

**Ministry of Education and Science of Ukraine
Ukrainian State University of Science and Technologies**

Building, architecture and infrastructure

(faculty)

Transport infrastructure

(department)

Explanatory Note

to Master's Thesis

magistr

(higher education degree)

on the topic: The influence of the maximum speed on the traction and energy indicators during the reconstruction of the railway section

according to educational curriculum: Railway constructions and track management

in the Speciality: 273 «Rail transport»

Done by the student of the group: KG2326

/ Viacheslav PESHCHERSKYKH/

(name, surname)

Scientific Supervisor:

/Full Professor Mykola KURHAN /

(position, name, surname)

Normative controller:

/ Associate Professor Sergiy BAIDAK/

(position, name, surname)

Supervisors:

/ Assistant Nelya KHMELEVSKA/

(position, name, surname)

Dnipro – 2025

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет: Будівництво, архітектура та інфраструктура

Кафедра: Транспортна інфраструктура

Рівень вищої освіти: Магістр

Освітня програма: Залізничні споруди та колійне господарство

Спеціальність: Залізничний транспорт

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

Олексій ПЮТЬКІН

(підпис)

« ____ » _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу _____ магістр
(ступінь вищої освіти)

студенту **Пещерських В'ячеславу Сергійовичу**

Тема роботи: Вплив максимальної швидкості на тягово-енергетичні показники при реконструкції ділянки залізниці

Керівник роботи: Курган Микола Борисович, професор, доктор технічних наук

Затверджена наказом від 16.02.2024 №157 ст.

2. Строк подання студентом роботи – 15 січня 2025 р.

3. Вихідні дані:

Район проектування – Дніпропетровська область	Довжина прийм.- відправних колій – 850 м	
Початковий пункт – П'ятихатки	Система СЦБ - АБ	
Кінцевий пункт – Дніпро	Верхня будова колії:	
Довжина лінії, км – 121	Тип рейок – Р65	Баласт, см
Керівний ухил, ‰ – 9	Тип шпал – залізобет.	Щебінь/пісок – 35/20
Кількість головних колій – 2	Маса поїзда:	
Вид тяги – електрична	вантажного 5000/4600, швидкісного – 400 т	
Рухомий склад – ДЕ1, Hunday	Ширина земляного полотна – 11-12 м	

4. Вантажонапруженість на 10-й рік експлуатації: 10/10 млн. ткм/км

5. Зміст розрахунково-пояснювальної записки:

1 Аналітична частина

- 1.1 Огляд наукових досліджень за зазначеною проблемою. Мета роботи. Актуальність дослідження.
- 1.2. Аналіз колійної інфраструктури, профілю і плану ділянки залізниці П'ятихатки-Дніпро.
- 1.3. Програма впровадження швидкісного руху поїздів на залізницях України

2 Основна частина

- 2.1 Допустимі швидкості руху поїздів для існуючого технічного стану ділянки П'ятихатки – Дніпро

2.2 Тягові розрахунки			
2.3 Дослідження впливу параметрів плану на допустимі швидкості руху поїздів			
3 Економічна частина			
3.1 Аналіз можливих варіантів підвищення швидкості на перегонах і станціях			
3.2 Встановлення впливу максимальної швидкості на тягово-енергетичні показники при реконструкції ділянки залізниці			
3.3. Висновки й рекомендації щодо доцільності підвищення швидкості руху на ділянці П'ятихатки – Дніпро при впровадженні швидкісного руху поїздів.			
4 Охорона праці та захист навколишнього середовища			
4.1 Охорона праці під час виконання робіт з перебудови залізничної колії			
4.2 Заходи з охорони навколишнього середовища на етапі реконструкції колії			
5. Перелік графічного матеріалу: Графіки залежності тягово-енергетичних показників від максимальної швидкості. Презентація на 12-15 слайдах			
6. Консультанти розділів роботи:			
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Завдання видав:	Завдання прийняв:
		(підпис, дата)	(підпис, дата)
1	Курган М. Б., професор		
2.1	Курган М. Б., професор		
2.2, 2.3	Хмелевська Н.П., асистент		
3	Курган М. Б., професор		
4	Курган М. Б., професор		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Відсотки
1	Огляд наукових досліджень за зазначеною проблемою. Програма впровадження швидкісного руху поїздів на залізницях України. Мета роботи.	02.10.2024	10
2	Аналіз колійної інфраструктури, профілю і плану ділянки залізниці П'ятихатки – Дніпро.	16.10.2024	10
3	Допустимі швидкості руху поїздів для існуючого технічного стану ділянки П'ятихатки – Дніпро	01.11.2024	15
4	Виконання тягових розрахунків.	20.11.2024	35
5	Аналіз можливих варіантів підвищення швидкості на перегонах і станціях. Встановлення впливу максимальної швидкості на тягово-енергетичні показники при реконструкції ділянки залізниці.	11.12.2024	10
6	Заходи з охорони навколишнього середовища на етапі впровадження залізничної колії європейського стандарту	25.12.2024	10
7	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри	15.01.2025	10
8	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії	За розкладом ЕК	100

Студент

В'ячеслав ПЕЦЕРСЬКИХ

_____ (підпис)

Керівник роботи

Микола КУРГАН

_____ (підпис)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи магістра:

51 с., 18 рис., 11 табл., 4 додатки, 13 джерел.

Найменування роботи: «Вплив максимальної швидкості на тягово-енергетичні показники при реконструкції ділянки залізниці»

Об'єкт досліджень – двоколійна ділянка залізниці з електричною тягою.

Предмет досліджень – Тягово-енергетичні показники при різних рівнях максимальної швидкості на ділянці П'ятихатки – Дніпро.

Мета роботи – розробка рекомендацій щодо економічно доцільної ліквідації бар'єрних місць, що перешкоджають реалізації високих швидкостей руху на ділянці П'ятихатки – Дніпро, з метою досягнення максимальної швидкості та дослідження впливу максимальної швидкості на тягово-енергетичні показники при реконструкції ділянки залізниці.

Методи дослідження. Методика полягає в застосуванні розробленої математичної моделі, яка дозволяє оцінювати вплив максимальної швидкості на тягово-енергетичні показники при реконструкції ділянки залізниці. Розрахунки виконано з використанням програмного комплексу MoveRW.

Одержані результати. Використовуючи досвід європейських країн досліджені умови, за яких доцільно підвищувати рівень максимальної швидкості при реконструкції напрямку. На основі результатів вітчизняних та зарубіжних наукових розробок намічено шляхи вирішення проблеми, що стосується впровадженню швидкісного руху поїздів з урахуванням існуючої інфраструктури, геополітичних, топографічних та інших умов.

