом з Ленінградською військово-медичною академією дослідні поїздки показали, що значення α_{nn} може бути підвищене до $1,0 \text{ м/с}^2$, якщо пасажир знаходиться у вагоні з місцями для сидіння або мають місце короткочасні поїздки. Конструкція сучасного рухомого складу, короткий термін поїздки денними експресами (до 5-6 годин) дозволяє прийняти нормативне значення непогашеного прискорення $\alpha_{nn}=1,0 \text{ м/с}^2$, що дає можливість на напрямках пасажирського руху реалізувати максимально встановлену швидкість в кривих меншого радіусу на 13...25% , ніж у випадку, коли $\alpha_{nn}=0,7 \text{ м/с}^2$ (рис. 4.28 і 4.29, табл. 4.12).

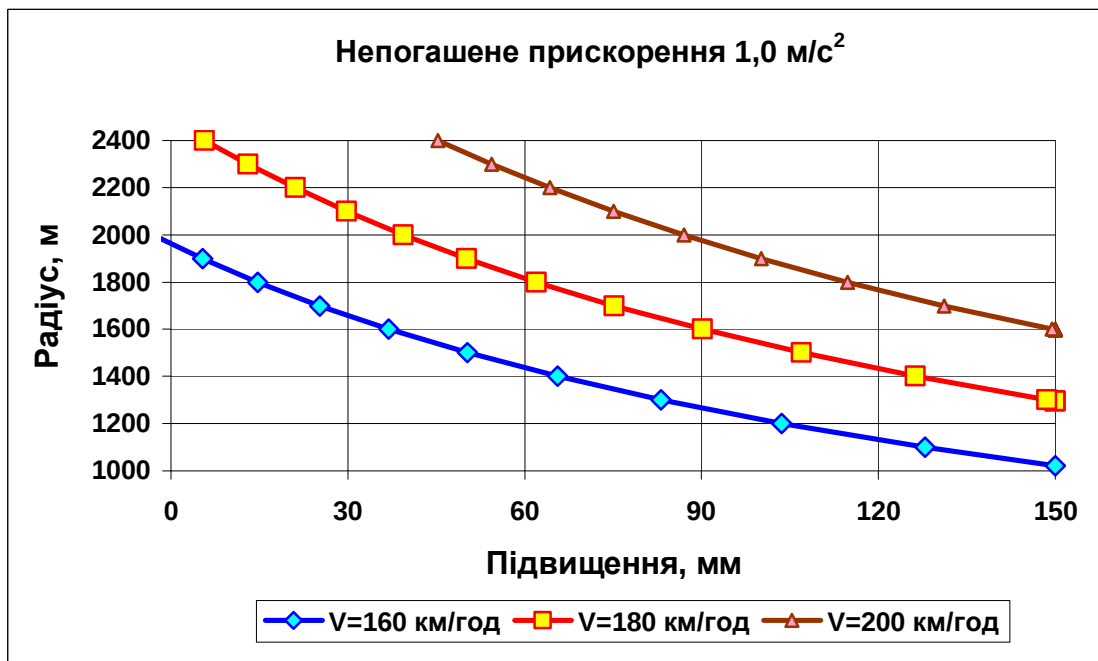


Рисунок 4.29 – Залежність величини радіуса кривої від підвищення зовнішньої рейки для максимально встановленої швидкості 160, 180 і 200 км/год (при $\alpha_{nn}=1,0$ м/с²).

З формули (4.27) випливає, що підвищити швидкість можна двома шляхами:

- збільшивши підвищення зовнішньої рейки i , при необхідності, подовжити перехідні криві до величини l (формула 4.20);
- збільшивши радіус кругової кривої R .

Наприклад, швидкість $V_{\max}=160$ км/год на напрямках А і Б можна забезпечити при радіусі 1650 м і мінімальному підвищенні $h=30$ мм, що відповідає мінімальній довжині перехідної кривої $l=50$ м, або при мінімально допустимому радіусі $R=1050$ м, що відповідає максимальному підвищенню 150 мм і довжині перехідної кривої $l=220$ м (див. табл. 4.12). У першому випадку параметр перехідної кривої $C = R \cdot l$ дорівнює 82500 м², у другому – 231000 м². Для прийняття остаточного рішення дослідимо вплив параметра C на вартість перебудови кривих.

Таблиця 4.12 – Радіуси кривих для різних рівнів максимальної швидкості

h , мм	$V_{\max} = 160$ км/год			$V_{\max} = 180$ км/год			$V_{\max} = 200$ км/год		
	при $\alpha_{nn}, м/с^2$		% при $\alpha_{nn} = 1$	при $\alpha_{nn}, м/с^2$		% при $\alpha_{nn} = 1$	при $\alpha_{nn}, м/с^2$		% при $\alpha_{nn} = 1$
	0,7	1,0		0,7	1,0		0,7	1,0	
30	2200	1650	75,0	2800	2100	75,0	3500	2600	74,3
60	1850	1450	78,3	2300	1800	78,3	2900	2250	77,6
90	1550	1250	80,6	2000	1600	80,0	2450	1975	80,6
120	1350	1150	85,2	1750	1450	82,9	2150	1750	81,4
150	1200	1050	87,5	1550	1300	83,9	1900	1600	84,2

Запропонований підхід дозволяє в кожному конкретному випадку правильно визначити мінімальний радіус кривої, що забезпечує задану максимальну швидкість руху, плавність і комфортабельність їзди при мінімальних витратах на перебудову кривої на напрямках А і Б пасажирського руху.

4.6.3 Суміщений рух - напрямок В

Відповідно до прийнятої класифікації (табл. 1.1) максимальна швидкість на існуючих лініях не повинна перевищувати 120 км/год. Але сьогодні на напрямках прискореного руху, де ще не виконані роботи з відокремлення вантажного й пасажирського руху, мають місце й більш високі швидкості пасажирських поїздів. Тому в подальших розрахунках, для порівняння й виявлення негативних явищ такого суміщення, розглядаються максимальні швидкості до 160 км/год. При суміщеному русі максимальну швидкість 160 км/год можна реалізувати лише в кривих радіусів 1800 м і більше. Граничними значеннями для швидкості 140 км/год можна вважати радіуси кривих 1400-1700 м, а для швидкості 120 км/год – 1000-1200 м.

Підвищення швидкості при наявності кривих малого радіуса можливо лише при їх перебудові за рахунок збільшення радіуса або, частково, за рахунок встановлення збільшеного підвищення зовнішньої рейки, що можна забезпечити при переключенні частини вантажних перевезень на паралельний хід.

Для розрахунку підвищення зовнішньої рейки необхідно попередньо визначити середньозважену квадратичну швидкість (див. п. 2.2), а для цього потрібно знати ходові швидкості поїздів усіх категорій V_i , дані про їхню кількість N_i і масу Q_i .

Для вирішення цієї задачі автором запропоновано прогнозувати середньозважену швидкість й підвищення зовнішньої рейки на основі математичного моделювання руху потоку поїздів (див. п. 4.1).

Використовуючи викладену методику, були визначені значення середньозважені швидкості. Результати розрахунків представлені на рис. 4.30 і 4.31.

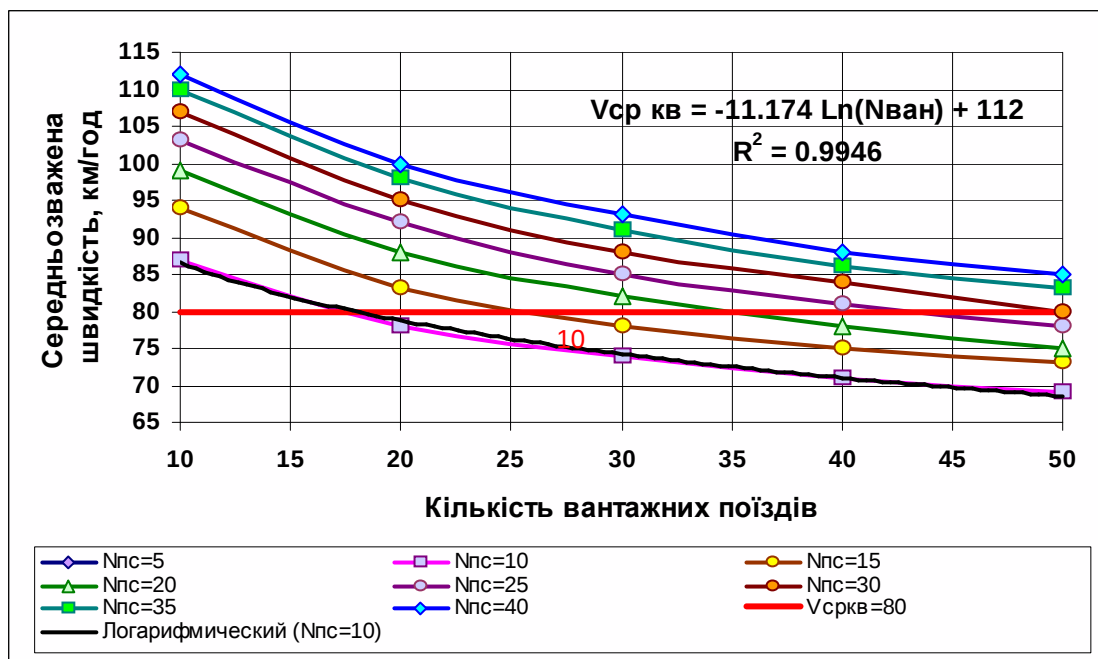


Рисунок 4.30 – Середньозважена швидкість в залежності від структури поїздопотуку

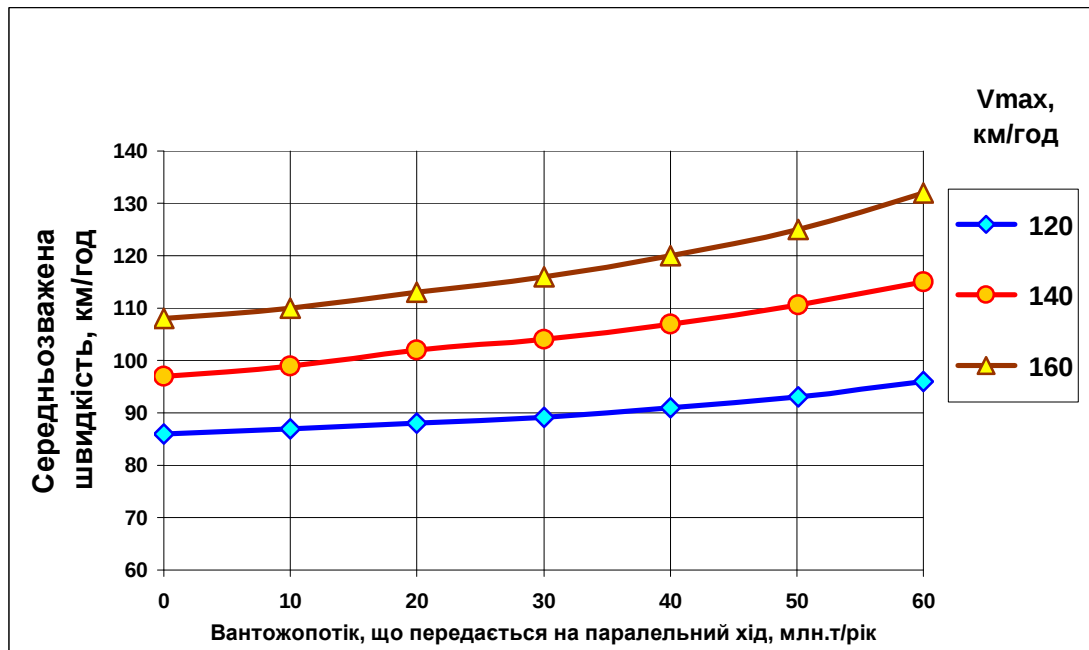


Рисунок 4.31 – Зростання середньозваженої швидкості при передачі вантажопотоку на паралельний хід

Методика визначення мінімальних радіусів кривих при суміщеному русі вантажних і пасажирських поїздів викладена в роботі проф. О.П. Єршкова [68]. В методиці передбачається забезпечення міцності й стійкості колії і рухомого складу, безпеки руху й комфорту пасажирів. Дотримання цих умов описується трьома розрахунковими формулами:

- забезпечення однакового силового впливу на обидві рейкові нитки від сумарного потоку поїздів

$$\sum G_{зові} = \sum G_{вн і} \quad (4.28)$$

- неперевиконання непогашених прискорень, спрямованих назовні кривої при проходженні найбільш швидкого поїзда

$$\alpha_{нп}^{nac} \leq [\alpha]_{зов} \quad (4.29)$$

- обмеження непогашених прискорень, спрямованих усередину кривої при проходженні вантажного поїзда з найменшою швидкістю

$$\alpha_{нп}^{ван} \leq [\alpha]_{вн} \quad (4.30)$$

де $[\alpha]_{зов}$, $[\alpha]_{вн}$ - допустимі непогашенні прискорення відповідно для пасажирських ($\pm 0,7$) і вантажних ($\pm 0,3$) поїздів, м/с². Необхідно

підкреслити, що максимально допустимий критерій $[\alpha_{nn}]$ є не тільки показником комфортабельності їзди для пасажирів. Усі іспити нового і модернізованого рухомого складу проводяться на основі вимог неперевикнення такого прискорення. Всі габарити в кривих прийняті також із умови нахилу кузова на ресорах при $[\alpha_{nn}]_{зоб}$. Таким чином, критерій $[\alpha_{nn}]$ забезпечує і комфортабельність і безпеку руху. За цим критерієм встановлюються і мінімально допустимі радіуси кругових кривих.

Криві, що наведені на рис. 4.28, можна апроксимувати логарифмічними функціями. Наприклад, при постійній кількості пасажирських поїздів $N_{nac}=10$ пар/добу маємо

$$V_{серкв} = -11,174 \ln(N_{ван}) + 112 \quad (4.31)$$

Використовуючи формулу (4.31), визначаємо, наскільки можна збільшити підвищення та допустиму швидкість руху (формули 4.32, 4.33) і при якому мінімальному радіусі (формула 4.34) можна забезпечити встановлену максимальну швидкість

$$\Delta h = \frac{12,5 (V_{серзв(i+1)}^2 - V_{серзв(i)}^2)}{R} \quad (4.32)$$

$$\Delta V_{дон} = 3,6 \sqrt{R \left([\alpha_{nn}] + \frac{g \Delta h}{S} \right)} \quad (4.33)$$

При середньозваженій швидкості поїздопотоків забезпечується виконання умови (4.1) тобто сумарний силовий вплив на обидві рейкові нитки від потоку поїздів $F = \sum (N_i, Q_i, \alpha_i) = \min$.

Зі спільного розв'язку умов (4.28) і (4.29) отримана формула для визначення R_{min}

$$R_{min} = \frac{V_{max nac}^2 - k V_{серзв}^2}{3,6^2 [\alpha_{nn}]_{зоб}}, \quad (4.34)$$

де k – коефіцієнт, що враховує зміщення центру ваги екіпажа в зовнішню сторону по відношенню до осі кривої.

З аналізу графіків на рис. 4.30 випливає, що всі три умови (4.32-4.34) виконуються при середньозваженій швидкості $V_{сер\ зб} = 75$ км/год в кривих радіусів $R \geq 1000$ м, при $V_{сер\ зб} = 70$ км/год – в кривих $R \geq 1100$ м, при $V_{сер\ зб} = 65$ км/год – в кривих $R \geq 1300$ м, при $V_{сер\ зб} = 60$ км/год – в кривих $R \geq 1500$ м. Такий мінімальний радіус будемо називати мінімально рекомендованим $R_{min}^{рек}$. Його слід призначати при мінімальній вартості на перебудову.

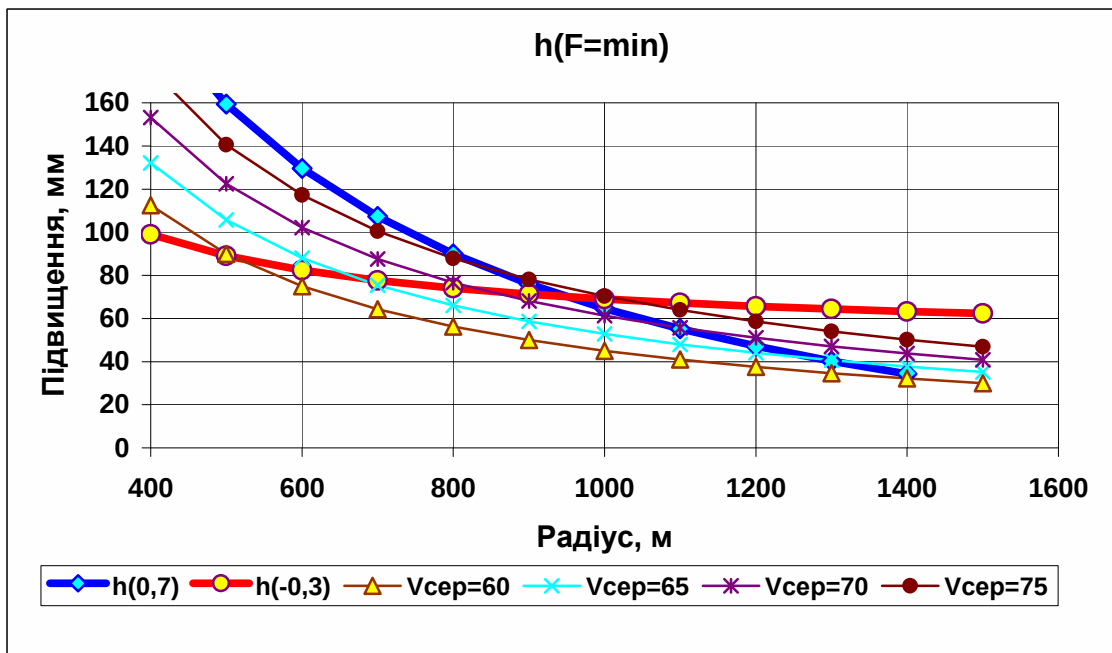


Рисунок 4.32 – Залежність підвищення зовнішньої рейки від радіуса кривої

Мінімально допустимі радіуси визначаються за графіками на пересіченні кривих $h(\alpha_{нп\ зов} = 0,7)$ і $h(\alpha_{нп\ вн} = -0,3)$, (рис. 4.32). У цьому випадку виконуються тільки дві умови – (4.29) і (4.30).

Так, за умови $\alpha_{нп}^{нас} \leq [\alpha]_{зов}^{ван}$ і $\alpha_{нп}^{ван} \leq [\alpha]_{вн}$ отримаємо

$$R_{min} = \frac{V_{мин\ ван}^2 - kV_{сер\ зб}^2}{3,6^2 [\alpha_{нп}]_{зов}}. \quad (4.35)$$

За умови $h_{min} = h_{max}$, отримаємо

$$R_{min} = \frac{V_{max\ нас}^2 - V_{мин\ ван}^2}{3,6^2 [\alpha_{нп}^{нас} - \alpha_{нп}^{ван}]}. \quad (4.36)$$

За формулами (4.34-4.36) розраховані значення мінімально допустимих радіусів $R_{\min}^{\text{доп}}$, які допускається приймати в складних умовах траси. При цьому враховувалось, що з існуючої залізниці може передаватись частина вантажних перевезень на паралельні ходи.

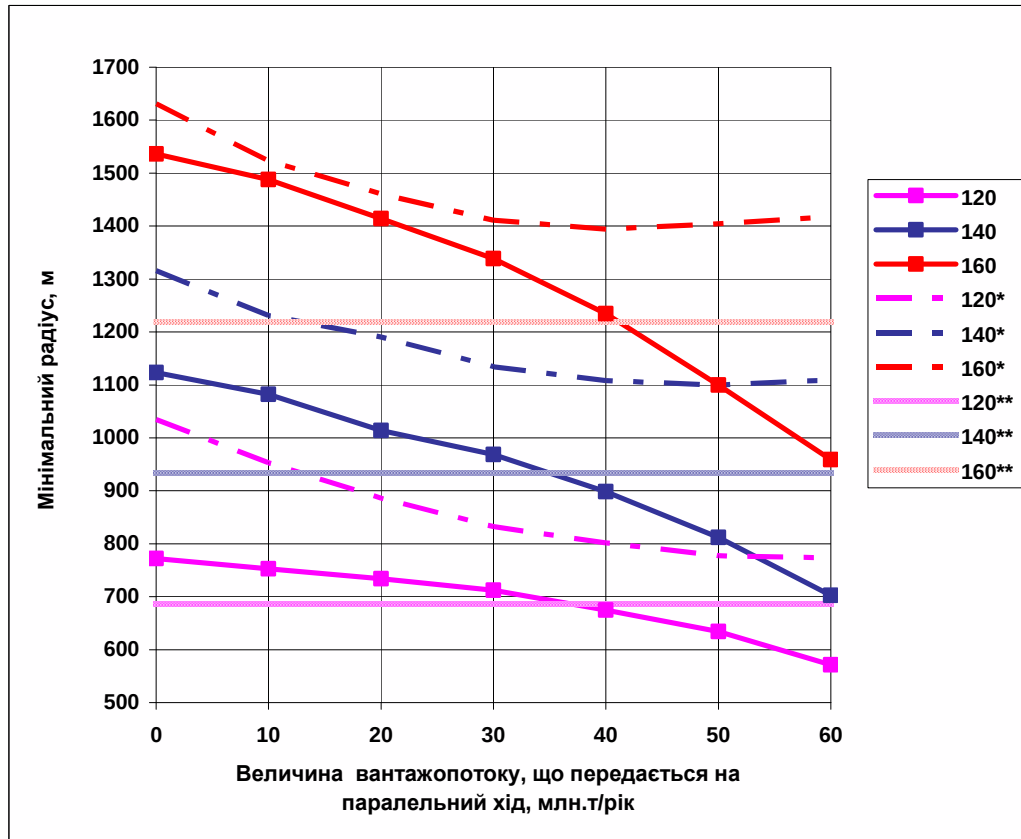


Рисунок 4.33 – Графіки зміни величини мінімального радіусу при передачі частини вантажопотоку на паралельний хід

На рис. 4.34 наведено зведені графіки, що враховують виконання декілька умов одночасно і виключають помилки при знаходженні $R_{\min}^{\text{рек}}$ і $R_{\min}^{\text{доп}}$.

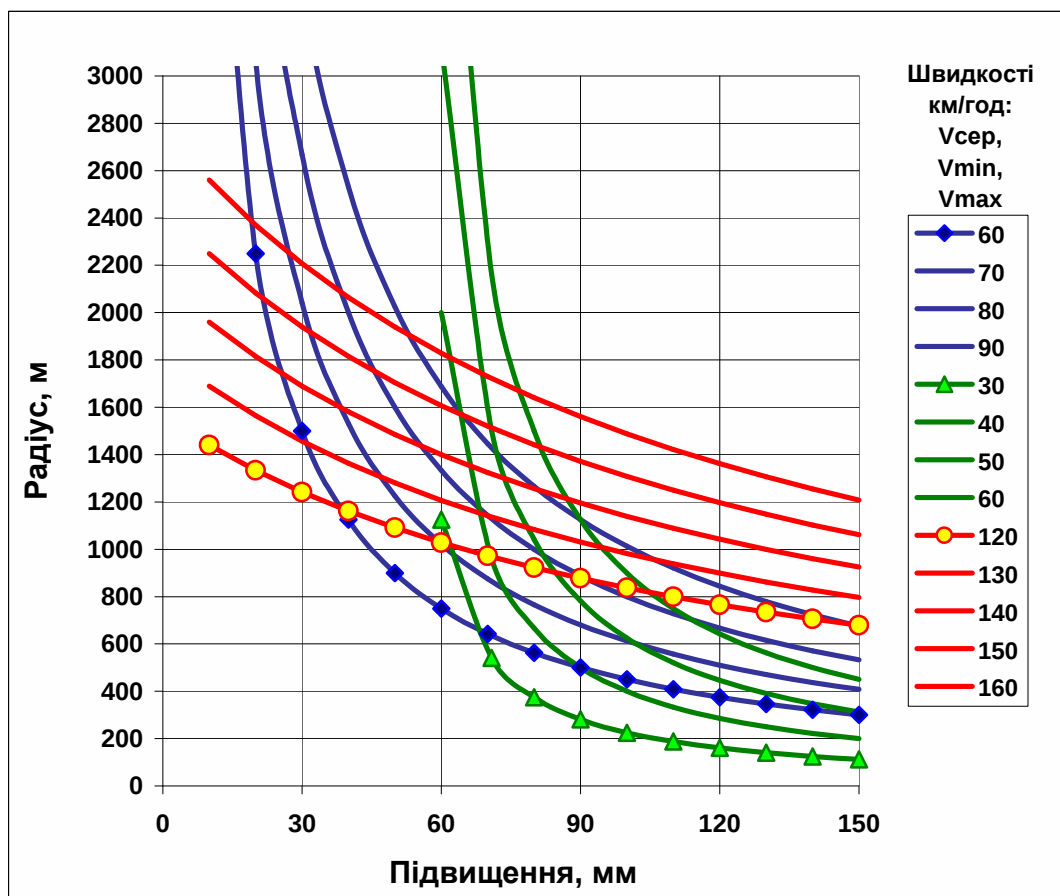


Рисунок 4.34 – Графіки залежності $R_{\min}^{\text{доп}}$ від $V_{\text{серзв}}$, $V_{\min}^{\text{ван}}$, $V_{\max}^{\text{пас}}$ та підвищення зовнішньої рейки в кривій

На основі проведеного дослідження для напрямків залізниць, де має місце суміщений рух поїздів, можуть бути рекомендовані мінімальні радіуси, що наведені в табл. 4.13

Таблиця 4.13 – Мінімальні радіуси кривих

Показники	Радіус кривої $R_{\min}$ (м) і підвищення зовнішньої рейки h (мм) для мінімальної швидкості вантажних поїздів $V_{\min}^{\text{вант}}$ (км/год):				
	40	50	60	70	80
Швидкість пасажирських поїздів 100...140 км/год					
$R_{\min}$, м	1400	1325	1250	1200	1100
h , мм	65	75	85	90	120
Швидкість пасажирських поїздів 120...160 км/год					
$R_{\min}$, м	1850	1800	1700	1600	1500
h , мм	65	75	85	90	100

4.6.4 Вантажний рух - напрямок Г

Відповідно до класифікації (п.1.3) на напрямках Г здійснюються інтенсивні вантажні перевезення при мінімальній кількості приміських поїздів. Серед вантажних розглядаються поїзди повновагові з осьовим навантаженням до 250-300 Кн/вісь, та повноскладові – до 250 Кн/вісь. Швидкість руху таких поїздів може суттєво відрізнятись, що було враховано при моделюванні поїздопотоків.

Умовами, що визначають відповідність таких параметрів як радіус і підвищення зовнішньої рейки на напрямках вантажного руху є :

$$[\alpha_{\text{нп min}}] \leq \alpha_{\text{нп}} \leq [\alpha_{\text{нп max}}] \text{ і } F = \sum (N_i, Q_i, \alpha_i) = \min.$$

де $[\alpha_{\text{нп}}]_{\text{max}}, [\alpha_{\text{нп}}]_{\text{min}}$ - допустимі непогашенні прискорення для вантажних поїздів відповідно $\pm 0,3 \text{ м/с}^2$;

F - сумарний силовий вплив на обидві рейкові нитки від потоку поїздів.

Основні вихідні дані, що прийняті в розрахунках, наведені в табл. 4,14, а результати розрахунків – на рис. 4.35-4.37.

Таблиця 4.14 – Параметри потоку поїздів для варіантів, що досліджуються

Параметри потоку	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3
Q_i , т	4000...6000	4000...6000	4000...6000
V_i , км/год	40...80	60...80	40...60
N_i , поїздів	40...44	40...44	40...44
Q_i , т	2000...3000	2000...3000	2000...3000
V_i , км/год	60...100	80...100	60...80
N_i , поїздів	18...22	18...22	18...22

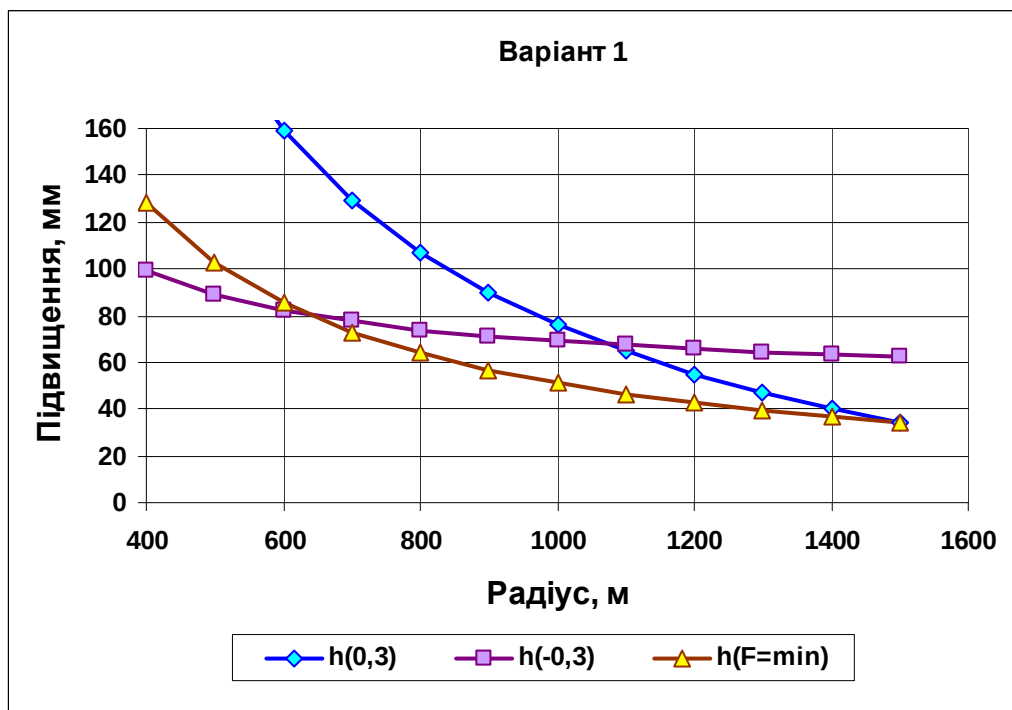


Рисунок 4.35 – Залежність підвищення зовнішньої рейки від радіуса кривої для потоку поїздів (варіант 1)

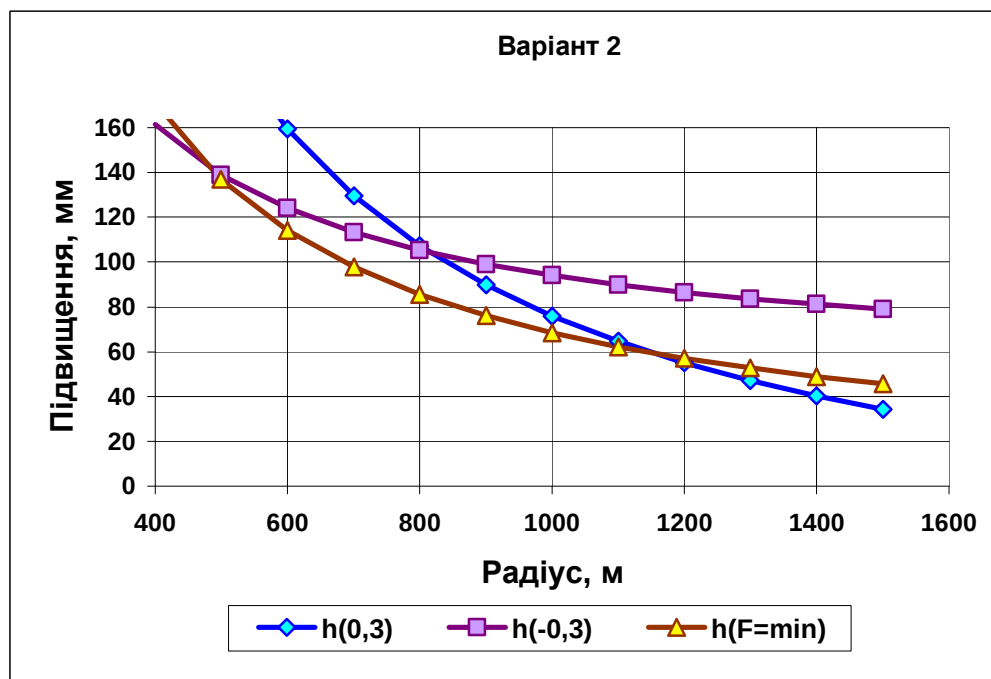


Рисунок 4.36 – Залежність підвищення зовнішньої рейки від радіуса кривої для потоку поїздів (варіант 2)

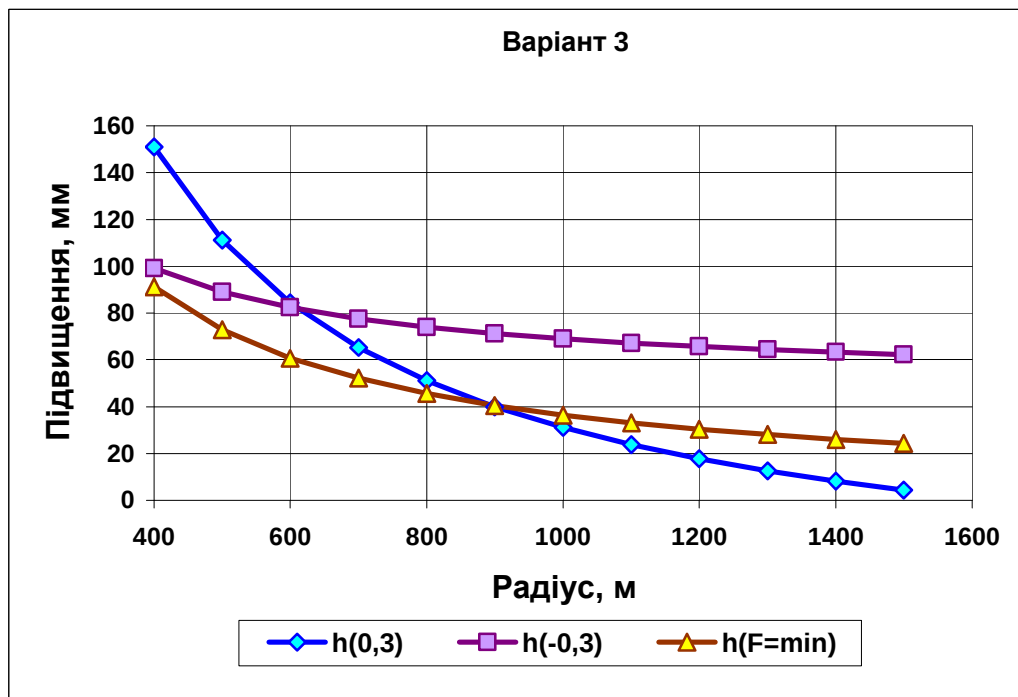


Рисунок 4.37 – Залежність підвищення зовнішньої рейки від радіуса кривої для потоку поїздів (варіант 3)

Аналіз графіків на рис. 4.36-4.38 дозволяє зробити такі висновки:

Варіант 1 (рис. 4.36). Досить широкий діапазон зміни швидкості вантажних поїздів від 40 до 80 км/год повновагових і від 60 до 100 км/год повноскладових негативно впливає на роботу колії в кривих радіусів $R < 1500$ м. Тобто, при $1100 < R < 1500$ забезпечується мінімальне підвищення зовнішньої рейки для повноскладових поїздів (50...35 мм), максимальне для повновагових поїздів (70...60 мм), але не забезпечується однаковий силовий вплив на обидві рейкові нитки від сумарного потоку поїздів, тобто $\sum G_{зові} \neq \sum G_{вні}$. Якщо в кривих $R < 1100$ м прийняти підвищення 100...70 мм, то воно буде недостатнім для повноскладових поїздів, тобто для поїздів цієї категорії необхідно знизити максимальну швидкість руху. Отже, вибір мінімально допустимого радіусу тісно пов'язаний з параметрами поїздопотoku.

Варіант 2 (рис. 4.37). Має місце невеликий діапазон зміни швидкості вантажних поїздів від 60 до 80 км/год повновагових і від 80 до 100 км/год повноскладових. Тобто швидкості високі для обох категорій поїздів. Як

впливає з аналізу спільного положення кривих на рис. 2, в кривих $R > 1150$ м забезпечуються найкращі умови роботи колії – виконуються всі три вимоги (4.1-4.3). В кривих $800 < R < 1150$ забезпечується мінімальне підвищення зовнішньої рейки для повноскладових поїздів (110...60 мм), максимальне для повновагових поїздів (110...90 мм), але не забезпечується однаковий силовий вплив на обидві рейкові нитки від сумарного потоку поїздів. В кривих $R < 800$ м необхідно знизити максимальну швидкість руху для повноскладових поїздів, або збільшити, якщо це можливо, швидкість повновагових поїздів.

Варіант 3 (рис. 4.38). Має місце невеликий діапазон зміни швидкості вантажних поїздів від 40 до 60 км/год повновагових і від 60 до 80 км/год повноскладових. Тобто швидкості невисокі для обох категорій поїздів. Як впливає з аналізу спільного положення кривих на рис. 3, в кривих $R > 900$ м забезпечуються найкращі умови роботи колії – виконуються всі три вимоги (4.1-4.3). В кривих $600 < R < 900$ забезпечується мінімальне підвищення зовнішньої рейки для повноскладових поїздів (80...40 мм), максимальне для повновагових поїздів (80...70 мм), але не забезпечується однаковий силовий вплив на обидві рейкові нитки від сумарного потоку поїздів. В кривих $R < 600$ м необхідно знизити максимальну швидкість руху для повноскладових поїздів, або збільшити мінімальну швидкість повновагових поїздів.

Рекомендація щодо необхідності зниження максимальної швидкості руху повноскладових поїздів або збільшення мініимальної швидкості повновагових поїздів підтверджує необхідність виконання перевірки:

$$\alpha_{\text{нп}} = \frac{V_{\text{вант}}^2}{3,6^2 R} - 0,00613 h \rightarrow \min .$$

4.6.5 Визначення факторів і оцінка їхнього впливу на величину мінімального радіусу

З аналізу формул (4.34-4.36) випливає, що величина $R_{\min}$ залежить від швидкостей руху (максимальна, середньозважена, мінімальна) і значення допустимого непогашеного прискорення. Щоб дослідити, які фактори і в якій мірі впливають на величину $R_{\min}$, були виконані необхідні викладки й розрахунки.

Якщо в формулі (4.34) $V_{\text{срзв}}$ виразити через підвищення зовнішньої рейки $h = 12,5 \frac{V_{\text{срзв}}^2}{R}$, то отримаємо формулу (4.27), яка дає можливість встановити вплив підвищення зовнішньої рейки h на величину $R_{\min}$. Результати розрахунків наведені в табл. 4.15.

Таблиця 4.15 – Значення $R_{\min}$ за формулою (4.27) в залежності від h

$V_{\max}$	h	$R_{\min}$	h	$R_{\min}$	% $R_{\min}$	h	$R_{\min}$	% $R_{\min}$
160	100	1504	110	1437	4,5	150	1220	18,9
140	100	1152	110	1100	4,5	150	934	18,9
120	100	846	110	808	4,5	150	686	18,9

З табл. 4.15 випливає, що збільшення h на 10 мм (100, 110 ... 150) призводить до зменшення мінімального радіусу відповідно до 4,5-3,8 %, тобто в середньому на 4 %. Отже, при збільшенні підвищення h в кривих, які попадають в діапазон $R_{\min} \dots R_{\max}$, можна реалізувати швидкість $V_{\max}$ в більшій кількості кривих.

Збільшення $[\alpha_{nn}]$ від 0,7 до 1,0 м/с² призводить до зменшення величини $R_{\min}$ в середньому на 6 % на кожну 0,1 м/с² прискорення: при $h = 100$ мм відповідно 7,1-6,2 %; при $h = 150$ мм – 5,8-5,2 % (табл. 4.16). Тобто, застосування $[\alpha_{nn}] = 1,0$ м/с² замість 0,7 м/с² зменшує величину мінімально допустимого радіусу на 15-19 % в залежності від підвищення зовнішньої рейки в кривих.

Таблиця 4.16 – Значення $R_{\min}$ за формулою (4.27) в залежності від α_{nn}

α_{nn}	$V_{\max}$	h	$R_{\min}$	% $R_{\min}$	h	$R_{\min}$	% $R_{\min}$
0,7	160	100	1504	-	150	1220	-
0,8	160	100	1398	7,1	150	1149	5,8
0,9	160	100	1305	13,2	150	1086	11,0
1,0	160	100	1225	18,6	150	1029	15,6

Для дослідження впливу профілю на величину $R_{\min}$ уведемо в формули (4.32) і (4.33) відношення $\gamma_i = \frac{V_{\text{срзв}_i}}{V_{\max nc_i}}$, $\eta_i = \frac{V_{\text{срзв}_i}}{V_{\min \theta_i}}$ і $\delta_i = \frac{V_{\min \theta_i}}{V_{\max nc_i}}$. Тоді отримаємо:

$$R_{\min} = \frac{(1 - k\gamma_i^2) V_{\max nc_i}^2}{3,6^2 [\alpha_{nn}]_{\text{зог}}} \quad (4.37)$$

$$R_{\min} = \frac{(1 - k\eta_i^2) V_{\min \theta}^2}{3,6^2 [\alpha_{nn}]_{\text{вн}}} \quad (4.38)$$

$$R_{\min} = \frac{(1 - k\delta_i^2) V_{\max nc_i}^2}{3,6^2 ([\alpha_{nn}]_3 - [\alpha_{nn}]_{\text{вн}})} \quad (4.39)$$

З формул (4.37)-(4.39) випливає, що чим більша різниця між середніми і максимальними пасажирських і мінімальними вантажних поїздів, тим більшим повинен бути мінімальний радіус. За результатами тягових розрахунків встановлено, що в залежності від профілю показники γ_i , η_i і δ_i приймають такі значення (табл. 4.17).

Із аналізу формул (4.37)-(4.39) випливає, що при заданій структурі поїздів $R_{\min}$ залежить від ухилу елементу профілю, на якому розташована крива і радіус якої визначається. Вибіркові результати розрахунків за формулою (4.37) наведені в табл. 4.18.

Таблиця 4.17 – Значення коефіцієнтів в залежності від співвідношення швидкостей

Показники	Підйом	Спуск
γ_i	0,50-0,65	0,70-0,85
η_i	0,45-0,60	0,65-0,80
δ_i	0,35-0,45	0,50-0,65

За формулами (4.37) та (4.39) були визначені значення мінімально допустимого та мінімально рекомендованого радіусів залежно від непогашеного прискорення (рис. 4.38) та від профілю ділянки (рис. 4.39) при різній максимальній швидкості руху.

Таблиця 4.18 – Значення $R_{\min}$ за формулою (4.37) в залежності від профілю

Підйом			Спуск			% $R_{\min}$
$V_{\max}$	γ_i	$R_{\min}$	$V_{\max}$	γ_i	$R_{\min}$	
150	0,5	1860	160	0,7	1439	22,6
130	0,5	1397	140	0,7	1102	21,1
110	0,5	1000	120	0,7	810	19,1

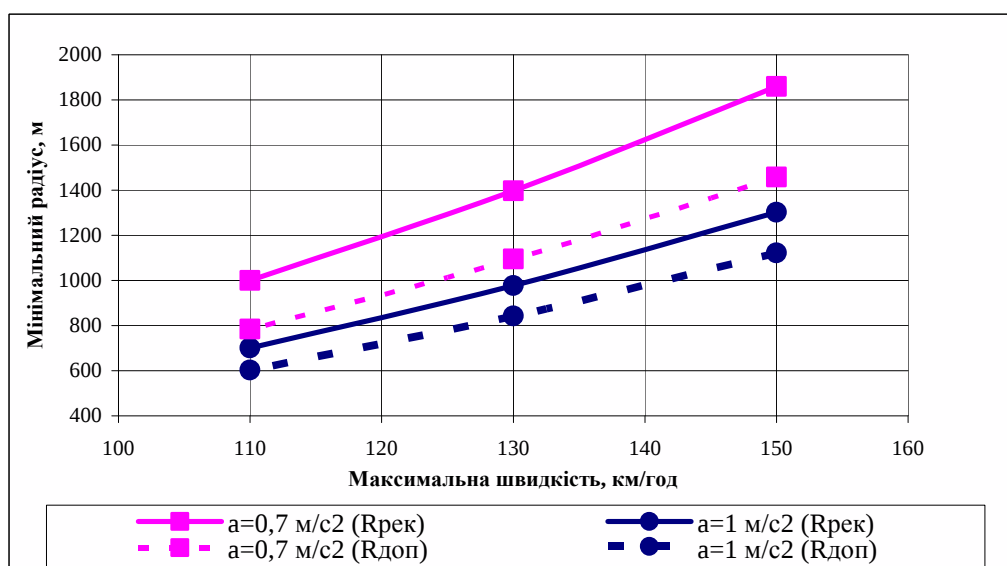


Рисунок 4.38 – Значення мінімального радіуса при зміні непогашених прискорень

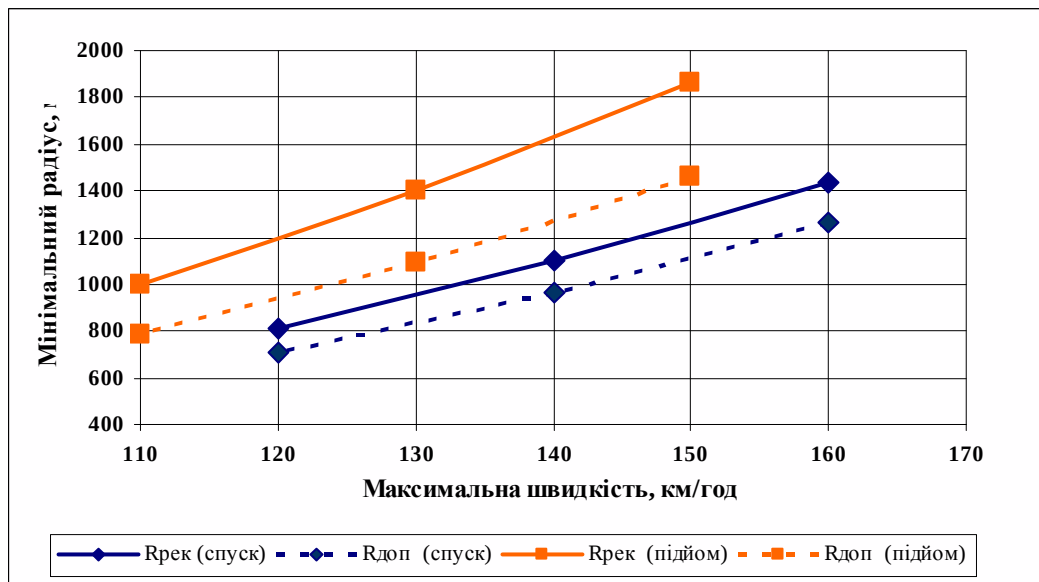


Рисунок 4.39 – Значення мінімального радіуса в залежності від профіля на якому розташована крива

Можна стверджувати, що величина мінімального радіусу на підйомах на 19-23 % більша ніж на спусках із-за різниці між середніми і максимальними ходовими швидкостями руху поїздів.

Розглянемо, як впливає співвідношення швидкостей руху вантажних і пасажирських поїздів (формула 4.39). Середні значення коефіцієнтів δ_i наведені в табл. 4.17, а результати розрахунків – в табл. 4.19.

Таблиця 4.19 – Значення R_{min} за формулою (4.39) в залежності від профілю

Підйом			Спуск			% R_{min}
V_{max}	δ_i	R_{min}	V_{max}	δ_i	R_{min}	
150	0,4	1458	160	0,6	1264	13,3
130	0,4	1095	140	0,6	968	11,6
110	0,4	794	120	0,6	711	9,3

Із аналізу даних табл. 4.19 можна заключити, що співвідношення швидкостей вантажних і пасажирських поїздів впливає на величину мінімального радіусу: на підйомі величина R_{min} повинна бути більшою ніж на спуску на 9-13 % із-за різниці швидкостей.