Ключові слова: залізнична колія, реконструкція існуючих напрямків, план лінії, максимальна швидкість, тягово-енергетичні показники, пропускна спроможність.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	9
1.1 Огляд наукових досліджень за зазначеною проблемою. Мета роботи. Актуальність дослідження.	9
1.2 Аналіз колійної інфраструктури, профілю і плану ділянки залізниці П’ятихатки – Дніпро.....	11
1.3 Програма впровадження швидкісного руху поїздів на залізницях України	18
2 ОСНОВНА ЧАСТИНА	21
2.1 Допустимі швидкості руху поїздів для існуючого технічного стану ділянки П’ятихатки – Дніпро.....	21
2.2 Тягові розрахунки.....	23
2.3 Дослідження впливу параметрів плану на допустимі швидкості руху поїздів	28
3 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	32
3.1 Аналіз можливих варіантів підвищення швидкості на перегонах і станціях	32
3.2 Встановлення впливу максимальної швидкості на тягово-енергетичні показники при реконструкції ділянки залізниці.....	35
3.3 Висновки й рекомендації щодо доцільності підвищення швидкості руху на ділянці П’ятихатки – Дніпро при впровадженні швидкісного руху поїздів. ...	38
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	41
4.1 Охорона праці під час виконання робіт з перебудови залізничної колії ...	41
4.2 Заходи з охорони навколишнього середовища на етапі реконструкції колії	43
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	47
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	49

ВСТУП

До військової агресії в Україні проводилася активна робота щодо організації швидкісного залізничного сполучення, що, безумовно, поліпшується якість обслуговування пасажирів. Укрзалізниця має Програму впровадження швидкісного руху пасажирських поїздів. Але досягти максимальної швидкості 160 км/год тільки за рахунок організаційно-технологічних заходів (перерозподіл поїздопотоків на мережі, вдосконалення графіка руху поїздів, раціонального використання наявних технічних засобів) неможливо. Необхідно впроваджувати й більш дорогі заходи – реконструкцію залізниці, що включає заміну верхньої будови колії, штучних споруд та інших пристроїв залізниці, а також проведення реконструктивних робіт пов'язаних, перш за все, з перебудовою кривих і горловин станцій.

Ділянка «Дніпро – П'ятихатки» є важливою частиною залізничної інфраструктури України, яка має свої специфічні особливості з точки зору вантажних і пасажирських перевезень, а також можливості організації швидкісного руху. Ця ділянка є частиною напрямку «Дніпро – Київ», для якого виконуються роботи з реконструкції з метою впровадження швидкісного руху поїздів. При впровадженні швидкісного руху поїздів досліджується вплив максимальної швидкості на тягово-енергетичні показники при реконструкції ділянки залізниці. Для цього буде виконаний аналіз інфраструктури, параметрів плану і подовжнього профілю.

Підвищення швидкості руху запропоновано здійснювати поетапно. Рух прискорених пасажирських поїздів здійснюється існуючими електровозами ЧС-7 постійного струму, вантажних поїздів – електровозами ВЛ10, ВЛ11у і ДЕ1.

Для виконання розрахунків з визначення перебудови ділянки виконуються тягові розрахунки для чого вихідні дані, насамперед, профіль, план лінії повинні бути представлені в електронному вигляді.

Криві є однією з основних причин обмеження швидкості, а тому будуть установлені швидкості руху, що допускаються, за планом лінії. При виконанні тягових розрахунків визначається часу руху, витрати електроенергії та інші

показники відповідно до рівня швидкості встановленого на перегонах і станціях.

На підставі проведеного дослідження й аналізу в кваліфікаційній магістерській роботі будуть дані рекомендації з установки підвищення зовнішньої рейки та доцільності корегування параметрів кривих.

Окремі результати цієї роботи доповідалися на Всеукраїнській наук.-техн. конференції студентів і молодих учених, Дніпро, 27 листопада 2024 р. і отримали схвалення [1].

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Огляд наукових досліджень за зазначеною проблемою. Мета роботи. Актуальність дослідження.

Актуальною проблемою залишається покращення плавності і комфортабельності їзди. Це підтверджується порівнянням плавності руху поїздів на наших і закордонних залізницях, у країнах, де багато років функціонує швидкісний і високошвидкісний рух.

Як оцінюється комфортабельність їзди? Чутливість людини до інфранизкочастотної вібрації значною мірою індивідуальна, однак тенденції залежностей самопочуття людини від частоти, рівня і тривалості (експозиції) впливу вібрації для всіх людей однакові.

Ефект нагромадження впливу вібрації на людину легко простежити з документу [2]. Наприклад, вібрація з частотою 1 Гц і амплітудою віброприскорень $0,5 \text{ м/с}^2$ протягом однієї хвилини не порушує відчуття комфортності, протягом чотирьох годин викликає значну втому (втрату реакції, апатію), а після 16 годин у людини може з'явитися симптомокомплекс заколисування: нудота, слабкість, затримка пульсу. Виходячи зі сказаного вище, стандартом ISO 2631/1-1985 обговорені три градації впливу вібрації на людину: межа комфорту, межа працездатності і межа впливу. Для кожної з цих градацій обговорені граничні рівні віброприскорень у заданому частотному діапазоні (у межах третьоктавного фільтру) і при заданій експозиції.

Стандарт ISO 2631-1 був оновлений у 1997 році, замінивши версію 1985 року. Ця версія була підтверджена в 2021 році, що свідчить про її актуальність. В Україні цей стандарт впроваджено як національний стандарт ДСТУ ISO 2631-1:2004 під назвою «Вібрація та удар механічні. Оцінка впливу загальної вібрації на людину. Частина 1. Загальні вимоги».

Таким чином, для оцінки впливу загальної вібрації на людину рекомендується використовувати оновлені версії стандартів ISO 2631 та їхні національні аналоги, що враховують сучасні наукові досягнення та практичний досвід у цій галузі.

Діючий в Україні документ ДСТУ ISO 2631-1:2004 нормує інтегральну оцінку вібробезпеки «плавність ходу» пасажирських, вантажних вагонів і локомотивів.

Ще в 40-х роках минулого століття Е. Шперлинг на підставі проведених їм досліджень навів формулу для розрахунку коефіцієнта плавності руху W , що враховувала інтенсивність наростання прискорень, амплітуду прискорень і кінетичну енергію, яку здобуває при коливаннях одинична маса пасажиря. Показник плавності ходу не має точного нормованого значення. Він визначає оцінку якості їзди і час утоми пасажиря. Якщо прийняти $W = 3,25$, то після розрахунків отримаємо прискорення $\alpha = 0,6 \text{ м/с}^2$. Такий висновок справедливий при постійно діючому прискоренні протягом 4,2 години (час утоми пасажиря). При середній швидкості руху 60 км/год за цей час поїзд пройде 250 км, тобто тут не йдеться про оцінку руху для короткої ділянки чи окремо узятої кривої.

Слід відмітити, що наведений далеко неповний перелік нормативних документів орієнтований в основному на рухомий склад, а не на пасажиря.

У 1994 р. на засіданні комітету рухомого складу ОСЗ у Парижі в 1994 р. [3] була прийнята методика по визначенню комфортабельності їзди пасажирів. Цей документ нормує рівні вібрації, при яких пасажир рейкового транспорту почуває себе комфортно. Викладена методика суттєво відрізнялася від попередніх, бо іспити рухомого складу проводилися на магістральних залізницях з експлуатаційними швидкостями.

Насьогодні існує оновлена версія документа UIC 513 R. У 2005 році було опубліковано нову редакцію під назвою «UIC 513 (E) - Guidelines for evaluating passenger comfort in relation to vibration in railway vehicles». Ця версія містить оновлені рекомендації щодо оцінки комфорту пасажирів у зв'язку з вібрацією в залізничних транспортних засобах.

Рекомендується використовувати найновішу версію цього документа для забезпечення відповідності сучасним стандартам та практикам оцінки комфорту пасажирів.

Історія вибору критеріїв для оцінки плавності й комфортабельності їзди

пасажирів при русі поїзда в кривій докладно описані в роботі проф. О. П. Ершкова. За основні критерії прийняті такі: непогашені прискорення – α_{nn} , м/с², швидкість зміни непогашеного прискорення – ψ , м/с³ і швидкість підйому колеса по відводу підвищення зовнішньої рейки – f , мм/с.

Досвід експлуатації показав, що вище наведені критерії є не тільки характеристиками плавності руху й умов комфортабельності їзди пасажирів, вони також відбивають рівень динамічного впливу на колію.

Відповідно до Положення про проведення планово-запобіжних ремонтно-колійних робіт на залізницях України [4], звертається увага на те, що при модернізації й посиленому капітальному ремонті колії крім заміни рейко-шпальної решітки на рейкові пліті безстикової колії довжиною в перегін (блок-ділянку) повинні виконуватись такі роботи:

- виправлення з постановкою колії у проектне положення в профілі;
- виправлення кривих в плані з відновленням проектних радіусів;
- збільшення радіусів кривих до передбачених проектом з відповідним перевлаштуванням земляного полотна та штучних споруд;
- приведення розмірів земляного полотна у відповідність до встановлених нормативів; зрізання узбіччя земляного полотна;
- ремонт водовідвідних і укріплювальних споруд;
- реконструкція горловин станцій.

Другу й третю роботу, з наведеного переліку, розглянемо більш докладно для оцінки впливу максимальної швидкості на тягово-енергетичні показники при реконструкції ділянки залізниці.

1.2 Аналіз колійної інфраструктури, профілю і плану ділянки залізниці П'ятихатки – Дніпро

До початку військової агресії в Україні активно працювали над організацією швидкісного залізничного сполучення, що значно покращувало якість обслуговування пасажирів. Укрзалізниця розробила Програму впровадження швидкісного руху пасажирських поїздів. Однак досягнення

максимальної швидкості 160 км/год лише за рахунок організаційно-технологічних заходів (таких як оптимізація розподілу поїздопотоків, удосконалення графіків руху та ефективне використання наявної техніки) є неможливим. Для цього необхідно впроваджувати масштабніші заходи, зокрема реконструкцію залізничної інфраструктури, яка включає заміну верхньої будови колії, ремонт штучних споруд та інших елементів, а також проведення реконструктивних робіт, пов'язаних із перебудовою кривих та горловин станцій.

Ділянка «Дніпро – П'ятихатки» є важливою частиною залізничної інфраструктури України, яка має свої специфічні особливості з точки зору вантажних і пасажирських перевезень, а також можливості організації швидкісного руху (рис. 1.1).

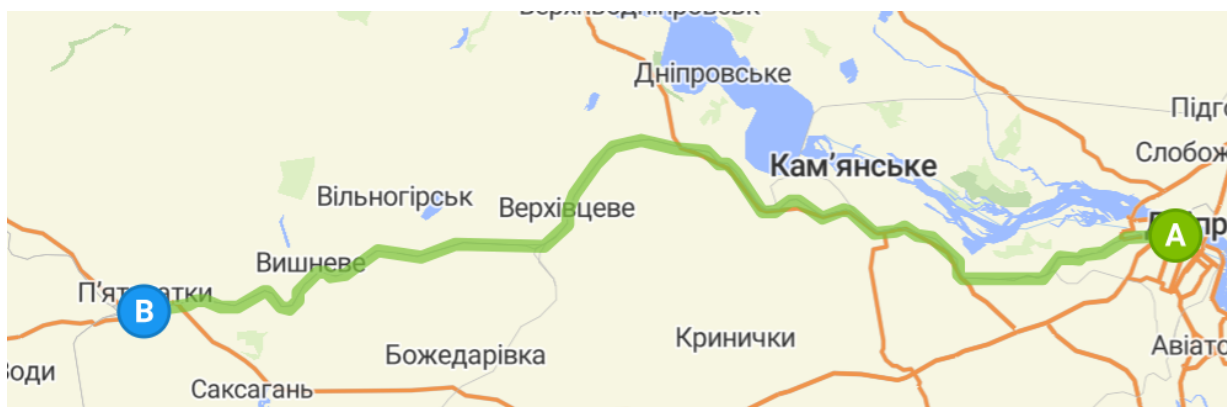


Рисунок 1.1 – Схема дослідної ділянки П'ятихатки – Дніпро

Характеристика ділянки:

1. Вантажні перевезення. Ця ділянка є стратегічною для перевезення вантажів між промисловими регіонами Дніпропетровської області, Криворізького залізничного басейну, а також для транспортування продукції металургійних підприємств. Значні обсяги перевезень руди, металів, вугілля та інших масових вантажів.

2. Пасажирські перевезення. Ділянка активно використовується для міжміських пасажирських перевезень, забезпечуючи сполучення між містами Дніпро, П'ятихатки та іншими населеними пунктами. Є важливим вузлом для пересадки пасажирів, зокрема у напрямку Києва, Одеси, Львова та інших ключових центрів. Спостерігається висока інтенсивність руху в години пік через

міжобласні та регіональні поїзди.

3. Організація швидкісного руху. Ця ділянка має перспективу для організації швидкісного руху через відносно рівнинний рельєф і вже наявну електрифікацію. Однак для впровадження швидкісного руху необхідна модернізація інфраструктури: заміна стрілочних переводів на високошвидкісні типи, виправка колії для забезпечення дотримання геометричних параметрів, особливо в кривих, удосконалення системи сигналізації та зв'язку, організація підвищеної безпеки на переїздах.