4.6.6 Класифікація залізничних напрямків за спеціалізацією перевезень

Проведений аналіз показав, що напрямки залізниці відрізняються не тільки технічним оснащенням, але й умовами роботи. Подальше підвищення швидкостей потребує перш за все більш високої якості конструкції й утримання залізничної колії, на яку негативно впливають вантажні поїзди.

Підвищений динамічний вплив вантажного рухомого складу на колію, що приводить до збільшення інтенсивності розладів колії, не можна суміщати із прискоренням та швидкісним рухом пасажирських поїздів. Тому актуальним сьогодні стало питання щодо спеціалізації залізничних напрямків, в основу якої покладено наступні принципи:

- напрямки швидкісного й прискореного пасажирського руху;
- напрямки суміщеного руху пасажирських та вантажних поїздів;
- напрямки інтенсивної провізної спроможності (підвищене осьове навантаження і швидкість вантажних поїздів).

Очевидно, що кожному спеціалізованому напрямку повинні відповідати певні вимоги, норми утримання й конструкція колії. Основним критерієм призначення категорії колії повинно стати динамічне навантаження рухомого складу на колію (фактична швидкість, осьове навантаження). Кожній категорії колії повинна відповідати конструкція колії із пружними характеристиками, що забезпечують сприйняття відповідного динамічного навантаження від рухомого складу на таких ділянках.

Параметри плану й поздовжнього профілю також повинні відповідати категорії напрямку залізниці згідно прийнятої класифікації інфраструктури, а норми утримання колій, міжремонтні норми колійних робіт та норми допустимих швидкостей руху повинні бути прив'язані до категорії колії.

При дослідженні умов доцільності розмежування пасажирських і вантажних перевезень враховувалась класифікація інфраструктури, прийнята Укрзалізницею [77]: суто пасажирський рух, переважно пасажирський рух і

Таблиця 4.20 – Класифікація напрямків за структурою поїздопотоку

Характеристика напрямку		Максимальна швидкість, км/год	Навантаження на вісь, т/вісь	Категорії поїздів	Непогашене прискорення $\alpha_{\text{нп}}$, м/с ²	Графіки розподілу швидкостей руху поїздів
А	Суто пасажирський рух (швидкісний): 1 – денні експреси	$160 < V_{\text{max}} \leq 200$	160-180	$n_{\text{шв}} = 85-90 \%$ $n_{\text{приск}}^{\text{прим}} = 10-15 \%$	$\alpha_{\text{нп}}^{\text{пас}} = \pm 1,0$	
Б	Переважно пасажирський рух (прискорений): 1 – денні експреси; 2 – пасажирські нічні поїзди; 3 – приміські; 4 – збірні	$120 < V_{\text{max}} \leq 160$	160-200	$n_{\text{приск}}^{\text{пас}} = 60-70 \%$ $n_{\text{приск}}^{\text{прим}} = 15-20 \%$ $n_{\text{зб}} = 5-10 \%$	$\alpha_{\text{нп}}^{\text{пас}} = \pm(0,7 \dots 1,0)$	
В	Суміщений рух: 2 – пасажирські нічні поїзди; 3 – приміські; 4 – збірні; 5 – вантажні	$V_{\text{max}} \leq 120$	200-225	$n_{\text{пас}} = 20-30\%$ $n_{\text{вант}} = 60-70\%$ $n_{\text{прим}} = 5-10\%$	$\alpha_{\text{нп}}^{\text{пас}} = \pm 0,7$; $\alpha_{\text{нп}}^{\text{ван}} = \pm 0,3$	
Г	Вантажний рух: 3 – приміські; 4 – збірні; 5а – вантажні повновагові; 5б – вантажні повноскладові	$V_{\text{max}} \leq 100$	225-300	$n_{\text{вант}} = 70-80\%$ $n_{\text{зб}} = 5-10 \%$ $n_{\text{прим}} = 5-10\%$	$\alpha_{\text{нп}}^{\text{ван}} = \pm 0,3$	

змішаний рух, яка була уточнена й деталізована автором дисертації для використання класифікації у подальших розрахунках (див. табл. 1.1-1.2).

Запропонована класифікація була використана у розділі 2 при дослідженні впливу структури поїздопотoku на пропускну спроможність, у розділі 3 при моделюванні потоку поїздів, у розділі 4 при визначенні мінімального радіуса і довжини перехідних кривих, у розділі 5 при виборі показників для оцінки конкурентних варіантів.

4.7 Висновки по четвертому розділу

1. При розмежуванні вантажного й пасажирського руху й спеціалізації напрямків для перевезень змінюються швидкості руху, параметри поїздопотoku, що викликає необхідність в корегуванні параметрів кривих при реконструкції плану лінії. Застосування розробленої методики моделювання поїздопотoku дозволяє з визначеною ймовірністю прогнозувати розрахункове підвищення зовнішньої рейки в кривій, встановлювати раціональну довжину перехідних кривих, визначати мінімально допустимий радіус.

2. Одним з критеріїв при встановленні параметрів плану лінії на напрямках суміщеного руху повинно бути співвідношення швидкостей вантажних і пасажирських поїздів. Скорочення розриву в швидкостях руху вантажних і пасажирських поїздів надає можливість зменшити обсяги робіт з перебудови кривих.

3. Рекомендовані в нормативних документах формули для визначення довжини перехідних кривих ураховують два параметри: максимальну швидкість і розрахункове підвищення зовнішньої рейки. Як показали дослідження, необхідний диференційований підхід, що враховує як параметри існуючих кривих (радіуси, поодинокі чи сполучені), так і параметри поїздопотoku на перспективу.

4. Виконані розрахунки підтвердили, що рекомендації ДБН В.2.3-19-2008 щодо урахування значень радіусів кривих існуючої колії хоча і є не

конкретними, але правомірними. Встановлено, що при перебудові кривих для впровадження швидкісного руху необхідно забезпечувати максимальне значення параметра $C = R \cdot l$ при мінімально допустимому радіусі і максимальних перехідних кривих для отримання мінімальної будівельної вартості і мінімальної дії горизонтальних сил на колію.

5. Встановлено, що перебудову кривих доцільно виконувати перш за все в кривих з невеликими кутами повороту. Так, в кривих з кутом повороту 30 град. вартість перебудови збільшується у 2.3...3.3 рази у порівнянні з кутом повороту 20 град., а в кривих з кутом повороту 40 град. вартість збільшується відповідно у 4...5,9 рази.

6. Аналіз результатів розрахунків показав, що при встановленні довжини перехідної кривої не завжди визначальним є пасажирський рух з максимально допустимими швидкостями. На напрямках суміщеного й вантажного руху в кривих малих радіусів визначальною може стати мінімальна швидкість вантажних поїздів.

7. При реконструкції плану лінії виникає потреба в корегуванні (зміні) параметрів кривих. Застосування методики моделювання поїздопотoku дозволяє з визначеною ймовірністю прогнозувати розрахункове підвищення зовнішньої рейки в кривій і встановлювати параметр $C = R \cdot l$, який визначає максимально допустиму швидкість і витрати на перебудову кривих.

8. При суміщеному русі пасажирських і вантажних поїздів (напрямки В) максимальне розрахункове підвищення залежить від прийнятого значення мінімального радіуса й співвідношення максимальної швидкості пасажирських і мінімальної швидкості вантажних поїздів і, як показали розрахунки, не перевищує 100-120 мм.

9. Рекомендуюмі радіуси встановлюються за умови забезпечення розрахункового підвищення зовнішньої рейки по середньозваженій швидкості поїздопотoku. В цьому випадку, забезпечуються нормальна взаємодія колії й рухомого складу, комфортабельність їзди й однакове силове навантаження на обидві рейкові колії від рухомого складу.

10. Мінімально допустимий радіус слід установлювати диференційовано в залежності від структури поїздопотoku й швидкості руху пасажирських і вантажних поїздів з урахуванням спеціалізації напрямків для перевезень пасажирів і вантажів. За умовами стійкості, міцності колії й комфортабельності їзди співвідношення швидкостей руху вантажних поїздів до пасажирських на напрямках суміщеного руху повинно бути не менше 0,7 - 0,6, у крайніх випадках - 0,5.

РОЗДІЛ 5

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ ЗА РАХУНОК РОЗМЕЖУВАННЯ ПОЇЗДОПОТОКІВ

5.1 Існуючі маршрути руху пасажирських поїздів на мережі залізниць, що досліджується

Однією з основних задач при модернізації міжнародних транспортних коридорів є відділення вантажного руху від пасажирського [1-2, 78-79]. Першим кроком до її вирішення була розроблена в 2007 році Укрзалізницею схема розмежування вантажного та пасажирського руху для підвищення швидкості пасажирських поїздів на окремих ділянках після їх реконструкції. Ідея такого розмежування базується на тому, що на мережі залізниць можна виділити станції, між якими існує декілька паралельних маршрутів курсування поїздів.

5.2. Вибір показників для оцінки конкурентних варіантів

При виборі того чи іншого варіанту слід враховувати їхній технічний стан. Так, наприклад, переключення частини вантажних перевезень на паралельний хід може призвести до необхідності збільшення його пропускної й провізної спроможності. Наприклад, ділянка Коростень-Шепетівка одноколійна з двоколійними вставками, що обмежує її пропускну здатність у порівнянні з іншими – двоколійними.

Для оцінки варіантів були прийняті кількісні, якісні й економічні показники, рис. 5.1



Рисунок 5.1 – Система показників для оцінки варіантів

5.2.1 Пробіг поїздів (в поїздо-кілометрах і в тонно-кілометрах бруто)

Ці показники відображають технічну і вантажну роботу залізниць. Пробіг поїздів в поїздо-кілометрах визначається за формулою

$$NL = N_1L_1 + N_2L_2 + \dots + N_nL_n, \quad (5.1)$$

Пробіг поїзда в тонно-кілометрах є сума добутків маси поїзда бруто на відстань його пробігу

$$QL = Q_1L_1 + Q_2L_2 + \dots + Q_nL_n, \quad (5.2)$$

де $N_1, N_2, \dots, N_n$ - кількість поїздів;

$Q_1, Q_2, \dots, Q_n$ - маса поїздів;

$L_1, L_2, \dots, L_n$ - відповідні відстані пробігу цих поїздів

Для виконання розрахунків за формулами (5.1) і (5.2) були використані обсяги вантажних і пасажирських перевезень за матеріалами Київдипротрансу. Виходячи з існуючих обсягів перевезень по ділянці можна сказати, що північний варіант у теперішній час спеціалізується на перевезеннях вантажів, південний варіант, навпаки, – для перевезень пасажирів.

5.2.2 Швидкість руху (час руху) пасажирських поїздів

Середню швидкість руху пасажирського поїзда без урахування стоянок на проміжних станціях називають технічною швидкістю. Така швидкість визначається за формулою

$$V_{nac}^m = \sum NL_{nac} / \sum NT_{nac} , \quad (5.3)$$

де $\sum NL_{nac}$ - сумарний пробіг пасажирських поїздів, поїздо-км;

$\sum NT_{nac}$ - сумарний час знаходження поїздів на ділянці без урахування стоянок пасажирських поїздів на проміжних станціях, год.

5.2.3 Потреба в енергоресурсах

На залізничному транспорті України діє довгострокова Програма енергозбереження. За даними статистичних звітів [80-81] із загального обсягу паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) найбільші витрати припадають безпосередньо на тягу поїздів.

Для визначення факторів, які впливають на енергетичні витрати, розглянемо рівняння поїзда

$$F_k = m a + W_o + W_i + W_r . \quad (5.4)$$

У виразі (5.4) F_k - сила тяги локомотива; m - маса поїзда; a - прискорення поїзда; W_o – сила основного опору руху; W_i , W_r – сили додаткового опору руху відповідно від ухилів і кривизни колії.

Значення основного і додаткових опорів руху, визначаються для кожного рухомого складу емпірично за даними [57].

При відомій силі тязі, що витрачається на тягу поїздів, механічна робота локомотива на ділянці довжиною L визначається як

$$R_{.m} = \int_l F_k ds , \quad (5.5)$$

де l - частина ділянки L , на якій сила тяги локомотива $F_k > 0$.

До ділянок l відносяться ділянки розгону, а також ділянки, на яких поїзд рухається з постійною швидкістю на підйомах, площадках і спусках, якщо сила додаткового опору руху від ухилу W_i і кривизни колії W_r не перевищує величини основного опору руху, тобто $(W_i + W_r) < W_o$.

Основний опір руху має місце при русі поїзда по прямій і горизонтальній колії, і, в свою чергу, залежить від тертя кочення і ковзання коліс по рейкам, втрат живої сили від ударів і коливань, тобто в кінцевому підсумку – від стану рухомого складу і колії.

Витрати електроенергії на тягу поїзда визначаються за формулою

$$E = \frac{R_m}{\eta}, \text{ або } E = \left(\int_{l_1} W_o ds + \int_{l_2} W_i ds + \int_{l_3} W_r ds + \int_{l_4} mads \right) \frac{1}{\eta}, \quad (5.6)$$

де η - коефіцієнт корисної дії електровоза.

Застосовуючи різні технології енергозбереження, можна зменшити витрати електроенергії на тягу поїздів.

З урахуванням вище наведених положень, знаходилося раціональне розподілення пасажирських і вантажних поїздів на мережі залізниць за механічною роботою „поїздо-ткм”, що рівнозначно витратам паливно-енергетичних ресурсів.

5.3 Розробка математичних моделей раціонального розподілу поїздопотоків

Метою дослідження є розробка математичних моделей раціонального розподілу вантажо- і пасажиро потоків на основі векторної оптимізації з метою забезпечення мінімуму зазначеного в п. 5.2 показника: пробігу (поїздо-км), часу руху (поїздо-год), енергоємності (механічної роботи локомотивів, ткм, чи витрат електроенергії, кВт-год), інших техніко-економічних показників.

Для вирішення задачі оптимального розподілу поїздопотоків між початковим і кінцевим пунктами, мережа залізниць була представлена у вигляді графа $G(V, E)$, де станції – це вершини графа (множина V), а ділянки між ними – ребра графа (множина E). Потік поїздів задається у вигляді матриці P_{ij} , $i, j = \overline{1, n}$, де n – кількість станцій, а P_{ij} – кількість поїздів з пункту i в пункт j [82-87].

Враховуючи те, що від однієї станції до іншої можна потрапити різними шляхами, відповідно до графа між пунктами i й j існує W_{ij} простих шляхів. Кожне ребро $e \in E$ буде характеризуватися трьома параметрами:

$d(e)$ – довжина ребра e ;

$t(e)$ – час руху поїзда по ребру e ;

$m(e)$ – механічна робота при русі поїзда по ребру e .

Позначимо через $X_{i,j,w}$ кількість поїздів, що рухаються із пункту i в пункт j по ω -му простому шляху з переліку W_{ij} .

Тоді

$$P_r = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \sum_{w \in W_{ij}} P(w) X_{i,j,w} \rightarrow \min, \quad (5.7)$$

де $P(w)$ – сумарне значення показника простого шляху w з переліку W_{ij} .

Мінімальне значення P_r визначаємо з урахуванням поїздопотоків, тобто

$$\sum_{w \in W_{ij}} X_{i,j,w} = P_{ij}; \quad i = \overline{1, n-1}; \quad i+1 \leq j \leq n. \quad (5.8)$$

До даних обмежень додається обмеження за пропускною спроможністю кожного ребра:

$$\sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \sum_{w \in W_{ij}} I_w(e) X_{i,j,w} \leq N(e); \quad e \in E, \quad (5.9)$$

де $I_w(e)$ – індикатор ребра e для шляху w ,

$$\begin{cases} I_w(e) = 1, e \in w; \\ I_w(e) = 0, e \notin w, \end{cases} \quad (5.10)$$

$N(e)$ – пропускна спроможність ребра e .

Можна розглядати різні показники оптимізації: поїздо-кілометри (P_1), поїздо-години (P_2), механічну роботу локомотива (P_3). Так, поїздо-кілометри і тонно-кілометри (брутто) відображають технічну і вантажну роботу залізниць, поїздо-години – середню швидкість руху поїздів, а механічна робота локомотива – витрати електроенергії чи дизельного палива.

$$\begin{aligned} P_1 &= \sum_{i,j \in V} \sum_{w \in W_{ij}} d(w) X_{ijw}; \\ P_2 &= \sum_{i,j \in V} \sum_{w \in W_{ij}} t(w) X_{ijw}; \\ P_3 &= \sum_{i,j \in V} \sum_{w \in W_{ij}} m(w) X_{ijw}; \end{aligned} \quad (5.11)$$

де

$$\begin{aligned} d(w) &= \sum_{e \in w} d(e); \\ t(w) &= \sum_{e \in w} t(e); \\ m(w) &= \sum_{e \in w} m(e). \end{aligned} \quad (5.12)$$

Можна вирішувати як задачі лінійного програмування (задачі 1 – 3), так і задачі векторної оптимізації у лінійній постановці (задачі 4 – 7):

Задача 1.

$$P_1 \rightarrow \min \quad P_2 \leq \overline{P_2}; \quad P_3 \leq \overline{P_3};$$

Задача 2.

$$P_2 \rightarrow \min \quad P_1 \leq \overline{P_1}; \quad P_3 \leq \overline{P_3};$$

Задача 3.

$$P_3 \rightarrow \min \quad P_1 \leq \overline{P_1}; \quad P_2 \leq \overline{P_2};$$

Задача 4.

$$\begin{pmatrix} P_1 \\ P_2 \end{pmatrix} \rightarrow \min \quad P_3 \leq \overline{P_3};$$

Задача 5.

$$\begin{pmatrix} P_1 \\ P_3 \end{pmatrix} \rightarrow \min \quad P_2 \leq \overline{P_2};$$

Задача 6.

$$\begin{pmatrix} P_2 \\ P_3 \end{pmatrix} \rightarrow \min \quad P_1 \leq \overline{P_1};$$

Задача 7.

$$\begin{pmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \end{pmatrix} \rightarrow \min ,$$

де $\overline{P_i}$ – максимально допустиме значення i -того показника.

Наприклад, для розв'язання задачі 4 у просторі функціоналів (P_1, P_2) вводимо одиничний вектор u з координатами:

$$\begin{cases} u_1 = \cos \varphi; \\ u_2 = \sin \varphi \end{cases} \quad (5.13)$$

і розглядаємо задачу

$$L = t \rightarrow \min , \quad (5.14)$$

де L – показник раціональності,

за умови

$$\begin{cases} P_1 = u_1 \cdot t; \\ P_2 = u_2 \cdot t; \\ P_3 \leq \overline{P_3}, \end{cases} \quad (5.15)$$

враховуючи зазначені вище обмеження.

Для $\varphi \in [\varphi_1; \varphi_2]$ отримуємо рішення $X_{ijw}(\varphi)$ і значення $P_1(\varphi), P_2(\varphi), P_3(\varphi)$ з кроком $\Delta\varphi$, де φ представляє собою співвідношення механічної роботи до часу руху, φ_1 – відношення мінімального значення механічної роботи до часу ходу, а φ_2 – відношення механічної роботи до мінімального часу руху. Кількість таких варіацій залежить від кроку $\Delta\varphi$.

5.4 Практичне застосування розробленої методики на ділянках міжнародних транспортних коридорів

Укрзалізниця провела 30 серпня 2010 року випробування сучасного рухомого складу на ділянці Київ-Львів, які засвідчили, що реалізація максимальної швидкості 160 км/год на сприятливих ділянках можлива. Для забезпечення стабільного руху зі швидкістю 160 км/год було поставлено завдання щодо дослідження доцільності перерозподілу поїздопотоків і визначення раціональних параметрів кривих з метою збільшення радіуса і підвищення зовнішньої рейки.

Дослідження виконано на мережі залізниць, що зв'язує Львів і Київ. Розглянемо з цих позицій питання організації швидкісного сполучення між Києвом і Львовом (рис. 5.2)

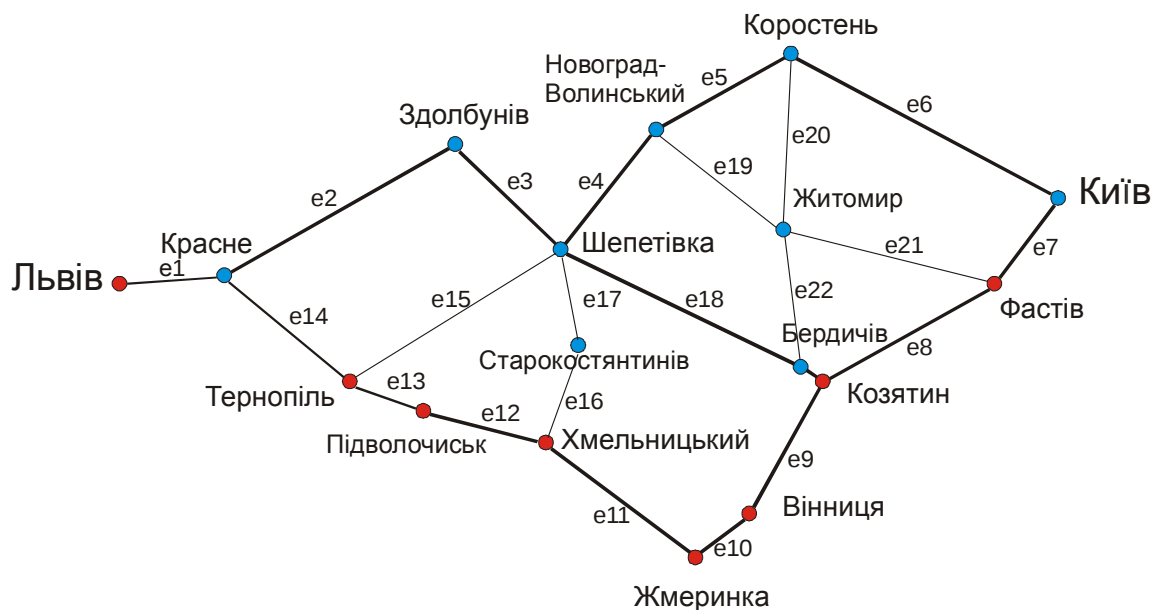


Рисунок 5.2 – Маршрути руху поїздів між Києвом і Львовом:
північний: Київ-Коростень-Шепетівка-Золбунів-Львів; південний: Київ-Жмеринка-Львів; проміжний: Київ-Козятин-Шепетівка-Золбунів-Львів.

В роботі запропоновано диференційований підхід, який враховує структуру поїздопотоків, технічне оснащення залізниць, параметри плану й поздовжнього профілю.

Відповідно до графіку руху поїздів [88] перевезення здійснюються північним ходом Київ-Коростень-Шепетівка-Золбунів-Львів, південним:

Київ-Жмеринка-Львів і проміжним: Київ-Козятин-Шепетівка-Здолбунів-Львів. Наприклад, прискорений поїзд № 169/170 Київ-Львів „Київський експрес” курсує за маршрутом, що відповідає північному ходу з середньою маршрутною швидкістю 88 км/год.

Швидкий поїзд № 7/8 Київ-Чоп „Дукла” рухається з середньою маршрутною швидкістю близько 65 км/год через ст. Жмеринка (південний варіант), а поїзд № 147/148 Київ-Львів за наказом може курсувати за маршрутом Київ-Козятин-Шепетівка-Здолбунів-Львів (середня ходова швидкістю близько 73 км/год).

Північний варіант: Київ-Коростень-Здолбунів-Львів. Від Львова до Шепетівки переважає вантажний рух. Довжина маршруту 565 км.

Прихильником північного варіанту є Південно-Західна залізниця. У якості переваг висувуються такі аргументи:

Північний хід майже на 60 км коротший від південного варіанту

Пасажиरोоборот між Києвом і Львовом складає близько 4 тис. чоловік на добу. Швидкісний поїзд буде цілком завантажуватися від початкової до кінцевої станції і відсутність великих обласних центрів на цьому напрямку не впливає на організацію перевезень, так як немає потреби в проміжних зупинках

Складовою частиною південного варіанту є вантажонапружена ділянка Київ-Козятин, де зараз курсує більше 60 пар поїздів. У північному варіанті ця ділянка не задіяна і додаткового навантаження на неї не очікується.