Виклики для швидкісного руху: велике навантаження від вантажних перевезень може ускладнювати інтеграцію швидкісних поїздів. Постало питання щодо необхідності розмежування потоків пасажирських і вантажних перевезень для мінімізації затримок, розвитку інфраструктури.

Ця ділянка має великий потенціал для подальшого розвитку, зокрема в контексті швидкісного пасажирського руху, за умови реалізації відповідних інфраструктурних проектів.

Щоб визначитись з необхідними заходами щодо модернізації й реконструкції тих чи інших ділянок лінії був проведений аналіз технічного стану, параметрів поздовжнього профілю й плану. У якості прикладу на рисунку 1.2 і 1.3 наведена загальна характеристика профілю й плану лінії Київ – Дніпро.

Як видно з рисунка 1.2, найбільш складними за профільними умовам є ділянки Миронівка – Т. Шевченко і Знам'янка – П'ятихатки – Дніпро. Зменшуючи масу поїзда, навіть при існуючих електровозах, можна вирішити задачу підвищення максимальної швидкості. Більш серйозною сьогодні є задача підвищення швидкості руху в кривих.

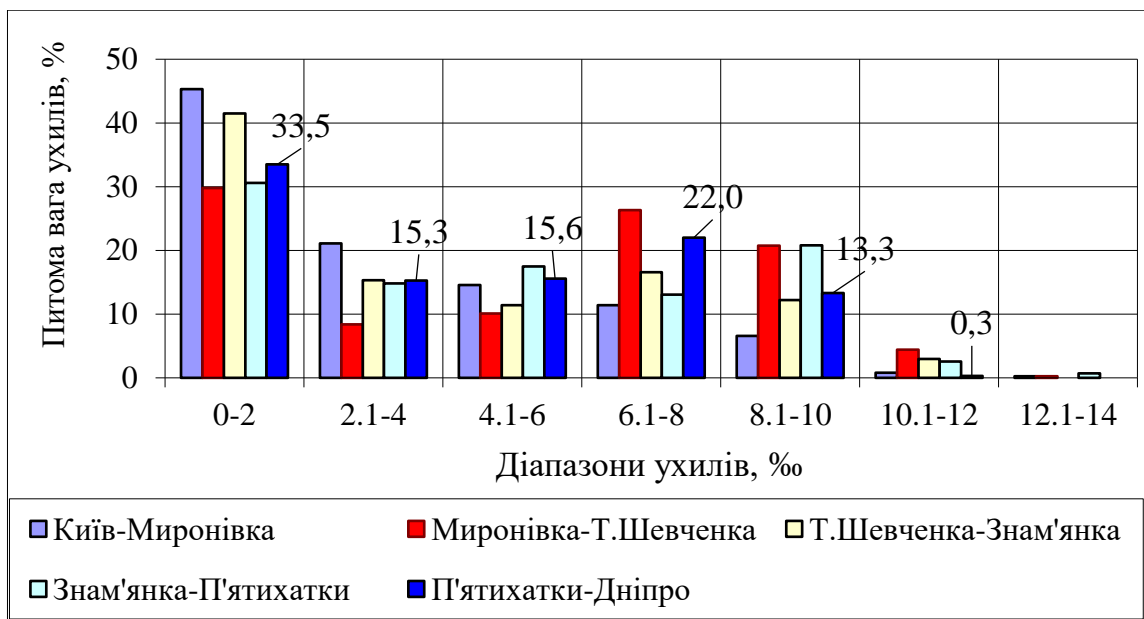


Рисунок 1.2 – Гістограма розподілу ухилів

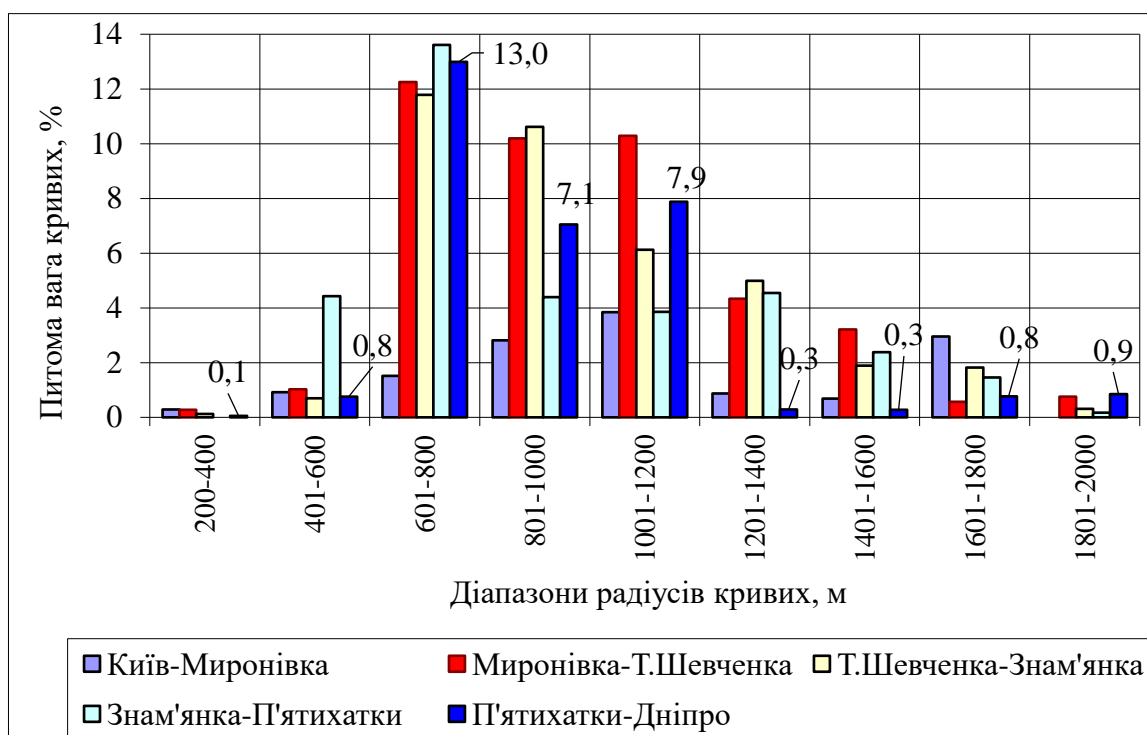


Рисунок 1.3. – Гістограма розподілу кривих

З рисунка 1.3 видно, що найскладнішими з точки зору плану лінії є ділянки «Миронівка – Т. Шевченка» і «Т. Шевченка – Знам'янка». Не набагато кращий план і ділянки «П'ятихатки – Дніпро».

Ліквідація таких бар'єрних місць як криві, поставила перед практиками і науковцями задачу обґрунтування параметрів плану лінії (мінімального радіуса,

підвищення зовнішньої рейки, довжини перехідних кривих і прямих вставок між суміжними кривими) в залежності від структури поїздопотоків, рівня максимальної швидкості та ін. факторів.

Ділянка залізничної лінії «П'ятихатки – Дніпро» довжиною 121 км двоколейна, електрифікована на постійному струмі. У пасажирському і вантажному рухах обслуговується локомотивами ЧС7 і ДЕ1. Маса вантажного поїзда на ділянці «П'ятихатки – Дніпро» у непарному напрямку 5000 т, у парному – 4600 т. Технічна швидкість руху 40...50 км/год, дільнична – 35...37 км/год.

На ділянці «П'ятихатки – Дніпро» переважними є ухили крутістю від 0 до 1,0 ‰. Сумарна їхня довжина складає 25,7 км (21,5%) (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Довжина ухилів подовжнього профілю (у % від довжини ділянки)

Діапазон ухилів профілю (у ‰)	Довжина ухилів, %
-11... -9	1,5
-9...-8	8,0
-8...-7	6,7
-7...-6	6,7
-6...-5	4,7
-5...-3	6,5
-3...-1	8,6
-1...0	4,6
0...0,5	21,5
0,5...1	1,6
1...2	1,6
2...4	6,8
4...5	2,1
5...6	5,9
6...7	6,2
7...8	2,2
8...9	4,0

Аналіз плану показує, що криві складають 34,8% від загальної протяжності лінії. Найбільш складним є перегін «Верхівцево – Воскобійня», де

криволінійні ділянки складають 60,3%. Тут зосереджено 27,1% кривих радіусом 600...700 м (табл. 1.2).

З аналізу випливає, що найбільш складними з погляду плану і профілю лінії є перегони «Верхівцеве – Воскобійня», «П'ятихатки – Ерестівка» і «Баглій – Сухачівка».

Таблиця 1.2 – Довжина кривих (у % від загальної довжини ділянки)

Діапазон радіусів кривих, м	Довжина кривих, %
300...600	0,8
600...620	1,3
620...650	8,1
650...700	2,4
700...900	6,2
900...1100	9,3
1100...2000	2,8
2000...6700	3,8
прямі	65,3

Переважаючим елементом земляного полотна є насип. Для відсипання земляного полотна були використані ґрунти другої групи з розвіданих кар'єрів, а також з виїмок. Найбільша висота насипу складає близько десяти метрів.

На ділянці розташовано 13 роздільних пунктів, з них 3 станції по прийому, переробці і відправленню поїздів і 10 – проміжних станцій. На 7-ми станціях влаштовані острівні пасажирські платформи, що при збільшенні швидкості більш 120 км/год потребують реконструкції.

Міжстанційні перегони обладнані автоматичним блокуванням. Для поліпшення умов експлуатації при підвищенні швидкостей руху поїздів, необхідно визначити розрахунком і змінити довжину блок-ділянок.

При підготовці ліній до введення підвищених швидкостей руху рівня 140 км/год в умовах суміщеного пасажирського і вантажного руху у відношенні плану лінії мають бути вирішені дві задачі:

- визначення необхідного підвищення зовнішньої рейки в кривій конкретного радіуса для забезпечення заданої максимальної швидкості;
- визначення мінімального радіуса, який необхідно прийняти при реконструкції плану лінії, якщо за рахунок установавання відповідного підвищення в кривій не вдається досягти встановленої максимальної швидкості.

Перша задача вирішується з використанням вимог «Правил» ЦП-0236. Складностей з визначенням необхідного підвищення зовнішньої рейки при встановленому рівні максимальної швидкості не виникає, якщо радіуси кривих більші за 1200 м. При радіусах менших за 1200 м вона практично не розв'язується і необхідна перебудова кривої зі збільшенням радіуса. Друга задача впливає з першої.

Підвищення зовнішньої рейки в кривих визначається, в основному, з використанням двох формул:

$$h_{розр} = 12,5 \cdot \frac{V_{срзв}^2}{R}, \quad (1.1)$$

$$h_{min} = 12,5 \cdot \frac{V_{maxnac}^2}{R} - 115. \quad (1.2)$$

Підвищення зовнішньої рейки, розраховане за першою формулою, мінімізує вплив поперечних сил на рейкові нитки, що створює оптимальні умови для функціонування колії під впливом усіх поїздів, які проходять через криву. Метод визначення середньозваженої швидкості з урахуванням тоннажу враховує, що по кривій рухаються поїзди різних категорій із різними швидкостями – від найменшої до максимально допустимої.

При встановленні підвищення, обумовленого другою формулою, виходять із умови обмеження непогашених прискорень направлених від центру при проходженні найбільш швидкого поїзда нормою $[\alpha_{nn}]_{nac} = 0,7 \text{ м/с}^2$.

У кривих з радіусами 1900–1700 м і 1400–1300 м підвищення зовнішньої рейки, необхідне для забезпечення швидкості 140 км/год, може виявитися надмірним для вантажних поїздів, які рухаються з меншою, ніж середньозважена, швидкістю. Це може призвести до перевантаження

внутрішньої рейкової нитки, збільшення поперечних сил, які розпирають колію, а також до прискореного зносу елементів колії та рухомого складу. Для запобігання цього явища рекомендоване підвищення, не повинне перевищувати значень розрахованих за формулою:

$$h_{\max} = 12,5 \cdot \frac{V_{\min \text{ ван}}^2}{R} + 50. \quad (1.3)$$

У формулі (1.3) значення 50 мм це надлишкове підвищення в порівнянні з підвищенням, отриманим за формулою (1.1), при якому забезпечується неперевищення непогашеного прискорення направленою усередину кривої $[\alpha_{nn}]_{\text{ван}} = -0,3 \text{ м/с}^2$. Раціональний рівень непогашених прискорень для вантажних поїздів $\pm 0,3 \text{ м/с}^2$ був прийнятий за умови мінімального зносу рейкової колії. Допустимим значенням щодо безпеки руху й комфортності для пасажирів є непогашені прискорення $0,7 \text{ м/с}^2$.

У кривих радіусами менше 1200 м при $V_{\max} = 140 \text{ км/год}$, як правило, настає обмеження підвищення за третім критерієм (формула 1.3). У цьому випадку потрібно виконувати перебудову кривих.

1.3 Програма впровадження швидкісного руху поїздів на залізницях України

Розробку «Концепції впровадження швидкісного руху пасажирських поїздів на залізницях України в 2005-2015 роках» було доручено Дніпропетровському національному університету залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна (ДНУЗТ).