Південний варіант: Київ-Жмеринка-Львів. Довжина маршруту 622 км. Переважно пасажирський рух. На цьому напрямку багато обласних центрів. Після проведення реконструкції ділянки від Києва до Жмеринки, а потім на Львів, будемо мати половину готового шляху за напрямком від столиці до Одеси.

Проміжний варіант: Київ-Козятин-Шепетівка-Здолбунів-Львів. Довжина маршруту 568 км. Використовується в основному для вантажних перевезень.

На прикладі мережі залізниць, що зв'язує Львів і Київ, було виконано дослідження з визначення раціонального розподілу пасажирських та вантажних поїздів. Для розв'язання задачі відповідно до мережі шляхів (рис. 1) створювалась математична модель у вигляді графа $G(V, E)$ – рис. 5.3, та матриця потоку поїздів (рис. 5.4), яка відображає кількість поїздів, що прямують з початкової до кінцевої станції.

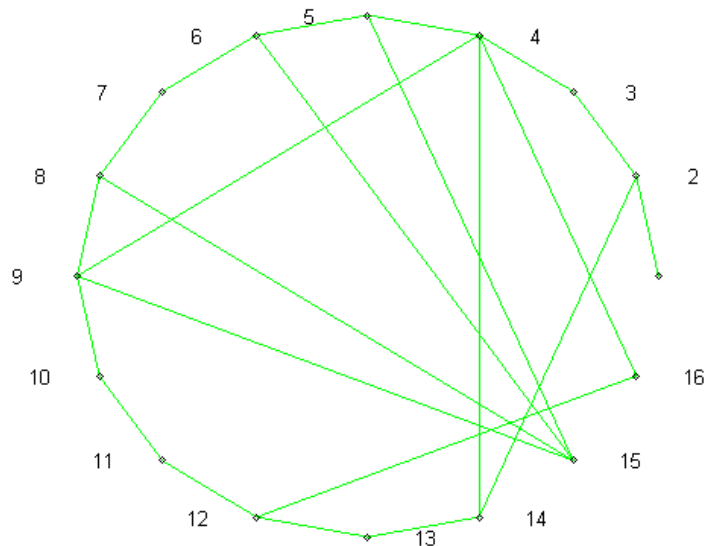


Рисунок 5.3 – Математична модель мережі у вигляді графа $G(V, E)$

$$P_p := \begin{bmatrix} 0 & 0 & 4 & 0 & 0 & 1 & 37 & 0 & 0 & 1 & 11 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 2 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 3 & 0 & 0 & 0 & 6 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 37 & 0 & 2 & 0 & 0 & 3 & 0 & 15 & 0 & 0 & 13 & 9 & 0 & 3 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 15 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 11 & 0 & 1 & 0 & 0 & 6 & 13 & 0 & 0 & 2 & 0 & 2 & 0 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 9 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 3 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Рисунок 5.4 – Матриця потоку поїздів

Далі кожне ребро графа характеризувалось довжиною, часом руху та механічною роботою. При цьому задається обмеження за пропускною

спроможністю ребра в залежності від кількості колій на ділянці та обмеження за довжиною маршруту.

Використання розробленої автором математичної моделі раціонального розподілу поїздопотоків і методики визначення раціональних параметрів плану на напрямках пасажирського, суміщеного й вантажного руху дозволяють вирішувати поставлені Укрзалізницею завдання. Результати розрахунків за різними показниками оптимізації представлені на рис 5.5-5.19.



Рисунок 5.5 – Раціональне розподілення пасажирських поїздів за показником „поїздо-км”



Рисунок 5.6 – Рациональне розподілення пасажирських поїздів за показником „поїздо-час” (туди)



Рисунок 5.7 – Рациональне розподілення пасажирських поїздів за показником „поїздо-час” (назад)

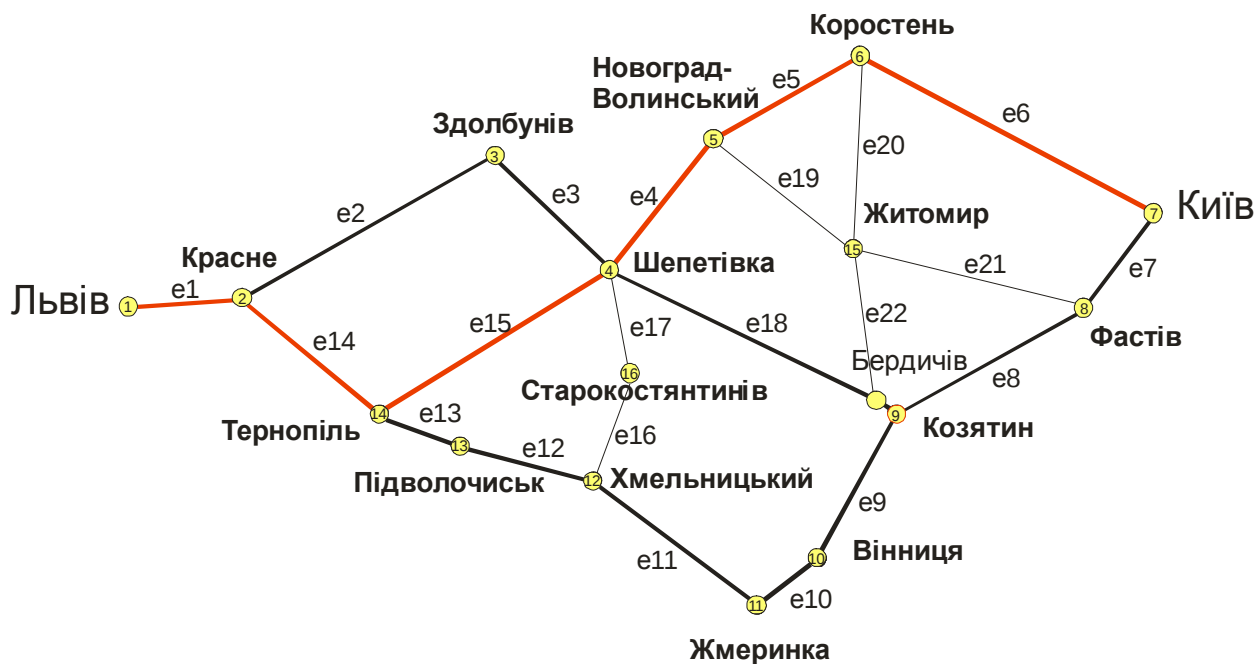


Рисунок 5.8 – Раціональне розподілення пасажирських поїздів за механічною роботою „поїздо-ткм” (туди)



Рисунок 5.9 – Раціональне розподілення пасажирських поїздів за механічною роботою „поїздо-ткм” (назад)

Із врахуванням усіх показників було знайдено рішення за критерієм відношення механічної роботи до часу руху (ϕ) в межах від найменшого часу руху до найменшої механічної роботи.

Нижче наведено варіанти співвідношень механічної роботи та часу руху за різних значень φ з кроком $\Delta\varphi = 0,001$ та $\Delta\varphi = 0,0002$ (рис. 5.10 і 5.11).



Рисунок 5.10 – Варіанти співвідношень механічної роботи і часу ходу для пасажирських поїздів туди при $\Delta\varphi = 0,001$



Рисунок 5.11 – Варіанти співвідношень механічної роботи і часу ходу для вантажних поїздів назад при $\Delta\varphi = 0,0002$

Значення з найменшою механічною роботою та часом руху і є найраціональнішим. Для даного значення φ на рис. 5.12 показано розподіл пасажирських поїздів, які прямують з Києва до Львова. Такі ж розрахунки були виконанні для вантажних поїздів. Код програмної реалізації

математичної моделі раціонального розподілу пасажирських поїздів наведено у додатку Г.

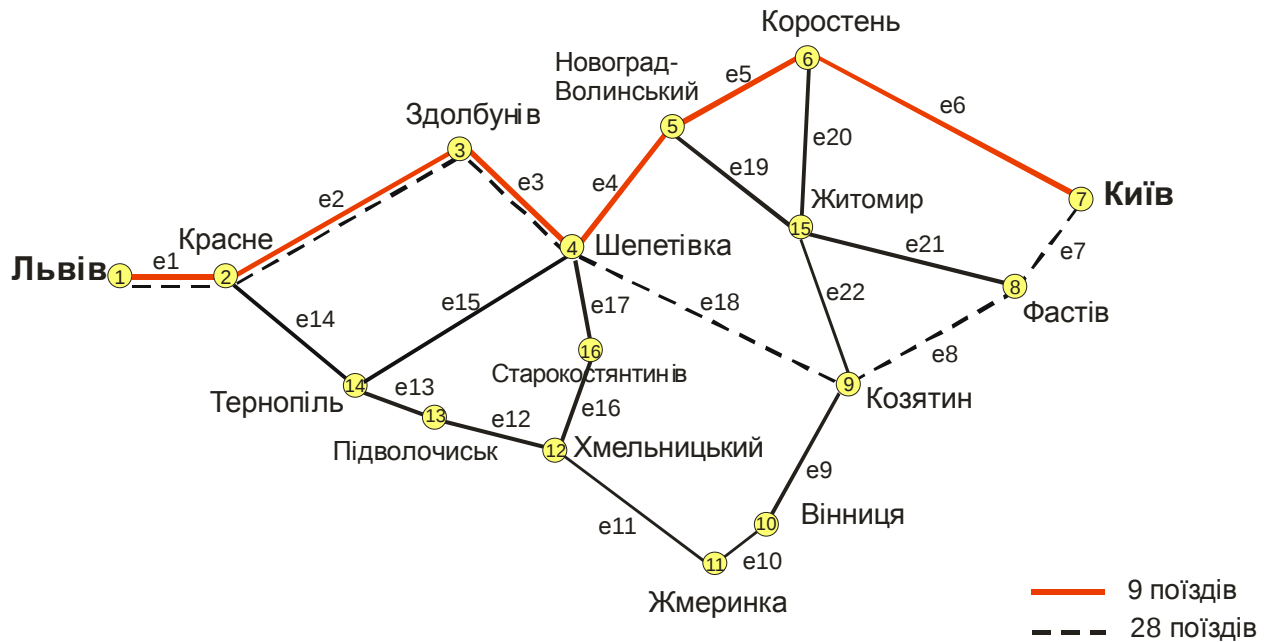


Рисунок 5.12 – Раціональний розподіл 37 пасажирських поїздів, що слідують зі Львова до Києва між паралельними ходами

У червні 2011 року варіант «північного ходу» був прийнятий остаточно для швидкісного руху поїздів.

5.5 Вирішення задачі раціонального розподілу поїздопотоків за показником сумарної робота сил, що діють на колію

Переключення перевезень на паралельні ходи призводить до зміни інтенсивності руху вантажних і пасажирських поїздів, що впливає на напружено-деформований стан колії, а в кінцевому результаті на експлуатаційні витрати, ремонт і утримання колійної інфраструктури.

Для вирішення такої задачі було використано комплексний показник (див. розд. 3), який дозволяє порівнювати різні варіанти дії на колію потоку поїздів протягом встановленого терміну експлуатації.

Визначення роботи непогашених відцентрових сил і підвищень, які були б оптимальними за критерієм мінімуму роботи, передбачені у програмі RWPlan [60]. Розрахунки виконуються наступним чином.

1. За результатами зйомки у програмі RWPlan відтворюється існуючий план.
2. За програмою MoveRW виконуються тягові розрахунки для різних категорій поїздів, що обертаються на ділянці
3. У програмі RWPlan задаються поїздопотоки для існуючого стану, а швидкості руху поїздів в кривих за результатами тягових розрахунків.
4. Для заданого поїздопотоку визначається робота непогашених відцентрових сил для існуючого стану і знаходяться підвищення, які для цього поїздопотоку забезпечать максимально допустимі швидкості і мінімум зносу колії.
5. Для пасажирського руху за спеціальною методикою в програмі RWPlan виконуються розрахунки перевлаштування плану в межах земляного полотна, яка забезпечить максимальні швидкості пасажирських поїздів.
6. На основі результатів тягових розрахунків формуються нові структури поїздопотоків і знаходяться підвищення для проектного плану лінії за умови мінімуму роботи непогашених відцентрових сил і забезпечення встановлених швидкостей руху.

За наведеною технологією були виконані розрахунки на напрямках: Київ-Коростень, Київ-Козятин, Козятин-Шепетівка і Шепетівка-Коростень (табл. 5.1).

Переваги вище описаного підходу полягають в тому, що визначається робота непогашених відцентрових сил $R_{відц}$ (прототип роботи поперечних сил D_{non}) не тільки для існуючого стану параметрів плану залізниці, але й для проектних параметрів кривих, які пропонується встановити після модернізації колії. Тобто визначається раціональне підвищення зовнішньої рейки в кривих для заданого поїздопотоку, при якому буде найменша сумарна робота непогашених відцентрових сил (рис. 5.13 і 5.14).

Таблиця 5.1 – Результати розрахунків дії непогашених відцентрових сил $R_{\text{в}i0}$ на колію

Ділянки	Γ , млн. т	Q , тонн	N , штук	Значення $R_{\text{с}}$, тис. ткм			
				Поїздопотік за $h_{\text{існ}}$		Поїздопотік за $h_{\text{опт}}$	
				парний	непарний	парний	непарний
Київ - Коростень	4,0	4000	1500	18934	19820	11963	12788
Київ-Козятин	51,8	4600	19500	128901	91221	61760	68721
Козятин - Шепетівка	41,7	4600	17888	134535	130087	85941	85337
Шепетівка-Коростень	3,0	3600	1150	7507	7720	4214	4203

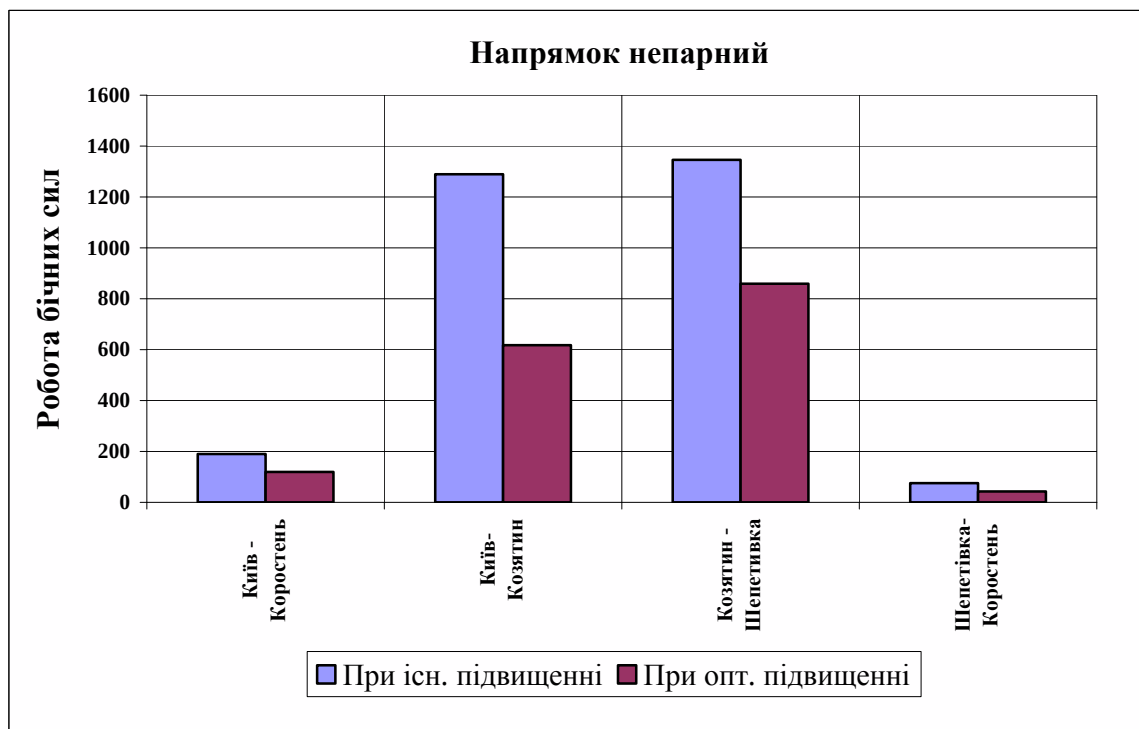


Рисунок 5.13 – Робота непогашених відцентрових сил до і після модернізації (напрямок непарний)

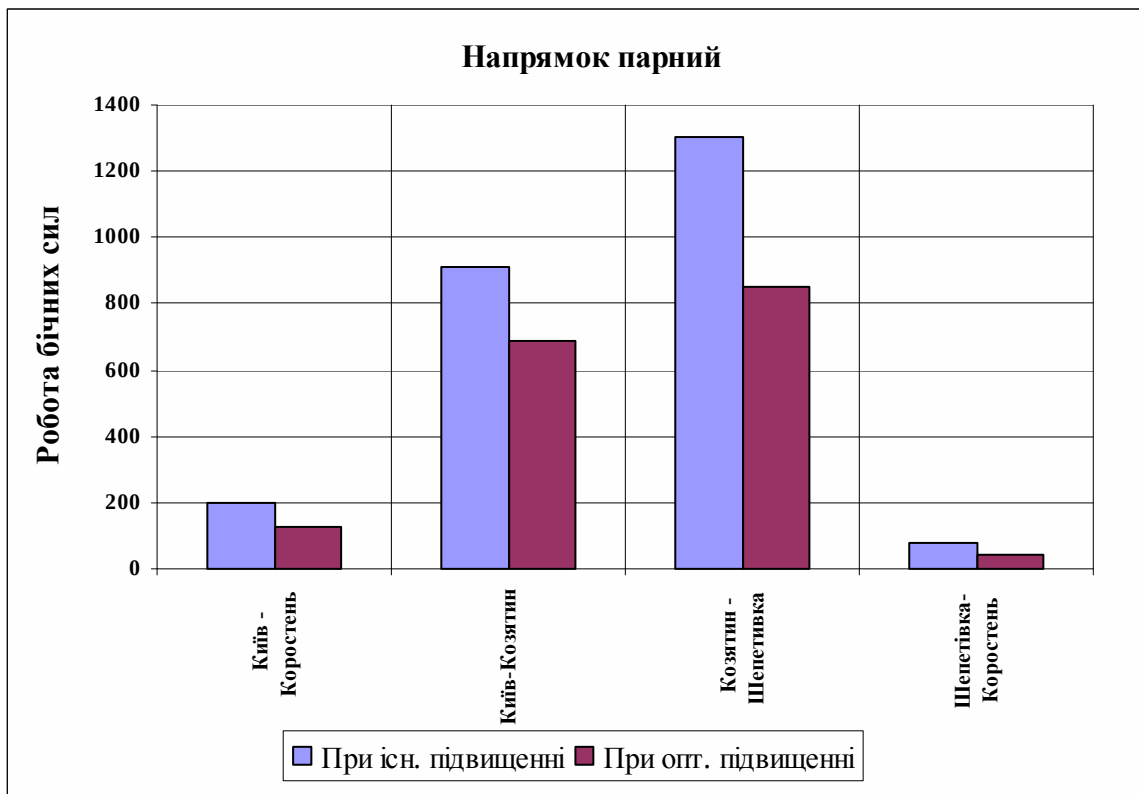


Рисунок 5.14 – Робота непогашених відцентрових сил до і після модернізації (напрямок парний)

Наступним кроком є знаходження раціонального розподілу поїздів між паралельними ходами за критерієм відношення загальної роботи всіх сил, що діють від поїздів на колію, до часу руху кожної категорії поїздів (див. п. 5.4, рис. 5.11).

Нові підходи були використані при виконанні науково-дослідних робіт [89-94].

5.6 Висновки по п'ятому розділу

1. На основі результатів проведеного дослідження запропоновано математичну модель раціонального розподілу поїздопотоків, застосування якої дозволяє обґрунтовано обирати найбільш придатний варіант як за одним, так і за декількома критеріями одночасно. Раціональний розподіл дає змогу вирішувати поставлені Укрзалізницею завдання, скоротивши час руху поїздів і зменшивши при цьому витрати на пробіг поїздів, ремонт і утримання залізничної колії.

2. Запропоновано способи зменшення дії непогашених відцентрових сил в кривих ділянках колії. Розрахунки показали, що влаштування підвищення зовнішньої рейки в кривих за умови мінімуму роботи непогашених відцентрових сил (навіть без розмежування потоків) дозволяє для ділянок, що розглядалися, зменшити цю роботу на 10-15 %.

3. Запропоновано способи зменшення дії роботи поздовжніх сил за рахунок встановлення раціональної швидкості руху поїздів та зменшення роботи вертикальних сил за рахунок відокремлення вантажного руху від пасажирського, що дозволяє на 12-21 % скоротити витрати на ремонт колії та рухомого складу .

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі на основі виконаних теоретичних та експериментальних досліджень вирішена важлива науково-технічна задача визначення умов раціональної роботи залізничної колії на спеціалізованих напрямках пасажирського, суміщеного й вантажного руху, що буде сприяти реалізації державних перспективних програм з впровадження швидкісного руху поїздів, підвищення пропускної й провізної спроможності залізниць.

Отримані результати в сукупності мають суттєве значення для залізничного транспорту. Основні наукові результати, висновки і практичні рекомендації полягають у такому:

1. Аналіз технічного оснащення та параметрів траси основних напрямків міжнародних транспортних коридорів, які проходять територією України, показав, що без розмежування вантажного й пасажирського руху й перебудови плану лінії дотриматись європейських вимог, насамперед щодо максимальної швидкості руху, неможливо. Результати аналізу підтверджують актуальність роботи.

2. Розроблено математичну модель сумісного формування раціональної схеми етапного оволодіння перевезеннями для паралельних залізничних ліній, яка відрізняється від відомих моделей тим, що дає можливість урахувати специфіку кожного з паралельних напрямів (пасажирський, вантажний, суміщений рух). Вказані дослідження дають змогу отримувати розв'язки задачі при мінімальних експлуатаційних витратах і раціональних капітальних вкладеннях, у тому числі на перебудову залізниці для підвищення швидкості пасажирських поїздів.

3. На основі запропонованого показника роботи сил взаємодії колії і рухомого складу і моделі його розрахунку стало можливим оцінювати знос колійної інфраструктури від потоку поїздів за тривалий час експлуатації залізниці. Метод раціонального розподілу поїздопотоків між паралельними ходами, що враховує запропонований показник, дає змогу науково

обґрунтовувати ефективність розмежування вантажного і пасажирського руху, зменшивши при цьому на 12-21 % витрати на реконструкцію, пробіг поїздів і утримання колії.

4. Доведено, що при переключенні руху вантажних і пасажирських поїздів на паралельні напрямки можна отримувати додатковий прибуток за рахунок зменшення розладу колії. Так, на ділянках, на яких запропоновано перейти на оборот винятково пасажирських поїздів, прогнозується збільшення міжремонтних строків у 2-2,5 разу.

5. Удосконалено модель ймовірнісного моделювання поїздопотоків, яка відрізняється від існуючих тим, що дозволяє враховувати планове підвищення швидкостей руху поїздів і із заданою ймовірністю прогнозувати основні параметри кривих. За допомогою моделі досліджено вплив співвідношення швидкостей руху і маси поїздів на величину раціональних параметрів плану лінії. Доведено, що при коефіцієнті співвідношення швидкостей руху вантажних поїздів до пасажирських 0,6–0,7 на 15–21 % зменшуються обсяги робіт з перебудови кривих.

6. Встановлено, що величина мінімально допустимого радіуса $R_{\min}$ залежить при заданій структурі поїздів від спеціалізації напрямків і ухилу елемента профілю, на якому розташована крива. Величина $R_{\min}$ на підйомах на 19–23 % більша ніж на спусках через різницю між середньозваженою швидкістю потоку і максимальною ходовою швидкістю поїздів. Збільшення підвищення зовнішньої рейки в кривій h на 10 мм призводить до зменшення границі мінімально допустимого радіуса $R_{\min}$ в середньому на 4 %. Збільшення непогашеного прискорення $[\alpha_{\text{нп}}]$ від 0,7 до 1,0 м/с² призводить до зменшення границі мінімально допустимого радіуса $R_{\min}$ в середньому на 6 % на кожну 0,1 м/с² прискорення. Тобто, застосування $[\alpha_{\text{нп}}] = 1,0$ м/с² замість 0,7 м/с² зменшує величину потрібного мінімального радіуса на 14–19 % залежно від підвищення зовнішньої рейки в кривих.

7. Встановлено, що при перебудові кривих для впровадження швидкісного руху мінімальна дія горизонтальних сил на колію і мінімальна будівельна вартість забезпечуються при максимальному значенні параметра c . У кривих з більшим кутом повороту вартість перебудови кривих зростає: у кривих з кутом повороту 30° збільшується у 2,3...3,3 разу порівняно з кутом повороту 20° , а в кривих з кутом повороту 40° – збільшується відповідно у 4...5,9 разу.

8. Уточнена й деталізована класифікація напрямків залізниць за категоріями поїздів і структурою поїздопотoku. Запропоновано чотири види напрямків: суто пасажирський, переважно пасажирський, суміщений, вантажний рух і відповідно до класифікації графіки розподілу швидкостей руху поїздів різних категорій та критерії безпеки, плавності й комфортабельності їзди.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Транспортній стратегії України на період до 2020 року (схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 21.12.2010 № 2818-VI) – К.,2010. – 32 с.
2. Концепція державної цільової програми впровадження на залізницях швидкісного руху пасажирських поїздів на 2005-2015 роки . – К., 2004. – 43 с.
3. Курган М. Б. Формування раціональної схеми оволодіння перевезеннями при впровадженні швидкісного руху поїздів на одній з паралельних залізничних ліній / М. Б. Курган, М. А. Заяц // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізничн. тр-ту ім. акад. В.Лазаряна. – 2006. – Вип. 12. – С. 41-46.
4. Курган М. Б. Визначення мінімального радіуса кривих в плані з урахуванням розподілу перевезень / М. Б. Курган, М. А. Заяц // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізничн. тр-ту. ім. акад. В. Лазаряна. – 2007 – Вип. 17. –С. 93-99.
5. Курган Д. М. Визначення раціонального розподілу поїздопотоків на мережі залізниць / Д. М. Курган, М. А. Заяц // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізничн. тр-ту. ім. акад. В. Лазаряна. – 2010 – Вип. 34. – С. 88-93.
6. Курган М. Б. Визначення ефективності розмежування напрямків пасажирського та вантажного руху за критерієм витрат на утримання та ремонт верхньої будови колії / М. Б. Курган, М. А. Заяц // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізничн. тр-ту. ім. акад. В. Лазаряна. – 2010 – Вип. 35. – С. 92-98.
7. Курган М.Б. Перебудова кривих для впровадження швидкісного руху пасажирських поїздів / М. Б. Курган, М. А. Гусак, Н. П. Хмелевська // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізничн. тр-ту. ім. акад. В. Лазаряна. – 2012 – Вип. 40. –С.84–91.
8. Беленький Н. П. Технико-экономическое обоснование направлений с высокими скоростями движения поездов и полигонов с унифицированной

- длиной станционных путей / Н. П. Беленький // Передовой опыт в области изысканий и проектирования на железных дорогах: Информационное сообщение для дорпроектів №7/ ЦНИИТЭИ МПС. – М., 1964. – С. 4-18.
9. Кірта Г. М. Інтеграція залізничного транспорту України у європейську транспортну систему : Монографія. / Г. М. Кірта. – Дніпропетровськ: Арт-Пресс, 2003. – 364 с.
10. Киселев И. П. Высокоскоростные железные дороги / И. П. Киселев, Е. А. Сотников, В. С. Суходоев – СПб.: Петерб. гос. ун-т путей сообщения, 2001. – 60 с.
11. Альбрехт В. Г. Некоторые результаты экспериментальных исследований при движении вагонов на тележках ЦНИИ-ХЗ и ЦМВ / В. Г. Альбрехт, Р. И. Корн, И. А. Котюков .// Вестн. Всесоюз. науч.-исслед. ин-та ж.-д. трансп. – 1967, – №4. – С. 16-18.
12. Ангелейко В. И. К вопросу о нормах допускаемых скоростей движения поездов в условиях стесненного плана железнодорожного пути / В. И. Ангелейко, В. Я. Карасик // Тр. Харьковского ин-та инженеров ж.-д. трансп. – Харьков, 1965. – Вып.71. – С. 3-14.
13. Босов А. А. Проектирование рациональной выправки кривых железнодорожного пути / А. А. Босов, В. В. Рыбкин, В. В. Лагута // Математичне моделювання в інженерних та фінансово-економічних задачах: Зб. наук. пр. – Дніпропетровськ: Січ, 1998. – С. 82-87.
14. Вериги М. Ф., Коган А. Я. Взаимодействие пути и подвижного состава / М. Ф. Вериги, А. Я. Коган – М.: Транспорт, 1986. - 560 с.
15. Глюзберг Б.Э. Методы оптимизации основных элементов стрелочных переводов и их приложение к крестовинным узлам массовых конструкций : Автореф. дис. д-ра. техн. наук: 05.22.06 / Б. Э. Глюзберг. – Всерос. науч. иссл. ин-т жел. дор. тр-та. – М., 1990. – 34с.
16. Даніленко Е. І. Правила розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість / Е.І. Даніленко, В.В. Рибкін. – К.: Транспорт України, 2006. – с.168.

17. Управление техническим состоянием пути / Под ред. Н. И. Карпущенко. – Новосибирск: НИИЖТ, 1995. – 205 с.
18. Курган М.Б. Наукові основи перебудови існуючих залізниць України для впровадження швидкісного руху поїздів : Дис. д-ра техн. наук: 05.22.06 / М. Б. Курган. – ДНУЗТ: Дніпропетровськ, 2004. – 517 с.
19. Певзнер В.О. Устройство пути в кривых: возвышение и отводы /В. О. Певзнер // Путь и путевое хозяйство, 2001, № 11, с. 10 – 13
20. Шахунянц Г. М. Устройство железнодорожного пути / Г. М. Шахунянц – М.: Трансжелдориздат, 1944. – Т. 3. – 484 с.
21. Сокол Э. Н. Сходы с рельсов и столкновения подвижного состава. (Судебная экспертиза. Элементы теории и практики) : Монография / Э. Н. Сокол –К.: Транспорт України, 2002. – 364 с.
22. Евграфов В. И. К вопросу введения скоростного движения поездов на существующих магистралях: : Автореф. дис. канд. техн наук: № 430 / В. И. Евграфов. – Днепроп. ин-т инж. ж.-д. трансп.: Днепропетровск, 1968. – 24 с.
23. Бойко В. Обчислювальний метод задачі реконструкції напрямку залізничної колії для підвищення швидкостей руху поїздів / В. Бойко, М. Карпов, Г. Талавіра// Зб. наук. пр. Київського ін-ту залізн. трансп. –К., – 1998. – Т. 1, вип. 2. – С. 112-116.
24. Корженевич И. П. Определение плавности и комфортабельности езды в кривых на участках скоростного движения / И. П. Корженевич, Н. Б. Курган, Д. Н. Курган // Материалы науч.-техн. конф., посвященной 125-летию Свердловской железной дороги «Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта»: Сб. науч. тр. – Екатеринбург: Изд-во УрГУПС. – 2003. – Т. 1. – С. 431- 439.
25. Курган Д. Н. Определение допускаемой скорости движения в кривой реального очертания / Д. Н. Курган // Транспорт / Сб. науч. тр. Вып. 8. Днепропетровск. 2001. С. 119-123.

26. Baluch H. Optimierung von Gleisverziehungen im Gleisbogenbereich. / H. Baluch // Eisenbahningenieur. – 1984. – №2 (35). – S. 64-68.
27. Мацубара К. Методы укладки и выправки пути на прямых и кривых участках и обеспечение безопасности движения поездов с высокими скоростями (120 км/ч и более) // Ежемесячный Бюл. Международной ассоциации железнодорожных конгрессов. – 1961. – №12. – С. 1-64.
28. Тиль А. Методы укладки и выправки пути на прямых и кривых участках пути и обеспечение безопасности движения поездов с высокими скоростями (120 км/ч и более) // Ежемесячный Бюл. Международной ассоциации железнодорожных конгрессов. – 1962, – №5. – С. 14-74.
29. Сопряжения кривых и особенности движения подвижного состава по ним / Под ред. д-ра техн. наук О. П. Ершкова – М.: Транспорт, 1973. – 96 с. – (Тр. ЦНИИ МПС; Вып. 500).
30. Певзнер В. О. Выбор рациональных скоростей движения / В. О. Певзнер // Железнодорожный транспорт. – 2000. – №3. – С. 47-53.
31. Кочнев Ф. П. Повышение скоростей движения пассажирских поездов / Ф. П. Кочнев. – М.: Транспорт, 1970. – 272 с.
32. Черномордик Г. И. Сферы применения скоростного пассажирского движения на железных дорогах СССР / Г. И. Черномордик, К. В. Паршикова. – М.: Транспорт, 1970. – 57 с.
33. Гавриленков А. В. Оптимальная стратегия повышения скорости движения поездов / А. В. Гавриленков, Г. Г. Иванов, Е. А. Макушкина // Межвуз. сб. науч. тр. / МИИТ. – 1986. – Вып. 771. – С. 9–12.
34. Гибшман А. Е. Учет неопределенности информации по расчетному грузообороту при проектировании линий / А. Е. Гибшман // Транспортное строительство. – 1979. – № 12. – С. 39–41.
35. Железнодорожный путь и подвижной состав для высоких скоростей движения / под ред. М. А. Чернышова. – М.: Транспорт, 1964. – 272 с.
36. Фришман М. А. Как работает путь под поездами / М. А. Фришман. – М.: Транспорт, 1983. – 168 с.

- 37.Блохин Е. П. Динамика поезда / Е. П. Блохин, Л. А. Манашкин – М.: Транспорт, 1982. – 222 с.
- 38.Динамика вагона / Под ред. С. В. Вершинского. – М., Транспорт, 1978. – 352 с.
- 39.Данович В. Д. Пространственные колебания вагона на инерционном основании : Дис. д-ра техн. наук: 05.05.01 / В. Д. Данович. – ДИИТ. – Днепропетровск, 1982. – 465 с.
- 40.Лазарян В. А. Динамика транспортных средств : Избр. тр / В. А. Лазарян. – К.: Наук. думка, 1985. – 528 с.
- 41.Радченко Н. А. Криволинейное движение рельсовых транспортных средств / Н. А. Радченко. – К.: Наук. думка, 1988. – 216 с.
- 42.Математическое моделирование колебаний рельсовых транспортных средств : под ред. В.Ф. Ушкалова. – К.: Наук. думка, 1989. – 240 с.
- 43.Оценка достоверности основных параметров железнодорожных кривых при установлении по ним допускаемой скорости движения поездов / И. П. Корженевич та ін. – (Будівництво) // Зб. наук. пр. ДПТУ. – Дніпропетровськ, 2002. – Вип.10. – С. 28-34.
- 44.Будівництво та реконструкція залізничної мережі України для збільшення пропускної спроможності та запровадження швидкісного руху поїздів / за ред. М. Д. Костюк. – К.: ІЕЗ ім. Є.О. Патона, 2010. – 216с.
- 45.Кондратченко А. П. Выбор экономически рациональных схем этапного усиления провозной способности железных дорог с применением ЭЦВМ / А. П. Кондратченко, В. Н. Тимофеев // Тр. МИИТа. – 1964. – Вып. 181. – С. 21–42.
- 46.Коссов В.В. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов / В. В. Коссов, В. Н. Лившиц, А. Г. Шахназаров – М.: ОАО НПО « Изд-во Экономика», 2000. – 421 с.
- 47.Методические указания по сравнению вариантов проектных решений железнодорожных линий, станций и узлов – М.: Оргтрансстрой, 1988. – 468 с.

48. Положення про проведення планово-запобіжних ремонтно-колійних робіт на залізницях України. ЦП-0113 : Затв.: Наказ Укрзалізниці від 10.08.2004 р. № 630-ЦЗ / – К., 2004. – 32 с.
49. Проведення досліджень та розробка технічно обґрунтованих норм періодичності ремонтів та модернізації колії : Звіт про НДР / Дніпропетр. нац. ун-тет залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна; № ДР 0102U005874. – Дніпропетровськ, 2009. – 40 с.
50. Баль О. М. Підвищення ефективності ведення рейкового господарства за показниками надійності : Дис. канд. техн. наук.: 05.22.06 / Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна – Дніпропетровськ, 2007. – 236 с.
51. Харлан В. І. Вибір раціональних швидкостей руху пасажирських поїздів на ділянках міжнародних транспортних коридорів: Дис. канд. техн. наук.: 05.22.06 / Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна – Дніпропетровськ, 2010. – 236 с.
52. Аналіз роботи залізниць України з позиції впливу інтенсивності перевезень на знос інфраструктури / М. Б. Курган та ін. // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2007. – Вип. 19. – С. 265-270
53. Вплив підвищення швидкості руху поїздів на витрати енергоресурсів / І. П. Корженевич та ін. // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2008. – Вип. 20. – С. 233-239
54. Корженевич І.П. Вплив підвищення швидкості руху поїздів на витрати пов'язані із зносом колійної інфраструктури / І. П. Корженевич, М. Б. Курган, Ю С. Бараш // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2008. – Вип. 21. – С. 285-292.
55. Расчеты и испытания тяжеловесных тоевдов / под ред. Е. П. Блохина. – М.: Транспорт, 1986. – 263 с.
56. Правила тяговых расчетов для поездной работы – М.: Транспорт, 1985, – 287 с.

- 57.Тяговые расчеты: справочник / под ред. П. Т. Гребенюка. – М.: Транспорт, 1987. – 272 с.
- 58.Проведення досліджень та розробка методики економічної оцінки впливу інтенсивності вантажного та пасажирського руху на знос інфраструктури залізничного транспорту” Звіт про НДР Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, договір № 61/07-Цтех-756/07-ЦЮ від 17.05.2007 р., номер № 0107U010379 – Дніпропетровськ, – 2007.
- 59.Курган Д. М. Вплив стану залізничної ділянки і структури поїздопотоків на життєвий цикл колії / Д. М. Курган, І. О. Бондаренко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2007. – Вип.19. – С. 78-83.
- 60.Интеллектуальные рельсовые системы. [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://brailsys.com/>
- 61.Высокоскоростное пассажирское движение (на железных дорогах) / под ред. Н. В. Колодяжного. – М.: Транспорт, 1976. – 415 с.
- 62.Твердомед В. М. Вплив поперечних та поздовжніх горизонтальних сил на роботу без підкладкової та підкладкової конструкції рейкової колії : автореф. дис. канд. техн. наук.: 05.22.06 / В. М. Твердомед. – Державний економіко-технол. ун-т. трансп. – К, 2010. – 21 с.
- 63.Ершков О.П. Исследование жесткости железнодорожного пути и ее влияние на работу рельсов в кривых участках / О. П. Ершков – Труды ВНИИЖТа. – 1963. Вып. 264. – 152с.
- 64.Каменский В.Б. Содержание железнодорожного пути в кривых. / В. Б. Каменский Э. Я. Шац. – М.: Транспорт, 1987. – 189 с.
- 65.Правила визначення підвищення зовнішньої рейки і встановлення допустимих швидкостей в кривих ділянках колії. ЦП-0236 : Затв.: Наказ Укрзалізниці 14.12.2010 р. № 778-Ц. – К., 2011. – 52 с.
- 66.Першин С. П. Силовое воздействие поездов на путь и безопасность движения / С. П. Першин // Ж.-д. транспорт. Сер. Путь и путевое хозяйство: ЭИ / ЦНИИТЭИ МПС. – М. – 1997. – Вып. 4. – С. 1-41.

- 67.Определение возвышения наружных рельсов в кривых по фактическим скоростям движения поездов / А. Н. Орловский та ін // Залізничний транспорт України. – 1999. – №4. – С. 10-12.
- 68.Установление допускаемой скорости движения в кривых при обеспечении оптимальных условий работы пути : Сб. научн. тр. «Скорости движения поездов в кривых» / под ред. О.П. Ершкова. – М.: Транспорт, 1988. – С. 5-15.
- 69.Об установлении возвышения наружного рельса в кривых : Указание МПС РФ от 17.03.1997 № С-333у. – М., 1997. – 15 с.
- 70.Блохин Е.П. Установление износа рельса и колес экипажей по металлической стружке / Е. П. Блохин, А. П. Трякин. Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта / – Д., – 2000. - с. 14-15.
- 71.Моделирование поездопотока для расчета возвышения наружного рельса в кривых / Г. Н. Кирпа та ін. // Metody obliczeniowe i badawcze w rozwoju pojazdow samochodowych i maszyn roboczych samojedznych. Materiały 11 konf. miedzynarodowej. – Rzeszow: Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Lukasiewicza, 2000. – S. 165-176.
- 72.Норми допустимих швидкостей руху рухомого складу по залізничних коліях державної адміністрації залізничного транспорту України шириною 1520 (1524) мм” : Затв.: Наказ №72-Ц від 21.03.2003 р.
- 73.Технические нормативы и диагностика железнодорожного пути для скоростного и высокоскоростного движения / Протокол совещания экспертов Комиссии ОСЖД по инфраструктуре и подвижному составу. Балатонбоглар, Венгерская Республика, 07– 09 июня 2006 г.
- 74.Державні будівельні норми України. Споруди транспорту. Залізничні колії 1520 мм. Норми проектування. ДБН В.2.3-019-2008 – К.: Мінрегіонбуд, 2008. – 123 с.

- 75.Першин С. П. Силовое воздействие поездов на путь и безопасность движения / С. П. Першин // Ж.-д. транспорт. Сер. Путь и путевое хозяйство: ЭИ / ЦНИИТЭИ МПС. – М. – 1997. – Вып. 4. – С. 1-41.
- 76.Данович В. Д. Математическая модель взаимодействия пути и пассажирского вагона при движении по участкам произвольной кривизны / В. Д. Данович, А. Г. Рейдемейстер, Н. В. Халипова // Транспорт: Сб. научн. тр. ДИИТа. – Д., 2001. – Вып. 8. – С. 124–138.
- 77.Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України (ЦП-0269) / Е.І. Даниленко, А.М. Орловський, М.Б. Курган, В.О. Яковлев та ін. – К.: ТОВ «НВП Поліграфсервіс», 2012. – 456 с.
- 78.Кірта Г. М. Інтеграція залізничного транспорту України у європейську транспортну систему : монографія. – 2-е вид., перероб. і доп. / Г. М. Кірта. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2004.– 248 с.
- 79.Підсумки роботи транспортно-дорожнього комплексу та галузі зв'язку у 2007 році / засідання колегії Міністерства транспорту та зв'язку 26.02.2008. – К., 2008.
- 80.Аналіз використання паливно-енергетичних ресурсів та роботи по енергозбереженню на залізничному транспорті України за 2006 рік – К., 2006. – 79 с.
- 81.Аналіз використання паливно-енергетичних ресурсів та роботи по енергозбереженню на залізничному транспорті України за 2007 рік – К., 2006. – 76 с.
- 82.Босов А. А. Підвищення ефективності роботи транспортної системи на основі структурного аналізу : монографія / А. А. Босов, Н. А. Мухіна, Б. П. Піх. – Д., 2005. – 199 с.
- 83.Босов А.А. Целочисленная векторная оптимизация в задаче определения рациональной композиции пассажирских поездов / А.А. Босов, Г.Н. Кадола // Вісник Дніпропетровського національного університету

- залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2008 – № 21. - С. 223-227.
84. Босов А.А. Визначення раціональних маршрутів руху поїздів на мережі доріг / А.А. Босов, Ю.В. Чиби́сов // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2010 – № 34. - С. 180-188.
85. Чиби́сов Ю. В. Визначення раціональних маршрутів руху поїздів на мережі доріг / Ю В. Чиби́сов // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2010. – Вип. 34. – С. 180-188.
86. Кадола Г. Н. Вариант метода распределения затрат железной дороги между пассажирскими и грузовыми перевозками / Г. Н. Кадола // Залізничний транспорт України. – 2007. – №5. – С.50-58.
87. Кадола Г. Н. Векторная оптимизация по двум показателям / Г. Н. Кадола, Л. Н. Савченко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2007. – Вип. 17. – С. 21.
88. Службовий розклад руху пасажирських поїздів 2008-2009 рр. . – К.: ТОВ «Інпрес», 2008. – 1009 с.
89. Розробка рекомендацій щодо підвищення пропускної й провізної спроможності напрямку Лозова–Севастополь: Звіт про НДР / Дніпропетр. нац. ун-тет залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, № ДР 0107U003009 – Дніпропетровськ, 2006. – 45 с.
90. Проведення досліджень та розробка методики економічної оцінки впливу інтенсивності вантажного та пасажирського руху на знос інфраструктури залізничного транспорту: Звіт про НДР / Дніпропетр. нац. ун-тет залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, № ДР 0107U010379 – Дніпропетровськ, 2007. – 47 с.
91. Визначення швидкості руху поїздів в кривих ділянках колії на напрямку Красне–Тернопіль–Підволочиськ: Звіт про НДР / Дніпропетр. нац. ун-тет залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, № ДР 0109U002991 – Дніпропетровськ, 2008. – 54 с.

92. Аналіз вагонопотоків та розробка рекомендацій до нормативу з уніфікації маси та довжини поїздів на основних напрямках залізниць України: Звіт про НДР / Дніпропетр. нац. ун-тет залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, № ДР 0108U010673 – Дніпропетровськ, 2008. – 63 с.
93. Визначення проектних параметрів плану ділянки залізниці Львів–Красне–Зборів з мінімальними витратами на перебудову кривих для організації швидкісного руху: Звіт про НДР / Дніпропетр. нац. ун-тет залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна; № ДР 0110U007507 – Дніпропетровськ, 2010. – 70 с.
94. Проведення досліджень та оцінка економічної ефективності усунення обмеження швидкості за параметрами і станом залізничної колії: Звіт про НДР / Дніпропетр. нац. ун-тет залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна; № ДР 0110U008909 – Дніпропетровськ, 2011. – 56 с.

ДОДАТОК А

Таблиця А.1 – Розрахунок сумарних приведених витрат до переключення вантажопотоку на паралельний хід

Роки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Коеф. дисконтування	0,9	0,826	0,751	0,683	0,621	0,564	0,513	0,467	0,424	0,386	0,350	0,319	0,290	0,263	0,239	0,218	0,198	0,180	0,164	0,149
Вантажонапруженість, млн т	55	57	59	62	64	67	70	72	75	78	81	85	88	92	95	99	103	107	111	116
Пропущений тонаж, млн т	55	112	172	234	298	365	434	507	582	660	742	826	914	1006	1101	1200	1303	1410	1522	1638
Витрати на модернізацію, тис грн	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3000	0	0	0	0	0	0	0	3000
Витрати на КОР, тис грн	0	0	50	0	0	0	0	0	50	0	0	0	0	50	0	0	0	50	0	0
Витрати на СР, тис грн	0	0	0	0	0	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	200	0	0	0	0
Щорічні експлуатаційні витрати, тис грн	24,10	24,40	24,70	25,30	26,03	26,08	26,12	26,50	26,60	27,51	27,56	27,80	28,92	28,98	30,29	30,60	31,60	31,74	32,10	32,30
Витрати на "вікна", тис грн	0,00	0,00	4,20	0,00	0,00	7,18	0,00	0,00	4,20	0,00	0,00	10,86	0,00	4,20	0,00	7,18	0,00	4,20	0,00	10,86
Сумарні щорічні витрати, тис грн	24,10	24,40	78,90	25,30	26,03	233,26	26,12	26,50	80,80	27,51	27,56	3038,6 6	28,92	83,18	30,29	237,78	31,60	85,94	32,10	3043,1 6
Приведені витрати, тис грн	21,91	20,15	59,26	17,28	16,17	131,56	13,40	12,38	34,26	10,62	9,65	969,33	8,39	21,88	7,24	51,84	6,26	15,47	5,26	453,43
Сумарні приведені витрати, тис грн	21,91	42,06	101,32	118,60	134,76	266,32	279,72	292,09	326,35	336,97	346,62	1315,9 5	1324,3 4	1346,2 2	1353,4 6	1405,3 0	1411,5 5	1427,0 2	1432,2 9	1885,7 2

Таблиця А.2 – Розрахунок сумарних приведених витрат після переключення вантажопотоку на паралельний хід

Роки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Коеф. дисконтування	0,9	0,826	0,751	0,683	0,621	0,564	0,513	0,467	0,424	0,386	0,350	0,319	0,290	0,263	0,239	0,218	0,198	0,180	0,164	0,149
Вантажонапруженість, млн т	27	28	29	30	32	33	34	36	37	38	40	42	43	45	47	49	51	53	55	57
Пропущений тонаж, млн т	27	55	84	115	146	179	213	249	286	324	364	406	449	494	541	589	640	692	747	804
Витрати на модернізацію, тис грн	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3000
Витрати на КОР, тис грн	0	0	0	50	0	0	0	0	0	50	0	0	0	0	0	0	50	0	0	0
Витрати на СР, тис грн	0	0	0	0	0	0	200	0	0	0	0	0	0	300	0	0	0	0	0	0
Щорічні експлуатаційні витрати, тис грн	31,33	31,72	32,11	32,89	33,84	33,90	33,96	34,45	34,58	35,77	35,83	36,14	37,60	37,68	39,38	39,78	41,08	41,26	41,73	41,99
Витрати на "вікна", тис грн	0	0	0	5,46	0	0	9,33	0	5,46	5,46	0	0	13,00	0	0	5,46	0	9,33	0	14,12
Сумарні щорічні витрати, тис грн	31,33	31,72	32,11	88,35	33,84	33,90	243,29	34,45	40,04	91,23	35,83	36,14	50,60	337,68	39,38	45,24	91,08	50,60	41,73	3056,11
Приведені витрати, тис грн	28,48	26,20	24,12	60,34	21,02	19,12	124,81	16,09	16,98	35,21	12,54	11,53	14,67	88,81	9,41	9,86	18,03	9,11	6,84	455,36
Сумарні приведені витрати, тис грн	28,48	54,68	78,80	139,14	160,16	179,27	304,08	320,17	337,15	337,18	349,72	361,25	375,93	464,74	474,15	484,01	502,05	511,15	518,00	973,36

ДОДАТОК Б

Розрахунок силового вписування екіпажа в кривій

Для прикладу наведено результати вписування в криву локомотива ЧС4. Основні параметри електровоза представлено в таблиці Б.1

Таблиця Б.1 – Параметри локомотива

Локомотив	Формула вісі	Відстань, м
ЧС-4	3o-3o	230-230-500-230-230

Розглянемо для цього вплив на колію окремого трьохвісного візка екіпажу рисунок Б.1.