За існуючими нормативами до швидкісних належать залізниці, по яким рухаються поїзди зі швидкістю понад 160 км/год. Але кінцевий результат перевезень визначається не максимальною, а маршрутною швидкістю, які на основних напрямках українських залізниць у 1,2 – 1,5 рази нижчі, ніж у сусідніх країнах. Маршрутна швидкість між обласними центрами в даний час складає $(0,48...0,53) V_{\max}$ (таблиця 1.3). Досвід закордонних країн показує, що співвідношення маршрутної швидкості до максимальної повинно бути 0,70 - 0,90. Приймаючи на перспективу для залізниць України відношення

$V_{\text{мар}}/V_{\text{max}} = 0,60 \dots 0,80$, які підтверджують необхідність підвищення, крім маршрутної, максимальної швидкості до 160 км/год і вище.

Таблиця 1.3 – Швидкості руху поїздів та час поїздки

Напрямок	Показник					Маршрутна V_m (чисельник) і максимальна V_{max} (знаменник) швидкості, км/год, якщо час поїздки становить, год	
	Довжина, км	Час поїздки, год	Маршрутна швидкість	$\frac{V_i^{\text{існ}}}{V_{\text{max}}}$	$\frac{V_i^{\text{нр}}}{V_{\text{max}}}$	6	5
1	2	3	4	5	6	9	10
Київ – Дніпро	531	9,2	57,7	0,48	0,67	$\frac{89}{140}$	$\frac{106}{160}$

Аналіз пасажиропотоків на напрямку Київ – Дніпро показав, що введення на цьому напрямку прискорених поїздів не призвів до зниження заселеності існуючих нічних поїздів. Прискорені поїзди (через незначну їх кількість 1-2 пари на добу) заселені вийнятковно за рахунок приросту обсягів перевезень. Аналогічна тенденція очікується і на інших напрямках.

Впровадження швидкісного руху на напрямках Київ – Харків, Київ – Донецьк, Київ – Дніпро передбачається здійснювати поетапно, з подальшим поступовим нарощуванням обсягів перевезень.

На першому етапі впроваджується прискорений рух пасажирських поїздів (V_{max} до 160 км/год) при маршрутній швидкості до 100-110 км/год. Така програма реалізована на напрямках Київ – Харків, Київ – Дніпро. Час поїздки пасажирів скорочено до 6 год. за рахунок модернізації залізничної інфраструктури (колійне господарство, рухомий склад, контактна мережа та засоби сигналізації).

На другому етапі передбачається підвищити швидкість поїздів до 160-200 км/год на тих напрямках, де не можна було забезпечити рух денних експресів за прийнятний час. Для досягнення більшої маршрутної швидкості

пасажирських поїздів необхідно майже повністю виключити вантажні перевезення. На цьому етапі вартість реконструкції інтенсивно зростає і складає в середньому 2,0-2,5 млн грн. на кожні 10 км/год підвищення маршрутної швидкості.

Впровадження третього етапу, тобто швидкості руху більшої за 200 км/год, являє собою віддалену перспективу. Для створення високошвидкісної магістралі потрібна окрема траса, спеціальні конструкції колії, колійних пристроїв, штучних споруд, спеціалізований рухомий склад.

2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 Допустимі швидкості руху поїздів для існуючого технічного стану ділянки П'ятихатки – Дніпро

Допустима швидкість руху поїздів в поодиноких і сполучених кривих визначалась за Правилами ЦП-0236 відповідно до схеми, рис. 2.1.

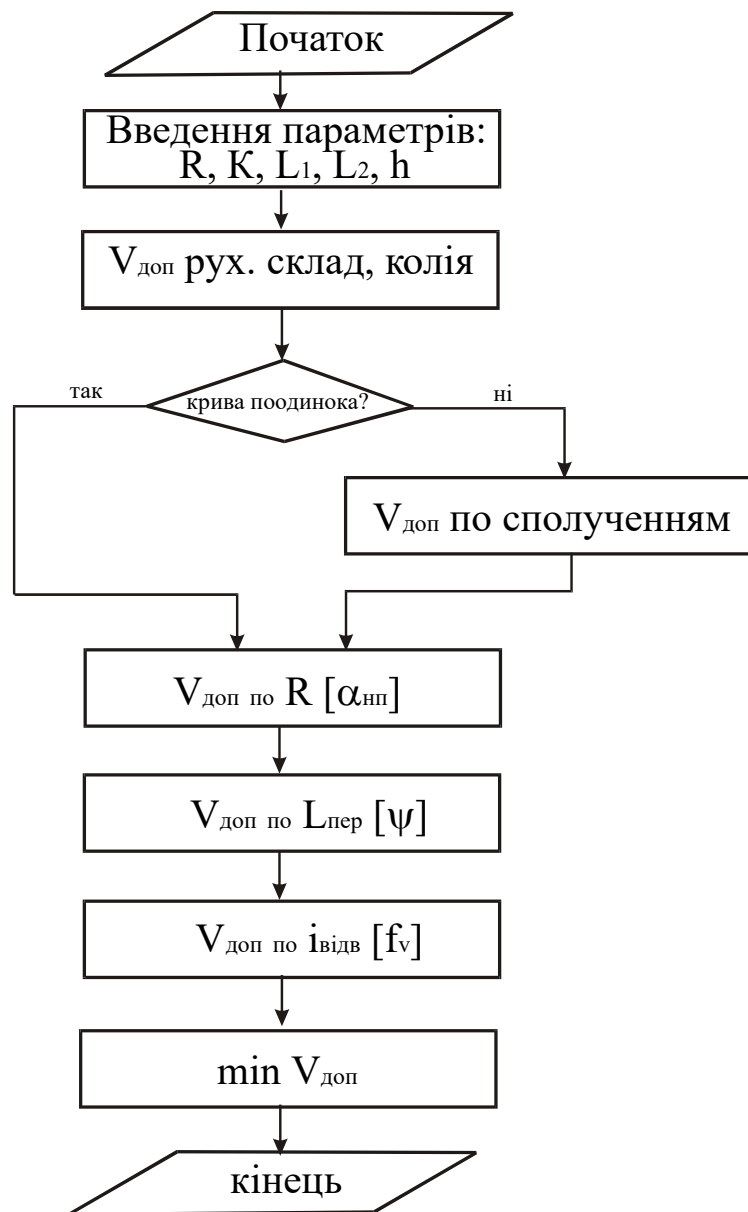


Рисунок 2.1 – Технологічна послідовність визначення швидкості руху поїзда в кривих

В якості прикладу, розглянемо одинока крива радіусом 810 м між 116 – 117 км, рис. 2.2. Параметри кривої до і після перебудови наведені у таблиці 2.1

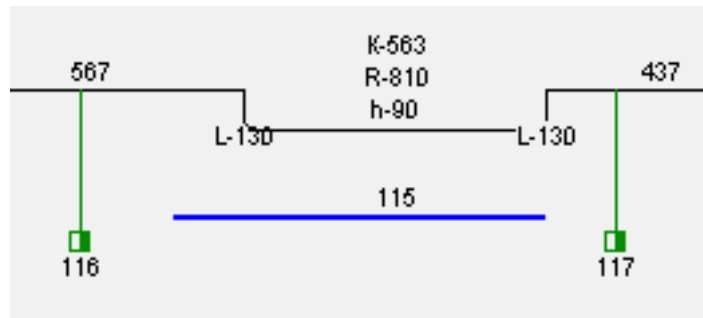


Рисунок 2.2 – Схема кривої і рівень допустимої швидкості руху по ній

Таблиця 2.1 – Параметри кривої до і після перебудови

Параметр	Кілометр	Довжина, м	Радіус, м	Підвищен- ня, мм	Допустима швидкість, км/год	Формула
Існуючий стан						
перехідна		130				ф. 1: R=810; h=90; $\alpha=0,7$
кругова крива	116+305	563,07	810	90	115	
перехідна		130				
Збільшення підвищення зовнішньої рейки						
перехідна		130				ф. 1: R=810; h=120; α =0,7
кругова крива	116+305	563,07	810	120	125	
перехідна		130				
Збільшення підвищення і довжини перехідної кривої						
перехідна		150				ф. 1: R=810; h=140; $\alpha=0,7$
кругова крива	116+305	563,07	810	140	130	
перехідна		150				

На рисунку 2.3 наведена трьохрадіусна крива між 113-114 км. Параметри кривої після перебудови наведені у таблиці 2.2.

Допустима швидкість визначена за формулою Д.1 [5] (див. табл. 2.2) в залежності від приведених параметрів $C_{прив}$ і $\sum i$.

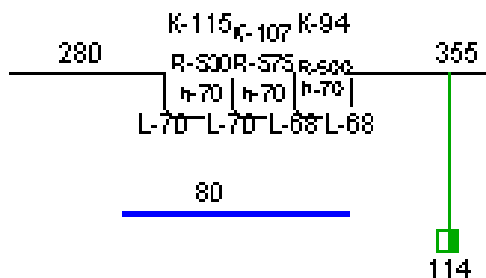


Рисунок 2.3 – Схема сполучених кривих і рівень допустимої швидкості руху по ним

Таблиця 2.2 – Параметри сполучених кривих до перебудови

Параметр	Кілометр	Довжина, м	Радіус, м	Підвищення, мм	Допустима швидкість, км/год	Формула
перехідна		70				Д.1: C=18431; i=0.0010; $\psi=0,3$
кругова крива	113+519	114,55	530	70	80	
перехідна		70				
перехідна		70				
кругова крива	113+634	107,38	575	70	80	
перехідна		70				
перехідна		70				
кругова крива	113+741	94.5	500	70	80	
перехідна		70				

Допустимі швидкості руху визначались відповідно до методики, викладеної в нормативному документі «Правила визначення підвищення зовнішньої рейки і встановлення допустимих швидкостей у кривих ділянках колії, ЦП-0236» [5].

2.2 Тягові розрахунки

Для визначення впливу максимальної швидкості на тягово-енергетичні показники при реконструкції ділянки залізниці були виконані тягові розрахунки за сертифікованою програмою «MoveRW» [6]. Як вихідні дані задавалися параметри поздовжнього профілю та плану лінії, обмеження в кривих, на роздільних пунктах та інших бар'єрних місцях, а також дані про рухомий склад

(рис. 2.4-2.7). Меню програми наведено на рис. 2.4.

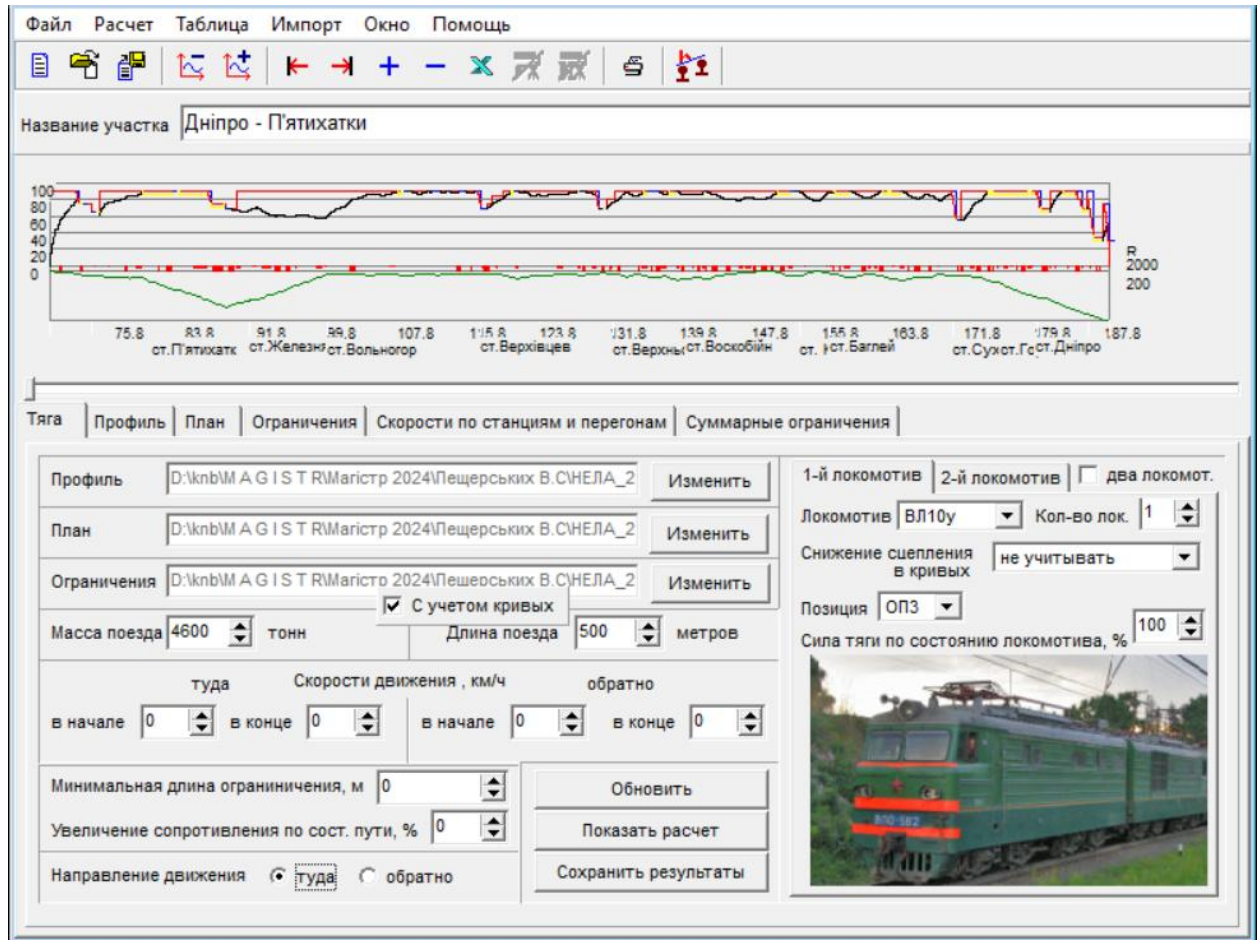


Рисунок 2.4 – Меню програми «MoveRW»