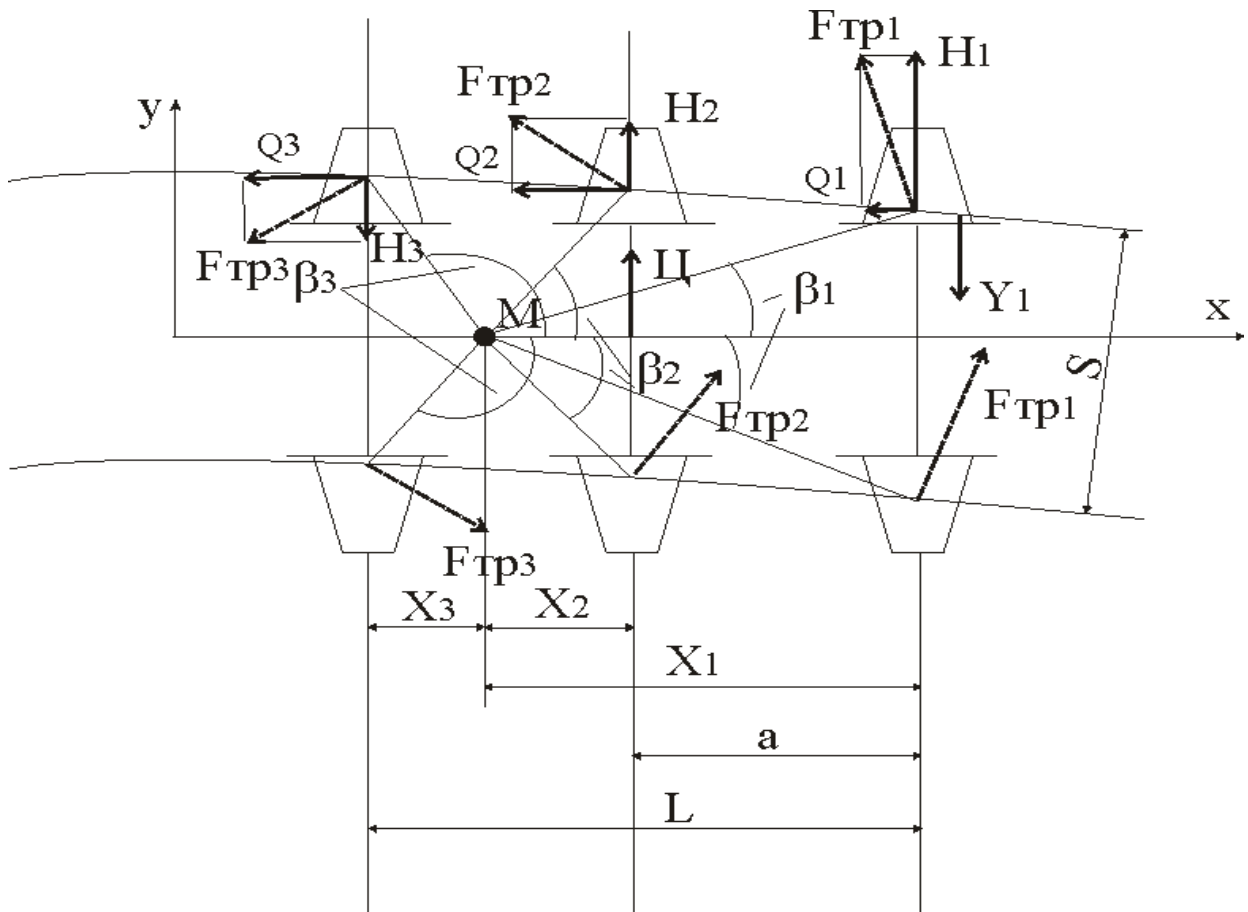


Рисунок Б.1 Силowe вписування візка екіпажу

Від рамного тиску колесо через гребінь впливає на рейку. Сили бокового тиску гребеня на рейку Y_1 називається направляючим зусиллям. Направляючі зусилля виникають на колесах, що забезпечують направлення і поворот екіпажу в кривій. Направляючі зусилля можуть бути прикладені до

зовнішнього колеса колісної пари набігаючої на зовнішню нитку в кривій, і біля внутрішнього колеса осі, якщо вона набігає на внутрішню нитку.

Крім того, по поверхні кочення рейки в місці контакту з колесом, внаслідок постійно існуючих поперечних подвижок колеса при вписуванні в кривій, виникають сили тертя F_{mp} , яку знайдемо за формулою (Б.1).

$$F_{mp} = P_{cm} * \mu \quad (\text{Б.1})$$

де P_{cm} - статичне навантаження від одного колеса, Кн;

$$\mu = 0,25$$

Поперечна складова сили тертя:

$$H_i = P_{cm} * \mu * \cos \beta_i \quad (\text{Б.2})$$

Поздовжня складова сили тертя:

$$Q_i = P_{cm} * \mu * \sin \beta_i \quad (\text{Б.3})$$

Кути набігання коліс на рейки знаходяться за формулами:

$$\cos \beta_i = \frac{X_i}{\sqrt{X_i^2 + \left(\frac{S}{2}\right)^2}} \quad (\text{Б.4})$$

$$\sin \beta_i = \frac{\frac{S}{2}}{\sqrt{X_i^2 + \left(\frac{S}{2}\right)^2}} \quad (\text{Б.5})$$

Система рівнянь рівноваги сил:

$$\sum Y : Y_1 - 2H_1 - 2H_2 - 2H_3 - \mathcal{U} = 0$$

$$\sum M : Y_1 * X_1 - 2H_1 * X_1 - 2H_2 * X_2 - 2H_3 * X_3 - (2Q_1 + 2Q_2 + 2Q_3) * \frac{S}{2} - \mathcal{U} * X_2 = 0$$

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$\sum M : Y_1 * X_1 - 2H_1 * X_1 - 2H_2 * X_2 - 2H_3 * X_3 - Q * S - \mathcal{U} * X_2$$

$$Y_1 = 2H_1 + 2H_2 + 2H_3 + \mathcal{U}$$

$$\mathcal{U} = Y_1 - 2(H_1 + H_2 + H_3)$$

$$X_2 = X_1 - a$$

$$X_3 = L - X_1$$

Відцентрова сила знаходиться за формулою:

$$\mathcal{U} = m * \alpha_{nn} = \frac{P_{cm} * n}{g} * \left(\frac{V^2}{R * 3,6^2} - \frac{g * h}{S} \right) \quad (\text{Б.6})$$

Розрахунки зведено в табл. Б.2 і показано на рис. (Б.2), (Б.3), (Б.4).

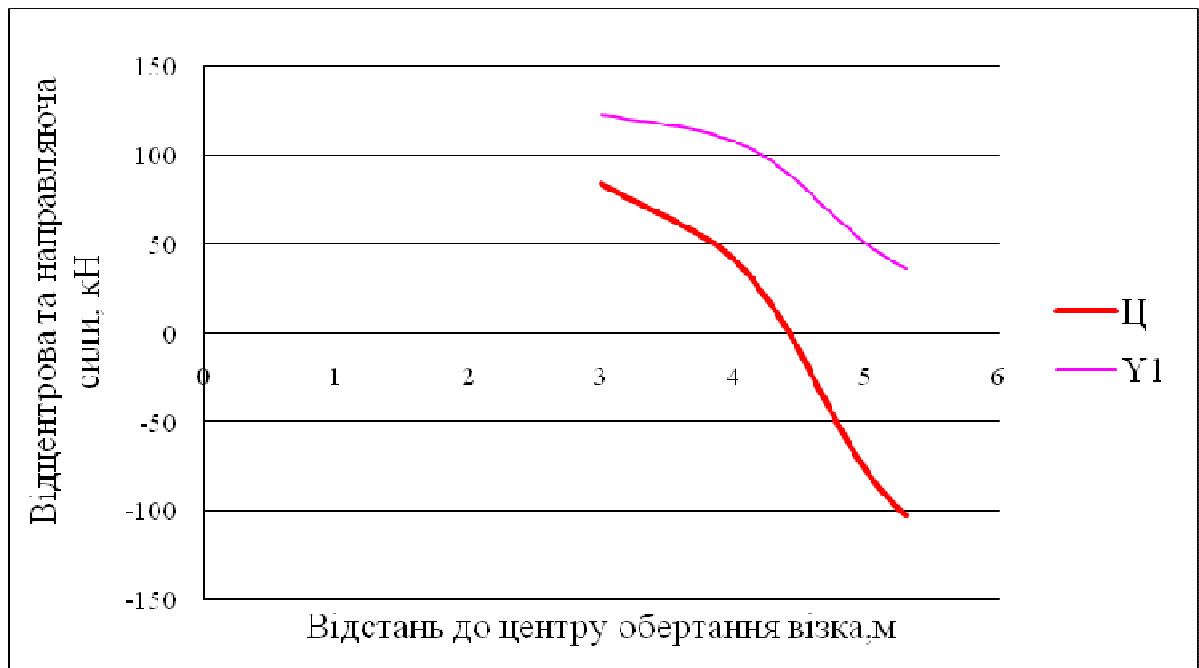


Рисунок Б.2 Залежність відцентрової та направляючої сили від відстані до центру обертання візка

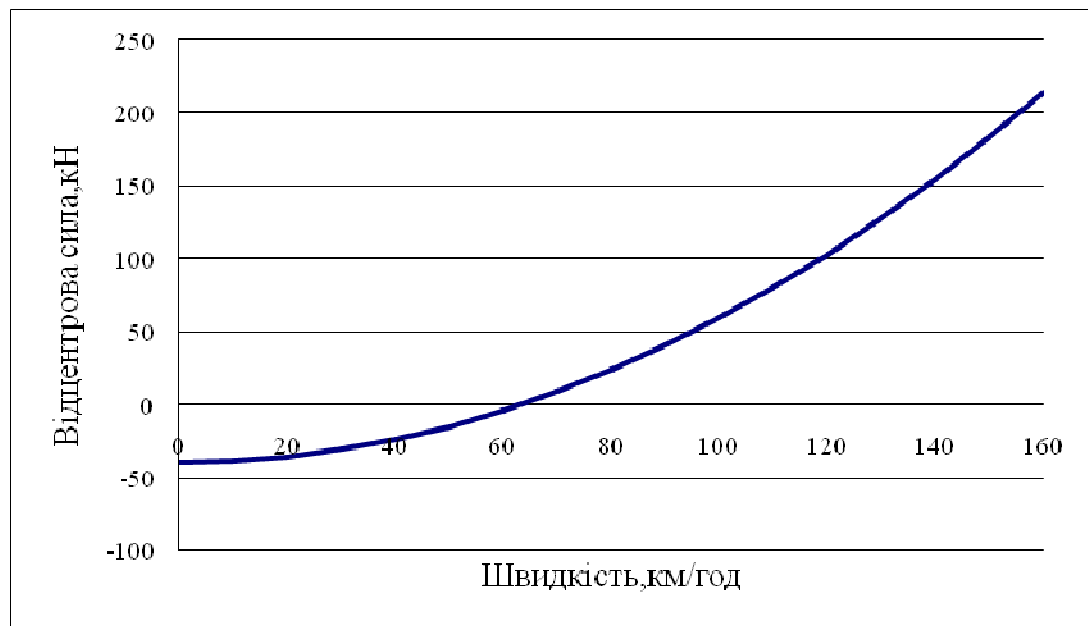


Рисунок Б.3 Залежність відцентрової сили від швидкості руху

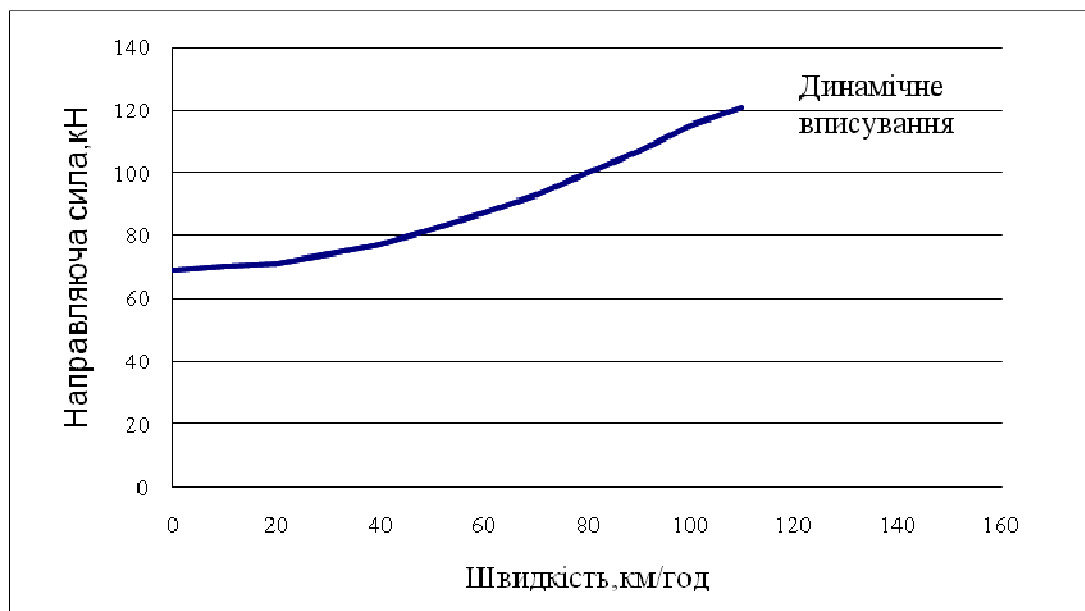


Рисунок Б.4 Залежність направляючої сили від швидкості руху

Вихідні дані:

S	1,52
R	500
D	0,039
L	4,6
a	2,3
f	0,25
P	105

Залежність направляючої сили від швидкості руху:

V	Π_0
0	69
10	70
20	71
30	74
40	77
50	82
60	87
70	93
80	100
90	107
100	115
110	121

Таблиця Б.2 – Розрахунок силового вписування

x1	x2	x3	cos b1	cos b2	cos b3	sin b1	sin b2	sin b3
5,3	3	-0,7	0,99	0,97	-0,68	0,14	0,25	0,74
5,2	2,9	-0,6	0,99	0,97	-0,62	0,14	0,25	0,78
5,1	2,8	-0,5	0,99	0,97	-0,55	0,15	0,26	0,84
5	2,7	-0,4	0,99	0,96	-0,47	0,15	0,27	0,88
4,9	2,6	-0,3	0,99	0,96	-0,37	0,15	0,28	0,93
4,8	2,5	-0,2	0,99	0,96	-0,25	0,16	0,29	0,97
4,7	2,4	-0,1	0,99	0,95	-0,13	0,16	0,30	0,99
4,6	2,3	0	0,99	0,95	0,00	0,16	0,31	1,00
4,5	2,2	0,1	0,99	0,95	0,13	0,17	0,33	0,99
4,4	2,1	0,2	0,99	0,94	0,25	0,17	0,34	0,97
4,3	2	0,3	0,98	0,93	0,37	0,17	0,36	0,93
4,2	1,9	0,4	0,98	0,93	0,47	0,18	0,37	0,88
4,1	1,8	0,5	0,98	0,92	0,55	0,18	0,39	0,84
4	1,7	0,6	0,98	0,91	0,62	0,19	0,41	0,78
3,9	1,6	0,7	0,98	0,90	0,68	0,19	0,43	0,74
3,8	1,5	0,8	0,98	0,89	0,72	0,20	0,45	0,69
3,7	1,4	0,9	0,98	0,88	0,76	0,20	0,48	0,65
3,6	1,3	1	0,98	0,86	0,80	0,21	0,50	0,61
3,5	1,2	1,1	0,98	0,84	0,82	0,21	0,54	0,57
3,4	1,1	1,2	0,98	0,82	0,84	0,22	0,57	0,54
3,3	1	1,3	0,97	0,80	0,86	0,22	0,61	0,50
3,2	0,9	1,4	0,97	0,76	0,88	0,23	0,65	0,48
3,1	0,8	1,5	0,97	0,72	0,89	0,24	0,69	0,45
3	0,7	1,6	0,97	0,68	0,90	0,25	0,74	0,43

Таблиця Б.3 – Розрахунок силового вписування

H1	H2	H3	Q1	Q2	Q3	Q	Y1	Ц
25,98	25,45	-17,78	3,73	6,45	19,31	29,48	35,88	-102,54
25,97	25,39	-16,27	3,80	6,65	20,60	31,05	39,94	-95,33
25,96	25,33	-14,43	3,87	6,88	21,93	32,67	44,67	-86,78
25,95	25,27	-12,23	3,94	7,11	23,23	34,29	50,11	-76,78
25,94	25,20	-9,64	4,02	7,36	24,42	35,80	56,27	-65,28
25,93	25,12	-6,68	4,11	7,63	25,39	37,13	63,03	-52,42
25,91	25,03	-3,42	4,19	7,92	26,03	38,14	70,18	-38,54
25,90	24,92	0,00	4,28	8,24	26,25	38,76	77,42	-24,23
25,88	24,81	3,42	4,37	8,57	26,03	38,97	84,37	-10,17
25,87	24,68	6,68	4,47	8,93	25,39	38,79	90,73	2,99
25,85	24,54	9,64	4,57	9,32	24,42	38,31	96,29	14,79
25,83	24,37	12,23	4,67	9,75	23,23	37,65	101,00	25,04
25,81	24,18	14,43	4,78	10,21	21,93	36,92	104,88	33,75
25,79	23,96	16,27	4,90	10,71	20,60	36,22	108,04	41,07
25,77	23,71	17,78	5,02	11,26	19,31	35,59	110,62	47,23
25,74	23,42	19,03	5,15	11,86	18,08	35,09	112,73	52,48
25,71	23,07	20,06	5,28	12,52	16,94	34,74	114,50	57,04
25,68	22,66	20,90	5,42	13,25	15,88	34,55	116,00	61,11
25,65	22,18	21,60	5,57	14,05	14,92	34,54	117,32	64,86
25,62	21,60	22,18	5,73	14,92	14,05	34,69	118,52	68,44
25,58	20,90	22,66	5,89	15,88	13,25	35,02	119,63	71,99
25,54	20,06	23,07	6,07	16,94	12,52	35,53	120,70	75,65
25,50	19,03	23,42	6,25	18,08	11,86	36,19	121,74	79,52
25,45	17,78	23,71	6,45	19,31	11,26	37,02	122,78	83,74

Рекомендоване значення направляючої сили не повинно перевищувати 100 Кн. В розрахунку направляюча сила при швидкості 80 км/год більша рекомендованої, що призведе до збільшеного бокового зносу рейки.

ДОДАТОК В

Результати розрахунків, отриманих на основі моделювання взаємодії колії і пасажирського вагону

В даний час існують різні пропозиції щодо встановлення мінімально-допустимих радіусів кривих у плані на ділянках швидкісного руху поїздів.

Обґрунтування оптимального варіанта повинно включати техніко-економічні розрахунки, що враховують умови роботи колії, швидкість руху і базуються на моделюванні руху пасажирського і вантажного вагонів по кривих різних радіусів з визначенням спектра динамічних показників, а також враховувати вартість уположення кривих, що зв'язана з переносом вісі колії на нову трасу.

Вихідні дані для першої частини досліджень представлені в табл. В.1

Таблиця В.1 – Вихідні дані

Показники	Максимальна швидкість пасажирських поїздів 140 км/год на кривих ділянках колії з параметрами:				
R , м	800	1000	1200	1400	1600
h , мм	60	60	60	60	60
$L_{пер}$, м	70	70	70	70	70
h , мм	90	90	90	90	90
$L_{пер}$, м	100	100	100	100	100
h , мм	120	120	120	120	120
$L_{пер}$, м	130	130	130	130	130
h , мм	150	150	150	150	150
$L_{пер}$, м	170	170	170	170	170

В таблиці позначені:

h – підвищення зовнішньої рейки;

$L_{пер}$ – довжина перехідної кривої;

V_{min} – мінімальна швидкість вантажних поїздів.

При виконанні розрахунків була використана математична модель і програма обчислень, розроблені лабораторією динаміки і міцності рухомого складу ДПТА, за допомогою якої визначалися переміщення, сили і прискорення при русі вагонів по інерційній пружно-дисипативній залізничній колії з вертикальною і горизонтальною нерівностями для різних екіпажів, рівнів швидкості, підвищення зовнішньої рейки і радіусів кривих.

Для знаходження бічної сили, що діє на рейки з боку коліс і рамних сил, що діють на колісні пари, обчислювалась направляюча сила, що являє собою реакцію рейки на загальний опір повороту візка (екіпажа) при русі по кривій. Визначення цієї сили відноситься до класу задач геометричного вписування. Для візкових екіпажів найбільш типовим є перекисне положення, що змінюється після кожного імпульсу в зоні контакту гребеня колеса з рейками.

При відомих направляючих силах HN , бічні HB і рамні сили HR визначались за формулами:

$$HB_{(i,j,k)} = HN_{(i,j,k)} - Y_{(i,j,k)} ,$$

$$HR_{(i,j)} = HN_{(i,j,k)} - \sum_{k=1}^2 Y_{(i,j,k)}$$

де i – номер візка, j – номер колісної пари у візку, k – сторона (1 – ліва, 2 – права, якщо дивитися на вагон позаду);

$Y_{(i,j,k)}$ – поперечні сили тертя між рейкою і лівим чи правим колесом відповідної колісної пари і візка.

Як приклад, вираз для визначення бічної сили, що діє з боку колії на ліве колесо першої колісної пари першого візка буде мати вигляд

$$HB_{(1,1,1)} = HN_{(1,1,1)} - Y_{(1,1,2)}$$

Значення рамної сили, що діє на першу колісну пару першого візка, визначається з виразу

$$HR_{(1,1)} = HN_{(1,1,1)} - Y_{(1,1,1)} - Y_{(1,1,2)} .$$

Крім бічних сил, був проаналізований цілий спектр різних динамічних показників, отриманих при моделюванні просторових коливань пасажирського і вантажного вагона:

$k_{VD(i,j,k)}$ – коефіцієнт вертикальної динаміки колії по силам взаємодії коліс з рейками (відношення динамічної добавки вертикальної сили до статичного тиску колеса на рейку);

$k_{GD(i,j,k)}$ – коефіцієнт горизонтальної динаміки колії по горизонтальним силам взаємодії коліс з рейками;

$SI_{(k)}$ – кромочні напруження в підшві рейки під колісьми першої колісної пари;

$F_{(k)}$ – фактор зносу бічної грані бандажа колеса першої колісної пари першого візка;

$\Pi_{(k)}$ – показник зносу поверхні кочення колеса першої колісної пари першого візка;

$k_{VKO(i,j)}$ – коефіцієнт стійкості від сповзання колеса на рейку.

Програма здійснює інтегрування системи диференціальних рівнянь у процесі руху вагона на ділянці колії 100 м. Після виключення на довжині близько 50 м перехідного процесу, виконується розрахунок екстремальних і статистичних характеристик найбільших значень сил, переміщень і прискорень, що виникають при русі вагона по реальних нерівностях колії.

Для кожного з динамічних показників визначались:

- мінімальні значення $F_{\min}$ і абсциса колії, при якій досягнуте $X_{\min}$;
- максимальне значення $F_{\max}$ і відповідна абсциса колії $X_{\max}$;
- середнє значення показника на даній ділянці M ;
- дисперсія D ;
- середньоквадратичне відхилення S ;
- максимальне-ймовірне значення, що дорівнює $|M| + 2,5 * S$.

Коефіцієнт горизонтальної динаміки, кромочні напруження, бокові сили та ін. показники були використані при обґрунтуванні мінімального

радіусу кривих, довжини прямих вставок між суміжними кривими, для вибору підвищення зовнішньої рейки від потоку поїздів різних категорій тощо.

В табл. В.2-В.4 наведені результати розрахунків для пасажирського вагону, що були отримані на основі моделювання взаємодії колії і пасажирського вагону при русі по кривим і використані для послідуочого аналізу.

Таблица В.2 – Максимально імовірні бокові сили

Варіант	Параметри кривої	Максимально імовірні бокові сили							
		Укр11	Укр11	Укр12	Укр12	Укр21	Укр21	Укр22	Укр22
		1	2	1	2	1	2	1	2
Радіус кривої 800 м									
1	$h - 60$ мм, $l - 70$ м	58.83	12.01	41.54	7.9	54.86	10.22	40.71	10.29
2	$h - 90$ мм, $l - 100$ м	55.82	11.33	38.42	9.05	48.94	9.13	35.70	11.36
3	$h - 120$ мм, $l - 130$ м	57.34	11.39	39.52	8.64	52.71	9.60	38.33	10.45
4	$h - 150$ мм, $l - 170$ м	54.15	10.33	36.80	9.43	48.40	8.66	34.91	11.23
Радіус кривої 1000 м									
1	$h - 60$ мм, $l - 70$ м	41.50	5.02	27.69	8.37	37.89	5.10	27.18	11.76
2	$h - 90$ мм, $l - 100$ м	38.58	5.506	25.14	9.797	32.94	6.252	23.60	12.36
3	$h - 120$ мм, $l - 130$ м	38.04	5.357	24.54	9.754	33.11	5.986	23.36	12.26
4	$h - 150$ мм, $l - 170$ м	36.91	5.520	23.65	10.07	32.18	6.193	22.46	12.52

Варіант	Параметри кривої	Максимально імовірні бокові сили							
		Укр11	Укр11	Укр12	Укр12	Укр21	Укр21	Укр22	Укр22
		1	2	1	2	1	2	1	2
Радіус кривої 1200 м									
1	$h - 60$ мм, $l - 70$ м	29.47	4.80	18.84	11.15	26.28	5.67	19.49	13.27
2	$h - 90$ мм, $l - 100$ м	26.31	5.72	16.16	11.34	22.05	6.18	16.29	12.85
3	$h - 120$ мм, $l - 130$ м	26.13	5.87	16.25	11.73	22.47	6.50	16.60	13.19
4	$h - 150$ мм, $l - 170$ м	25.33	6.13	15.85	12.03	21.61	6.70	15.92	13.38
Радіус кривої 1400 м									
1	$h - 60$ мм, $l - 70$ м	20.92	5.59	15.10	11.38	18.34	6.83	16.37	12.46
2	$h - 90$ мм, $l - 100$ м	18.79	6.07	13.72	11.26	15.26	7.15	14.23	11.61
3	$h - 120$ мм, $l - 130$ м	18.03	6.05	12.99	11.31	15.02	7.18	13.89	11.92
4	$h - 150$ мм, $l - 170$ м	17.28	6.60	12.73	11.58	14.62	7.49	13.53	12.17

Таблиця В.3 – Максимально імовірні рамні сили і коефіцієнт горизонтальної динаміки

Варіант	Параметри кривої	Рамні сили				Коефіцієнт горизонтальної динаміки			
		перша вісь 1-й візок	друга вісь 1-й візок	перша вісь 2-й візок	друга вісь 2-й візок	перша вісь 1-й візок	друга вісь 1-й візок	перша вісь 2-й візок	друга вісь 2-й візок
Радіус кривої 800 м									
1	$h - 60$ мм, $l - 70$ м	39.61	36.78	38.74	41.07	0.28	0.26	0.27	0.29
2	$h - 90$ мм, $l - 100$ м	37.95	35.44	35.32	37.95	0.27	0.25	0.25	0.27
3	$h - 120$ мм, $l - 130$ м	38.19	35.68	36.51	38.84	0.24	0.22	0.21	0.23
4	$h - 150$ мм, $l - 170$ м	36.72	34.46	34.38	36.83	0.19	0.19	0.16	0.19
Радіус кривої 1000 м									
1	$h - 60$ мм, $l - 70$ м	30.99	30.08	30.24	33.58	0.22	0.21	0.21	0.24
2	$h - 90$ мм, $l - 100$ м	29.569	28.991	27.620	31.003	0.2079	0.2039	0.1959	0.2201
3	$h - 120$ мм, $l - 130$ м	29.569	28.991	27.620	31.003	0.2079	0.2039	0.1959	0.2201
4	$h - 150$ мм, $l - 170$ м	28.481	27.962	26.652	29.900	0.1459	0.1514	0.1258	0.1533
Радіус кривої 1200 м									
1	$h - 60$ мм, $l - 70$ м	25.73	26.28	24.93	28.95	0.18	0.19	0.18	0.21
2	$h - 90$ мм, $l - 100$ м	23.36	24.02	21.88	25.74	0.17	0.17	0.15	0.18
3	$h - 120$ мм, $l - 130$ м	23.78	24.47	22.55	26.36	0.15	0.16	0.14	0.16
4	$h - 150$ мм, $l - 170$ м	23.48	24.22	22.01	25.84	0.12	0.13	0.11	0.13

Варіант	Параметри кривої	Рамні сили				Коефіцієнт горизонтальної динаміки			
		перша вісь 1-й візок	друга вісь 1-й візок	перша вісь 2-й візок	друга вісь 2-й візок	перша вісь 1-й візок	друга вісь 1-й візок	перша вісь 2-й візок	друга вісь 2-й візок
Радіус кривої 1400 м									
1	$h - 60$ мм, $l - 70$ м	21.79	23.48	20.99	25.70	0.15	0.17	0.15	0.18
2	$h - 90$ мм, $l - 100$ м	20.35	22.08	18.61	22.95	0.14	0.15	0.13	0.16
3	$h - 120$ мм, $l - 130$ м	19.64	21.41	18.43	22.89	0.13	0.14	0.11	0.14
4	$h - 150$ мм, $l - 170$ м	19.68	21.51	18.12	22.49	0.10	0.12	0.09	0.11

Таблиця В.4 – Коефіцієнт запасу стійкості проти сходу

Варіант	Параметри кривої	Коефіцієнт запасу стійкості проти сходу							
		111	112	121	122	211	212	221	222
Радіус кривої 800 м									
1	$h - 60$ мм, $l - 70$ м	2.09	5.08	2.99	6.25	2.45	6.1	2.09	5.08
2	$h - 90$ мм, $l - 100$ м	2.08	5.13	2.80	6.83	2.34	6.63	3.03	4.59
3	$h - 120$ мм, $l - 130$ м	2.11	6.08	2.91	6.53	2.23	7.56	3.20	5.40
4	$h - 150$ мм, $l - 170$ м	2.42	10.19	3.44	6.45	3.37	8.94	4.95	5.65
Радіус кривої 1000 м									
1	$h - 60$ мм, $l - 70$ м	2.83	10.33	3.90	7.08	3.11	7.84	4.09	5.05
2	$h - 90$ мм, $l - 100$ м	2.75	8.93	3.94	6.27	3.04	7.28	4.19	5.34
3	$h - 120$ мм, $l - 130$ м	2.78	10.54	4.25	6.77	3.13	9.65	4.87	5.83
4	$h - 150$ мм, $l - 170$ м	3.81	10.73	6.22	6.89	4.76	9.43	6.45	6.37

Варіант	Параметри кривої	Коефіцієнт запасу стійкості проти сходу							
		111	112	121	122	211	212	221	222
Радіус кривої 1200 м									
1	$h - 60$ мм, $l - 70$ м	3.56	10.60	5.08	6.43	3.92	7.14	4.66	4.43
2	$h - 90$ мм, $l - 100$ м	4.00	9.71	6.29	6.75	4.32	9.13	6.59	5.51
3	$h - 120$ мм, $l - 130$ м	3.50	10.08	5.69	6.72	3.78	8.19	6.10	5.20
4	$h - 150$ мм, $l - 170$ м	4.68	9.19	7.54	7.29	6.49	8.70	6.41	6.55
Радіус кривої 1400 м									
1	$h - 60$ мм, $l - 70$ м	4.57	9.12	6.12	6.02	4.68	7.14	5.67	5.27
2	$h - 90$ мм, $l - 100$ м	4.51	9.96	6.20	6.04	4.97	8.38	6.28	5.67
3	$h - 120$ мм, $l - 130$ м	5.11	10.42	7.70	6.51	5.69	9.30	7.04	7.06
4	$h - 150$ мм, $l - 170$ м	7.29	9.55	8.00	7.95	9.65	10.67	8.57	8.83

ДОДАТОК Г

Код програмної реалізації математичної моделі раціонального розподілу пасажирських поїздів

(Розподіл потоків на графові км.mws)

ПОЇЗД-КМ

```
> restart: with(networks): with(linalg): with (simplex):  
with(combinat,choose):
```

Warning, the protected names maximize and minimize have been redefined and unprotected

Процедура побудови простих колій. Вхідні параметри: z1 - початкова вершина, z2 - кінцева вершина, G - граф, на якому будуємо всі прості колії. Повертає список простих колій - KE.

```
> Pr_way:=proc(z1,z2,G)  
> local W,KW,WW,Z,s3,z,MW1,W1,zk,kw,X,Y,MX,MY,KE,q,Ke,  
kol,qq,ke,k,L,Kee,e;  
> W:=[]: KW:=[]: WW:=[]: задаємо початкову z1 і кінцеву z2  
вершини для побудови всіх простих колій між ними W:=[op(W),[z1]]:  
> while W<>[] do for Z in W do  
WW:=[]:  
WW:=op(WW),op(Z)];  
s3:=[]:  
for z in W do  
if z<>WW then s3:=op(s3),z] end if:  
end do:  
W:=s3:  
for z in WW do end do;  
MW1:=neighbors(z,G);  
W1:=[]:  
for z in MW1 do W1:=op(W1),z]; end do: визначаємо в які  
вершини можемо потрапити  
for zk in W1 do  
if zk=z2 then kw:=[]:  
kw:=op(WW),zk];  
KW:=op(KW),kw]: поповнюємо кінцеву безліч колій  
else  
X:=[]:  
Y:=[]:  
X:=op(X),zk]:  
MX:={}:  
for z in X do MX:=MX union {z} end do;  
Y:=op(Y),op(WW))]:
```

```

MY:={}:
for z in Y do MY:=MY union {op(z)} end do;
if not (MX intersect MY=MX) then
W:=[op(W), [op(WW), zk]] додаємо новий варіант колії end if:
end if:
end do:
end do;
end do;

```

Відображаємо список простих колій через назви ребер

```

> KE:=[]:
for q in KW do
Ke:=[]:
kol:=0:
for qq in q do kol:=kol+1: end do:
ke:=[]:
for k from 1 to kol-1 do
ke:=edges({op(k,q), op(k+1,q)}, G):
Ke:=[op(Ke), op(ke)]:
end do:
L:=0:
Kee:=convert(Ke, set):
for e in Kee do L:=L+eweight(e,G) end do:
Kee:=Kee union {L}:
KE:=[op(KE), Ke]:
end do:
Повертаємо KE - список усіх простих колій у граф G з вершини z1 у вершину
z2
> RETURN(KE);
> end:

```

Процедура розв'язку завдання розподілу потоків по мережі

Вхід: N - число вершин у граф, G - граф, E - список ребер графа G, Nmax - обмеження по пропускній здатності, P - матриця потоків.

Повертає: Список ребер і розподілений потік на них; значення показника раціональності розподілу потоків.

```

> Rasp_potok:=proc(N, G, E, Nmax, P)
> local
Nr, z, R, SS1, m, SS2, i, j, S, obg, Xr, k, XXX, s, z1, XX, e, S1, W, kol,
w, w1, ob, KL, d1, z2, z3, KE, EH;
Nr - кількість ребер у граф G
> Nr:=0:
for z in E do Nr:=Nr+1 end do:
R:=allpairs(G, p):

```

Складання обмежень по пропускній здатності на ребрі SS1

```
> SS1:={}:
> for e in E do S1:={}:
  for i from 1 to N-1 do
    for j from i+1 to N do
      W:=Pr_way(i,j,G);
      kol:=0:
      for w in W do kol:=kol+1:
        w1:=convert(w,set);
        if ({e} intersect w1)={e} then S1:=S1 union
{add(x[i,j,k], k=kol)} end if:
      end do:
    end do:
  end do:
  SS1:=SS1 union {add(z,z=S1)<=Nmax}:
end do:
```

Складання обмежень: сумарний розподілений пасажиропотік, що виходить з i в j, по ребрах $e(vk)$ повинен дорівнювати пасажиропотоку заданому SS2

```
> SS2:={}:
for i from 1 to N-1 do
  for j from i+1 to N do
    W:=Pr_way(i,j,G); визначаємо всі прості колії з i в j на граф G
    kol:=0:
    for w in W do kol:=kol+1: end do:
    SS2:=SS2 union
{add(x[i,j,m],m=1..kol)=evalf(P[i,j],5)}
  od:
od:
Об'єднання обмежень SS1 і SS2
> S:=SS1 union SS2:
```

Функція мети obg

```
> ob:={}:
for i from 1 to N-1 do
  for j from i+1 to N do
    W:=Pr_way(i,j,G);
    KL:=[]:
    kol:=0:
    for w in W do
      dl:=0:
      for e in w do dl:=dl+eweight(op(e),G): end do:
      KL:=[op(KL),dl]: підраховуємо довжини даних колій
      kol:=kol+1:
    end do:
  end do:
end do:
```

```

    end do:
    for m from 1 to kol do
        ob:=ob union {x[i,j,m]*op(m,KL)}:
    end do:
end do:
end do:
obg:=add(z,z=ob):

```

розв'язок завдання, відповідь в XX - безліч ненегативних розв'язків $x[i,j,m]$, де i - з якої вершини, j - у яку вершину, m - номер колії (для: z і в j)

```

> Xr:=minimize(obg,S, NONNEGATIVE):
XX:={}:
for z in Xr do
    if op(2,z)<>0 then XX:=XX union {z} end if:
od:

```

Збереження й висновок ненегативного розв'язку ЕН - масив розподіленого пасажиропотоку по ребрах для всіх колій

```

> EH:=array(1..Nr):
for i from 1 to Nr do EH[i]:=0; end do:
for z in XX do
    z1:=op(1,op(1,z));
    z2:=op(2,op(1,z));
    z3:=op(3,op(1,z));
    KE:=Pr_way(z1,z2,G):
    w:=op(z3,KE);
    dl:=0:
    for e in w do dl:=dl+eweight(op(e),G): end do:
    print (` з вершини `,z1,` у вершину `,z2,` по колії
`,w,` реалізується пасажиропотік `, op(2,z),` довжина
колії `,dl);
    w1:=convert(w,set);
    for i from 1 to Nr do
        if {op(i,E)} intersect w1={op(i,E)} then
EH[i]:=EH[i]+op(2,z) end if:
    end do:
end do:
print(`Розподілений поездепотік по ребрах`,EH);

```

Pr - показник раціональності розподілу потоків

```

> print(`Показник раціональності розподілу потоків
Pr=`,eval(obg,Xr));

```

XX - повертаємо безліч ненегативних мічених

```

> RETURN(XX);

```

> end:

Розв'язок завдання раціонального розподілу пасажирських поїздів

> N:=16:

new(G):

VG:=addvertex(1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,G)

;

EG:=addedge([{1,2}, {2,3}, {3,4}, {4,5}, {5,6}, {6,7}, {7,8},
{8,9}, {9,10}, {10,11}, {11,12}, {12,13}, {13,14}, {2,14}, {4,
14}, {12,16}, {4,16}, {4,9}, {5,15}, {6,15}, {8,15}, {9,15}],
weights=[51,144,71,64,79,156,63,95,62,48,94,68,51,90,15
2,52,65,147,91,82,101,50],G);

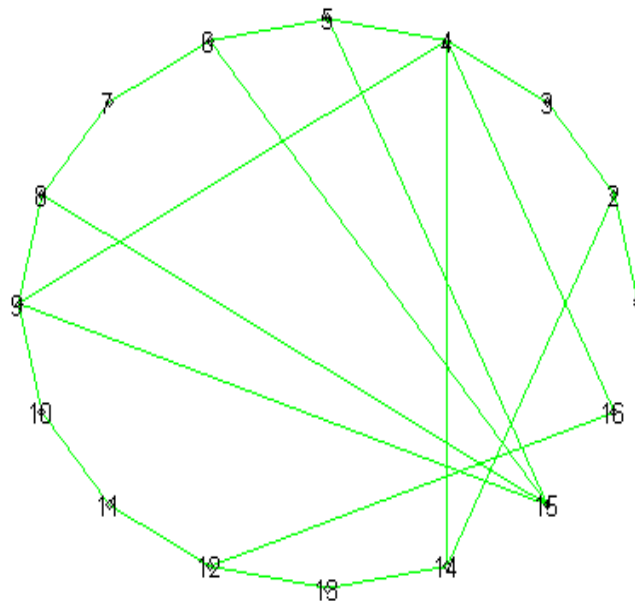
draw(G);

T:=incident(2,G);

MSG:=adjacency(G);

VG := 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16

EG := e1, e2, e3, e4, e5, e6, e7, e8, e9, e10, e11, e12, e13, e14, e15, e16, e17, e18, e19,
e20, e21, e22



T := { e2, e14, e1 }

MSG := $\left[\begin{array}{l} 16 \times 16 \text{ Matrix} \\ \text{Data Type: anything} \\ \text{Storage: sparse} \\ \text{Order: Fortran_order} \end{array} \right]$

> Pp:=matrix(N,N,[0,0,4,0,0,1,37,0,0,
0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,
4,0,0,0,0,0,0,2,1,11,0,0,0,0,0,0,
2,0,0,1,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,
0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,
0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,
1,0,0,0,0,0,0,3,0,0,0,0,6,1,0,0,1,0,

```

37,0,2,0,0,3,0,15,0,0,13,9,0,3,1,0,
0,0,2,0,0,0,15,0,0,0,0,0,0,1,0,
0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,
1,0,0,0,0,0,0,0,0,0,2,0,0,0,0,
11,0,1,0,0,6,13,0,0,2,0,2,0,2,0,0,
0,0,0,0,0,1,9,0,0,0,2,0,0,0,0,
0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,
0,0,0,1,0,0,3,0,0,0,2,0,0,0,0,
0,0,0,0,0,1,1,1,0,0,0,0,0,0,0,
0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0

```

]); Матриця пасажирських поєздопотоків.

$$P_p := \begin{bmatrix} 0 & 0 & 4 & 0 & 0 & 1 & 37 & 0 & 0 & 1 & 11 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 2 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 3 & 0 & 0 & 0 & 6 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 37 & 0 & 2 & 0 & 0 & 3 & 0 & 15 & 0 & 0 & 13 & 9 & 0 & 3 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 15 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 11 & 0 & 1 & 0 & 0 & 6 & 13 & 0 & 0 & 2 & 0 & 2 & 0 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 9 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 3 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Створення списку ребер графа G

```
> E := []:
```

```
Nmax := 144;
```

```
for z in EG do E := [op(E), z]; end do:
```

```
Nmax := 144
```

Розподіл пасажирських поїздів

```
➤ XX := Rasp_potok(N, G, E, Nmax, Pp);
```

```
➤
```

*из вершины , 3, в вершину , 11, по пути , [e3, e17, e16, e11],
реализуется пассажиропоток , 1., длина пути , 282*

*из вершины , 7, в вершину , 8, по пути , [e7], реализуется пассажиропоток , 15.,
длина пути , 63*

из вершины , 11, в вершину , 14, по пути , [e11, e12, e13],
 реализуется пассажиропоток , 2., длина пути , 213

из вершины , 8, в вершину , 15, по пути , [e21], реализуется пассажиропоток , 1.,
 длина пути , 101

из вершины , 6, в вершину , 15, по пути , [e20], реализуется пассажиропоток , 1.,
 длина пути , 82

из вершины , 6, в вершину , 7, по пути , [e6], реализуется пассажиропоток , 3.,
 длина пути , 156

из вершины , 1, в вершину , 3, по пути , [e1, e2], реализуется пассажиропоток ,
 4., длина пути , 195

из вершины , 1, в вершину , 7, по пути , [e1, e2, e3, e4, e5, e6],
 реализуется пассажиропоток , 37., длина пути , 565

из вершины , 6, в вершину , 12, по пути , [e5, e4, e17, e16],
 реализуется пассажиропоток , 1., длина пути , 260

из вершины , 11, в вершину , 12, по пути , [e11], реализуется пассажиропоток ,
 2., длина пути , 94

из вершины , 10, в вершину , 11, по пути , [e10], реализуется пассажиропоток ,
 2., длина пути , 48

из вершины , 3, в вершину , 8, по пути , [e3, e18, e8],
 реализуется пассажиропоток , 2., длина пути , 313

из вершины , 7, в вершину , 14, по пути , [e6, e5, e4, e15],
 реализуется пассажиропоток , 3., длина пути , 451

из вершины , 1, в вершину , 6, по пути , [e1, e2, e3, e4, e5],
 реализуется пассажиропоток , 1., длина пути , 409

из вершины , 7, в вершину , 12, по пути , [e7, e8, e9, e10, e11],
 реализуется пассажиропоток , 9., длина пути , 362

из вершины , 7, в вершину , 11, по пути , [e7, e8, e9, e10],
 реализуется пассажиропоток , 13., длина пути , 268

из вершины , 3, в вершину , 7, по пути , [e3, e4, e5, e6],
 реализуется пассажиропоток , 2., длина пути , 370

из вершины , 6, в вершину , 11, по пути , [e20, e22, e9, e10],
 реализуется пассажиропоток , 6., длина пути , 242

из вершины , 7, в вершину , 15, по пути , [e7, e21], реализуется пассажиропоток ,
 1., длина пути , 164

из вершины , 1, в вершину , 11, по пути , [e1, e14, e13, e12, e11],
 реализуется пассажиропоток , 11., длина пути , 354

из вершины , 1, в вершину , 10, по пути , [e1, e14, e13, e12, e11, e10],
 реализуется пассажиропоток , 1., длина пути , 402

Распределенный поездопотока по ребрам , [

*54., 42., 43., 44., 44., 45., 38., 24., 28., 31., 26., 14., 14., 12., 3., 2., 2., 2., 0, 7., 2., 6.
]*

Показатель рациональности распределения потоков $Pr =$, 40315.

*$XX := \{ x_{3,11,2} = 1., x_{7,8,1} = 15., x_{11,14,1} = 2., x_{8,15,1} = 1., x_{6,15,1} = 1., x_{6,7,1} = 3., x_{1,3,1} = 4.,$
 $x_{1,7,1} = 37., x_{6,12,1} = 1., x_{11,12,1} = 2., x_{10,11,1} = 2., x_{3,8,1} = 2., x_{7,14,1} = 3., x_{1,6,1} = 1.,$
 $x_{7,12,3} = 9., x_{7,11,1} = 13., x_{3,7,1} = 2., x_{6,11,1} = 6., x_{7,15,2} = 1., x_{1,11,1} = 11., x_{1,10,3} = 1. \}$*

>

За іншими показниками наступні:

ПОЇЗДИ- ЧАС (ХВ.) **(ТУДИ)**

*из вершины , 11, в вершину , 12, по пути , [e11], реализуется пассажиропоток ,
2., длина пути , 51.18*

*из вершины , 6, в вершину , 11, по пути , [e20, e22, e9, e10],
реализуется пассажиропоток , 6., длина пути , 137.26*

*из вершины , 7, в вершину , 11, по пути , [e7, e8, e9, e10],
реализуется пассажиропоток , 13., длина пути , 153.15*

*из вершины , 1, в вершину , 11, по пути , [e1, e14, e13, e12, e11],
реализуется пассажиропоток , 11., длина пути , 187.78*

*из вершины , 1, в вершину , 3, по пути , [e1, e2], реализуется пассажиропоток ,
4., длина пути , 105.88*

*из вершины , 6, в вершину , 12, по пути , [e5, e4, e17, e16],
реализуется пассажиропоток , 1., длина пути , 146*

*из вершины , 3, в вершину , 11, по пути , [e3, e17, e16, e11],
реализуется пассажиропоток , 1., длина пути , 153.18*

*из вершины , 7, в вершину , 12, по пути , [e7, e8, e9, e10, e11],
реализуется пассажиропоток , 9., длина пути , 204.33*

*из вершины , 6, в вершину , 15, по пути , [e20], реализуется пассажиропоток , 1.,
длина пути , 44*

*из вершины , 3, в вершину , 7, по пути , [e3, e18, e8, e7],
реализуется пассажиропоток , 2., длина пути , 190.89*

*из вершины , 8, в вершину , 15, по пути , [e21], реализуется пассажиропоток , 1.,
длина пути , 55*

*из вершины , 7, в вершину , 8, по пути , [e7], реализуется пассажиропоток , 15.,
длина пути , 39.33*

из вершины , 6, в вершину , 7, по пути , [e6], реализуется пассажиропоток , 3.,
длина пути , 84

из вершины , 1, в вершину , 6, по пути , [e1, e2, e3, e4, e5],
реализуется пассажиропоток , 1., длина пути , 227.88

из вершины , 1, в вершину , 10, по пути , [e1, e14, e13, e12, e11, e10],
реализуется пассажиропоток , 1., длина пути , 222.99

из вершины , 11, в вершину , 14, по пути , [e11, e12, e13],
реализуется пассажиропоток , 2., длина пути , 109.18

из вершины , 10, в вершину , 11, по пути , [e10], реализуется пассажиропоток ,
2., длина пути , 35.21

из вершины , 7, в вершину , 15, по пути , [e7, e21], реализуется пассажиропоток ,
1., длина пути , 94.33

из вершины , 7, в вершину , 14, по пути , [e7, e8, e18, e15],
реализуется пассажиропоток , 3., длина пути , 233.89

из вершины , 1, в вершину , 7, по пути , [e1, e2, e3, e18, e8, e7],
реализуется пассажиропоток , 37., длина пути , 296.77

из вершины , 3, в вершину , 8, по пути , [e3, e18, e8],
реализуется пассажиропоток , 2., длина пути , 151.56

Распределенный поездопотока по ребрам ,

[54., 42., 43., 2., 2., 3., 80., 66., 28., 31., 26., 14., 14., 12., 3., 2., 2., 44., 0, 7., 2., 6.]

Показатель рациональности распределения потоков $Pr =$, 21686.11

$XX := \{x_{11,12,1} = 2., x_{6,11,1} = 6., x_{7,11,1} = 13., x_{1,11,1} = 11., x_{1,3,1} = 4., x_{6,12,1} = 1.,$
 $x_{3,11,2} = 1., x_{7,12,3} = 9., x_{6,15,1} = 1., x_{3,7,2} = 2., x_{8,15,1} = 1., x_{7,8,1} = 15., x_{6,7,1} = 3.,$
 $x_{1,6,1} = 1., x_{1,10,3} = 1., x_{11,14,1} = 2., x_{10,11,1} = 2., x_{7,15,2} = 1., x_{7,14,2} = 3., x_{1,7,2} = 37.,$
 $x_{3,8,1} = 2.\}$

РОЗПОДІЛ ПОТОКІВ ПОЇЗДА-МЕХАНІЧНА РОБОТА (ТУДИ)

из вершины , 1, в вершину , 10, по пути , [e1, e14, e15, e18, e9],
реализуется пассажиропоток , 1., длина пути , 2520.78

из вершины , 8, в вершину , 15, по пути , [e21], реализуется пассажиропоток , 1.,
длина пути , 444

из вершины , 3, в вершину , 8, по пути , [e3, e18, e8],
реализуется пассажиропоток , 2., длина пути , 1332.86

из вершины , 11, в вершину , 12, по пути , [e11], реализуется пассажиропоток ,
2., длина пути , 586.92

из вершины , 6, в вершину , 11, по пути , [e20, e22, e9, e10],
 реализуется пассажиропоток , 6., длина пути , 1070.91

из вершины , 1, в вершину , 6, по пути , [e1, e14, e15, e4, e5],
 реализуется пассажиропоток , 1., длина пути , 2415.86

из вершины , 7, в вершину , 8, по пути , [e7], реализуется пассажиропоток , 15.,
 длина пути , 372.16

из вершины , 3, в вершину , 11, по пути , [e3, e18, e9, e10],
 реализуется пассажиропоток , 1., длина пути , 1342.91

из вершины , 1, в вершину , 11, по пути , [e1, e14, e13, e12, e11],
 реализуется пассажиропоток , 11., длина пути , 2632.53

из вершины , 6, в вершину , 7, по пути , [e6], реализуется пассажиропоток , 3.,
 длина пути , 686

из вершины , 7, в вершину , 12, по пути , [e6, e5, e4, e17, e16],
 реализуется пассажиропоток , 9., длина пути , 1870

из вершины , 7, в вершину , 14, по пути , [e6, e5, e4, e15],
 реализуется пассажиропоток , 3., длина пути , 2024

из вершины , 10, в вершину , 11, по пути , [e10], реализуется пассажиропоток ,
 2., длина пути , 247.99

из вершины , 3, в вершину , 7, по пути , [e3, e4, e5, e6],
 реализуется пассажиропоток , 2., длина пути , 1676

из вершины , 7, в вершину , 15, по пути , [e7, e21], реализуется пассажиропоток ,
 1., длина пути , 816.16

из вершины , 1, в вершину , 3, по пути , [e1, e2], реализуется пассажиропоток ,
 4., длина пути , 1460.82

из вершины , 6, в вершину , 15, по пути , [e20], реализуется пассажиропоток , 1.,
 длина пути , 361

из вершины , 7, в вершину , 11, по пути , [e7, e8, e9, e10],
 реализуется пассажиропоток , 13., длина пути , 1341.93

из вершины , 6, в вершину , 12, по пути , [e5, e4, e17, e16],
 реализуется пассажиропоток , 1., длина пути , 1184

из вершины , 11, в вершину , 14, по пути , [e11, e12, e13],
 реализуется пассажиропоток , 2., длина пути , 1554.67

из вершины , 1, в вершину , 7, по пути , [e1, e14, e15, e4, e5, e6],
 реализуется пассажиропоток , 37., длина пути , 3101.86

Распределенный поездопотока по ребрам , [54., 4., 5., 53., 53., 54., 29., 15., 21., 22.,
 15., 13., 13., 50., 42., 10., 10., 4., 0, 7., 2., 6.]

Показатель рациональности распределения потоков $Pr =$, 223864.47

$$XX := \{x_{1,10,2} = 1., x_{8,15,1} = 1., x_{3,8,1} = 2., x_{11,12,1} = 2., x_{6,11,1} = 6., x_{1,6,2} = 1., x_{7,8,1} = 15., \\ x_{3,11,1} = 1., x_{1,11,1} = 11., x_{6,7,1} = 3., x_{7,12,1} = 9., x_{7,14,1} = 3., x_{10,11,1} = 2., x_{3,7,1} = 2., \\ x_{7,15,2} = 1., x_{1,3,1} = 4., x_{6,15,1} = 1., x_{7,11,1} = 13., x_{6,12,1} = 1., x_{11,14,1} = 2., x_{1,7,3} = 37.\}$$

РОЗПОДІЛ ПОТОКІВ ПОЇЗДА – ЧАС (ХВ.) (НАЗАД)

*из вершины , 11, в вершину , 3, по пути , [e11, e16, e17, e3],
реализуется пассажиропоток , 1., длина пути , 152.99*

*из вершины , 6, в вершину , 1, по пути , [e5, e4, e3, e2, e1],
реализуется пассажиропоток , 1., длина пути , 229.10*

*из вершины , 7, в вершину , 1, по пути , [e7, e8, e18, e3, e2, e1],
реализуется пассажиропоток , 37., длина пути , 297.07*

*из вершины , 15, в вершину , 6, по пути , [e20], реализуется пассажиропоток , 1.,
длина пути , 44*

*из вершины , 11, в вершину , 10, по пути , [e10], реализуется пассажиропоток ,
2., длина пути , 35.21*

*из вершины , 12, в вершину , 7, по пути , [e11, e10, e9, e8, e7],
реализуется пассажиропоток , 9., длина пути , 203.22*

*из вершины , 7, в вершину , 6, по пути , [e6], реализуется пассажиропоток , 3.,
длина пути , 84*

*из вершины , 14, в вершину , 11, по пути , [e13, e12, e11],
реализуется пассажиропоток , 2., длина пути , 108.92*

*из вершины , 12, в вершину , 11, по пути , [e11], реализуется пассажиропоток ,
2., длина пути , 50.99*

*из вершины , 7, в вершину , 3, по пути , [e7, e8, e18, e3],
реализуется пассажиропоток , 2., длина пути , 189.97*

*из вершины , 8, в вершину , 3, по пути , [e8, e18, e3],
реализуется пассажиропоток , 2., длина пути , 151.54*

*из вершины , 14, в вершину , 4, по пути , [e15], реализуется пассажиропоток , 1.,
длина пути , 82*

*из вершины , 15, в вершину , 8, по пути , [e21], реализуется пассажиропоток , 1.,
длина пути , 55*

*из вершины , 12, в вершину , 6, по пути , [e16, e17, e4, e5],
реализуется пассажиропоток , 1., длина пути , 146*

*из вершины , 10, в вершину , 1, по пути , [e10, e11, e12, e13, e14, e1],
реализуется пассажиропоток , 1., длина пути , 223.42*

из вершины , 11, в вершину , 6, по пути , [e10, e9, e22, e20],
 реализуется пассажиропоток , 6., длина пути , 137.26

из вершины , 11, в вершину , 7, по пути , [e10, e9, e8, e7],
 реализуется пассажиропоток , 13., длина пути , 152.23

из вершины , 11, в вершину , 1, по пути , [e11, e12, e13, e14, e1],
 реализуется пассажиропоток , 11., длина пути , 188.21

из вершины , 15, в вершину , 7, по пути , [e21, e7], реализуется пассажиропоток ,
 1., длина пути , 93.43

из вершины , 14, в вершину , 7, по пути , [e15, e18, e8, e7],
 реализуется пассажиропоток , 3., длина пути , 232.97

из вершины , 8, в вершину , 7, по пути , [e7], реализуется пассажиропоток , 15.,
 длина пути , 38.43

из вершины , 3, в вершину , 1, по пути , [e2, e1], реализуется пассажиропоток ,
 4., длина пути , 107.10

Распределенный поездопотока по ребрам ,
 [54., 42., 43., 2., 2., 3., 80., 66., 28., 31., 26., 14., 14., 12., 4., 2., 2., 44., 0, 7., 2., 6.]

Показатель рациональности распределения потоков $Pr =$, 21748.39

$XX := \{ x_{11,3,2} = 1., x_{6,1,1} = 1., x_{7,1,3} = 37., x_{15,6,1} = 1., x_{11,10,1} = 2., x_{12,7,1} = 9., x_{7,6,1} = 3.,$
 $x_{14,11,1} = 2., x_{12,11,1} = 2., x_{7,3,2} = 2., x_{8,3,1} = 2., x_{14,4,1} = 1., x_{15,8,1} = 1., x_{12,6,1} = 1.,$
 $x_{10,1,3} = 1., x_{11,6,1} = 6., x_{11,7,1} = 13., x_{11,1,1} = 11., x_{15,7,2} = 1., x_{14,7,2} = 3., x_{8,7,1} = 15.,$
 $x_{3,1,1} = 4. \}$

РОЗПОДІЛ ПОТОКІВ ПОЇЗДА – МЕХАНІЧНА РОБОТА (НАЗАД)

из вершины , 11, в вершину , 12, по пути , [e11], реализуется пассажиропоток ,
 2., длина пути , 641.98

из вершины , 8, в вершину , 15, по пути , [e21], реализуется пассажиропоток , 1.,
 длина пути , 444

из вершины , 1, в вершину , 3, по пути , [e1, e2], реализуется пассажиропоток ,
 4., длина пути , 1422.02

из вершины , 7, в вершину , 12, по пути , [e7, e8, e18, e17, e16],
 реализуется пассажиропоток , 9., длина пути , 1636.19

из вершины , 7, в вершину , 8, по пути , [e7], реализуется пассажиропоток , 15.,
 длина пути , 221.2

из вершины , 7, в вершину , 15, по пути , [e7, e21], реализуется пассажиропоток ,
 1., длина пути , 665.2

из вершины , 3, в вершину , 8, по пути , [e3, e18, e8],
 реализуется пассажиропоток , 2., длина пути , 1220.99

из вершины , 6, в вершину , 15, по пути , [e20], реализуется пассажиропоток , 1.,
 длина пути , 361

из вершины , 3, в вершину , 11, по пути , [e3, e18, e9, e10],
 реализуется пассажиропоток , 1., длина пути , 1318.45

из вершины , 3, в вершину , 7, по пути , [e3, e18, e8, e7],
 реализуется пассажиропоток , 2., длина пути , 1442.19

из вершины , 1, в вершину , 11, по пути , [e1, e14, e13, e12, e11],
 реализуется пассажиропоток , 11., длина пути , 2657.62

из вершины , 10, в вершину , 11, по пути , [e10], реализуется пассажиропоток ,
 2., длина пути , 156.14

из вершины , 6, в вершину , 7, по пути , [e6], реализуется пассажиропоток , 3.,
 длина пути , 686

из вершины , 6, в вершину , 12, по пути , [e5, e4, e17, e16],
 реализуется пассажиропоток , 1., длина пути , 1184

из вершины , 7, в вершину , 14, по пути , [e7, e8, e18, e15],
 реализуется пассажиропоток , 3., длина пути , 1790.19

из вершины , 6, в вершину , 11, по пути , [e20, e22, e9, e10],
 реализуется пассажиропоток , 6., длина пути , 1046.45

из вершины , 11, в вершину , 14, по пути , [e11, e12, e13],
 реализуется пассажиропоток , 2., длина пути , 1468.13

из вершины , 1, в вершину , 7, по пути , [e1, e2, e3, e18, e8, e7],
 реализуется пассажиропоток , 37., длина пути , 2864.21

из вершины , 1, в вершину , 6, по пути , [e1, e2, e3, e4, e5],
 реализуется пассажиропоток , 1., длина пути , 2412.02

из вершины , 1, в вершину , 10, по пути , [e1, e2, e3, e18, e9],
 реализуется пассажиропоток , 1., длина пути , 2584.33

из вершины , 7, в вершину , 11, по пути , [e7, e8, e9, e10],
 реализуется пассажиропоток , 13., длина пути , 1054.64

Распределенный поездопотока по ребрам , [
 54., 43., 44., 2., 2., 3., 80., 66., 21., 22., 15., 13., 13., 11., 3., 10., 10., 55., 0, 7., 2., 6.
]

Показатель рациональности распределения потоков $Pr =$, 205186.83

$XX := \{x_{11, 12, 1} = 2., x_{8, 15, 1} = 1., x_{1, 3, 1} = 4., x_{7, 12, 2} = 9., x_{7, 8, 1} = 15., x_{7, 15, 2} = 1., x_{3, 8, 1} = 2.,$
 $x_{6, 15, 1} = 1., x_{3, 11, 1} = 1., x_{3, 7, 2} = 2., x_{1, 11, 1} = 11., x_{10, 11, 1} = 2., x_{6, 7, 1} = 3., x_{6, 12, 1} = 1.,$
 $x_{7, 14, 2} = 3., x_{6, 11, 1} = 6., x_{11, 14, 1} = 2., x_{1, 7, 2} = 37., x_{1, 6, 1} = 1., x_{1, 10, 1} = 1., x_{7, 11, 1} = 13. \}$

ДОДАТОК Д

Д.1 Акт впровадження результатів дисертаційної роботи у навчальному процесі Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Д.2 Акти впровадження результатів дисертаційної роботи

ЗАТВЕРДЖУЮ

Перший проректор
Дніпропетровського національного
університету залізничного
транспорту

професор, д-р техн. наук
В. Лазаряна,



Б. Є. Боднар

Даним підтверджується, що наукові результати й методи дослідження, викладені в дисертаційній роботі Гусак Марини Анатоліївни на тему «Підвищення ефективності роботи залізничної колії при спеціалізації напрямків для вантажних і пасажирських перевезень», використовуються:

Методика економічної оцінки впливу інтенсивності вантажного та пасажирського руху на знос верхньої будови колії (під час дипломного проектування та в магістерських роботах, що виконуються за реальними вихідними даними на замовлення підприємств залізничного транспорту, для студентів п'ятого курсу спеціальності 7(8).07010801 «Залізничні споруди та колійне господарство», студентів ЦБО шостого курсу спеціальності 7(8).07010801 «Залізничні споруди та колійне господарство»);

Формування оптимальної схеми етапного оволодіння перевезеннями для паралельних залізничних ліній, визначення заходів по збільшенню пропускної та провізної спроможності (дисципліна «Проектування реконструкції залізниць», для студентів п'ятого курсу спеціальності 7(8).07010801 «Залізничні споруди та колійне господарство», студентів ЦБО шостого курсу спеціальності 7(8).07010801 «Залізничні споруди та колійне господарство»).

Завідувач кафедри «Проектування
і будівництво доріг»,
д-р техн. наук, професор

М. Б. Курган

17.09.2012

213

Затверджую:

Головний інженер
Головного управління колійного
господарства Укрзалізниці



В.О. Яковлев

2012 р.

Акт

про впровадження результатів дисертаційної роботи Гусак М.А.
«Підвищення ефективності роботи залізничної колії при спеціалізації
напрямків для вантажних і пасажирських перевезень»

Даним актом підтверджено, що результати дисертаційної роботи Гусак Марини Анатоліївни «Підвищення ефективності роботи залізничної колії при спеціалізації напрямків для вантажних і пасажирських перевезень» були використані при підготовці нормативного документу «Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України (ІЦП-0269)», що дозволило обґрунтовано встановлювати вимоги на улаштування та утримання колії, диференційовані норми по плану лінії (мінімальний радіус кругової кривої, підвищення зовнішньої рейки, довжину перехідних кривих) та по профілю (радіуси вертикальних кривих при сполученні елементів) на напрямках прискореного пасажирського руху, суміщеного й вантажного руху при розмежуванні перевезень.

Начальник технічного
управління головного управління
колійного господарства Укрзалізниці

А.І. Бабенко



МІНІСТЕРСТВО РЕГІОНАЛЬНОГО РОЗВИТКУ ТА БУДІВНИЦТВА УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО
"НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ТА ПРОЕКТНО-ВИШУКУВАЛЬНИЙ ІНСТИТУТ
ТРАНСПОРТНОГО БУДІВНИЦТВА

"КИЇВДІПРОТРАНС"

вул. С. Петлюри, 15, м. Київ, 01032, Україна, тел. (044) 288-2444, факс (044) 246-4705, E-mail: info@kgt.ua, Код ЄДРПОУ 04726917

16.04.12 № 12-783

На № _____ від _____

Акт

про впровадження результатів дисертаційної роботи Гусак М.А.
«Підвищення ефективності роботи залізничної колії при спеціалізації
напрямоків для вантажних і пасажирських перевезень»

Даним актом підтверджено, що отримані Гусак Мариною Анатоліївною в дисертаційній роботі «Підвищення ефективності роботи залізничної колії при спеціалізації напрямків для вантажних і пасажирських перевезень» результати наукових досліджень були використана при підготовці проекту Концепції Державної програми розвитку пасажирських перевезень до 2020 року в частині підвищення швидкостей руху поїздів і збільшення доходності за рахунок застосування нових схем періодичності ремонтів залізничної колії на напрямках розмежування пасажирського та вантажного руху поїздів.

Заступник директора „Київдіпротранс”
з наукової роботи, канд. техн. наук,
доцент



Б.І. Торопов





Акт

Про впровадження результатів дисертаційної роботи Гусак М. А.
«Підвищення ефективності роботи залізничної колії при спеціалізації
напрямоків для вантажних і пасажирських перевезень»

Даним актом підтверджено, що результати дисертаційної роботи Гусак Марини Анатоліївни «Підвищення ефективності роботи залізничної колії при спеціалізації напрямків для вантажних і пасажирських перевезень» прийняті до використання Львівською залізницею.

Розроблена модель встановлення схеми раціонального розподілу вантажних і пасажирських перевезень на замкнутих полігонах дозволяє оптимізувати параметри плану лінії, зменшити витрати на поточне утримання залізничної колії й експлуатаційні витрати на перевезення за рахунок уніфікації маси та довжини поїздів.

Запропонована модель була використана при виконанні таких робіт:

- Визначення швидкості руху поїздів в кривих ділянках колії на напрямку Красне-Тернопіль-Підволочиськ (договір з Тернопільською дистанцією колії № 29/Л/ПЧ-8-8-0819 від 03.04.2008 р., номер держреєстрації 0109U002991),
- Визначення проектних параметрів плану ділянки залізниці Львів-Красне-Зборів з мінімальними витратами на перебудову кривих для організації швидкісного руху (договір з Підзамчівською дистанцією колії Л/ПЧ-2-09-13 від 30.12.2010 р., номер держреєстрації 0110U007507).

Начальник Дирекції з будівництва
Бескидського тунелю
канд. техн. наук



Харлан В.І.

Акт

Про впровадження результатів дисертаційної роботи Гусак М. А.
«Підвищення ефективності роботи залізничної колії при спеціалізації
напряmkів для вантажних і пасажирських перевезень»

Даним актом підтверджено, що результати дисертаційної роботи Гусак Марини Анатоліївни «Підвищення ефективності роботи залізничної колії при спеціалізації напрямків для вантажних і пасажирських перевезень» прийняті до використання Службою колії Придніпровської залізниці.

Розроблена методика оцінки економічної ефективності усунення обмеження швидкості за параметрами і станом залізничної колії дозволяє оптимізувати параметри плану лінії, підвищити швидкості руху поїздів, зменшити витрати на поточне утримання залізничної колії в тому числі й за рахунок розмежування вантажного й пасажирського руху поїздів.

Запропоновану методику було застосовано при виконанні таких робіт:

Розробка рекомендацій щодо підвищення пропускну́ї й провізної здатності напрямку Лозова-Севастополь (договір з Придніпровською залізницею Пр/П-06176/НЮ від 01.02. 2006 р.)

Рекомендація та оцінка економічної ефективності усунення обмеження швидкості за параметрами і станом залізничної колії (договір №78/2011-Цтех-142/2011-ЦЮ від 12.09.2011 р.)

Виконання тягових розрахунків для рухомого складу типу «Hyundai Rotem» на ділянці Куми-Новомосковськ-Дніпропетровськ (договір № ПР/НПП-111088/НЮ/ 77.13.11.11 від 22.12. 2011 р.)

Начальник служби колії
Придніпровської залізниці



16.06.2012

В. М. Коблик