Вихідні дані про рухомий склад прийнято згідно з наказом від 23.11.2018 № 628/Н. Керівний ухил на ділянці (непарний і парний напрямки) 8,8/8,3‰. Локомотиви: ВЛ8, ВЛ11у, ДЕ1. Уніфікована маса рухомого складу 5000/4600 тонн.

Параметрами поздовжнього профілю є ухил (y ‰) і довжина елемента (y метрах), що задаються в табличному вигляді. Крім цього вказується відмітка рівня головки рейки на початку ділянки (рис. 2.5). Тягові розрахунки виконуються від осі до осі станції.

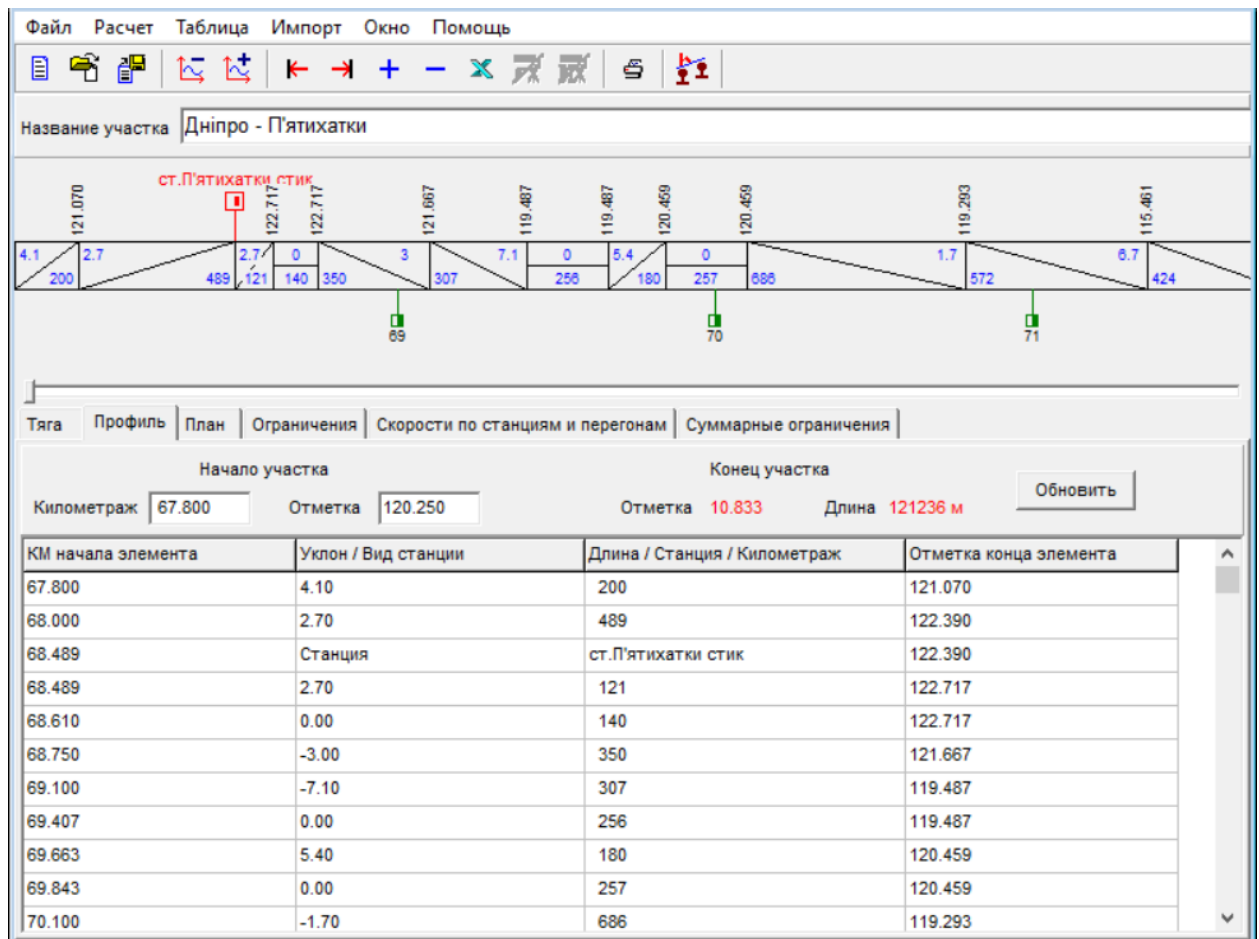


Рисунок 2.5 – Фрагмент поздовжнього профілю в електронному виді

План описується параметрами ланцюжка елементів (пряма, перехідна крива, кругова крива поворот вправо, кругова крива поворот уліво). Для всіх елементів необхідно вводити довжину (у метрах), для кругової кривої – радіус (у метрах) і підвищення зовнішньої рейки (у міліметрах). Для першого елемента повинна бути введена кілометрова відмітка його початку (рис. 2.6).

Тип элемента	КМ начала элемента	Длина, м	Радиус, м	Возвышение, мм	*	Скорость, км/ч	Причина
прямая	67.800	1701.520					
переходная		60.000					
круговая лево	69.502	423.160	640.00	60	95	RWPlan	
переходная		60.000					
прямая	69.925	1995.050					
переходная		60.000					
круговая лево	71.920	70.290	1350.00	15			
переходная		0.000					
круговая лево	71.990	140.060	900.00	30	75	RWPlan	
переходная		0.000					
круговая лево	72.130	73.490	630.00	45			
переходная		60.000					

Рисунок 2.6 – Приклад плану лінії в електронному виді

Допустима швидкість руху поїздів у поодиноких і сполучених кривих визначається відповідно до Правил ЦП-0236 [5]. Вона встановлюється з урахуванням забезпечення плавності ходу, безпеки руху та комфорту пасажирів. В експлуатації приймається найменша допустима швидкість, розрахована на основі параметрів кривих, міцності колії та інших факторів (рис. 2.7).

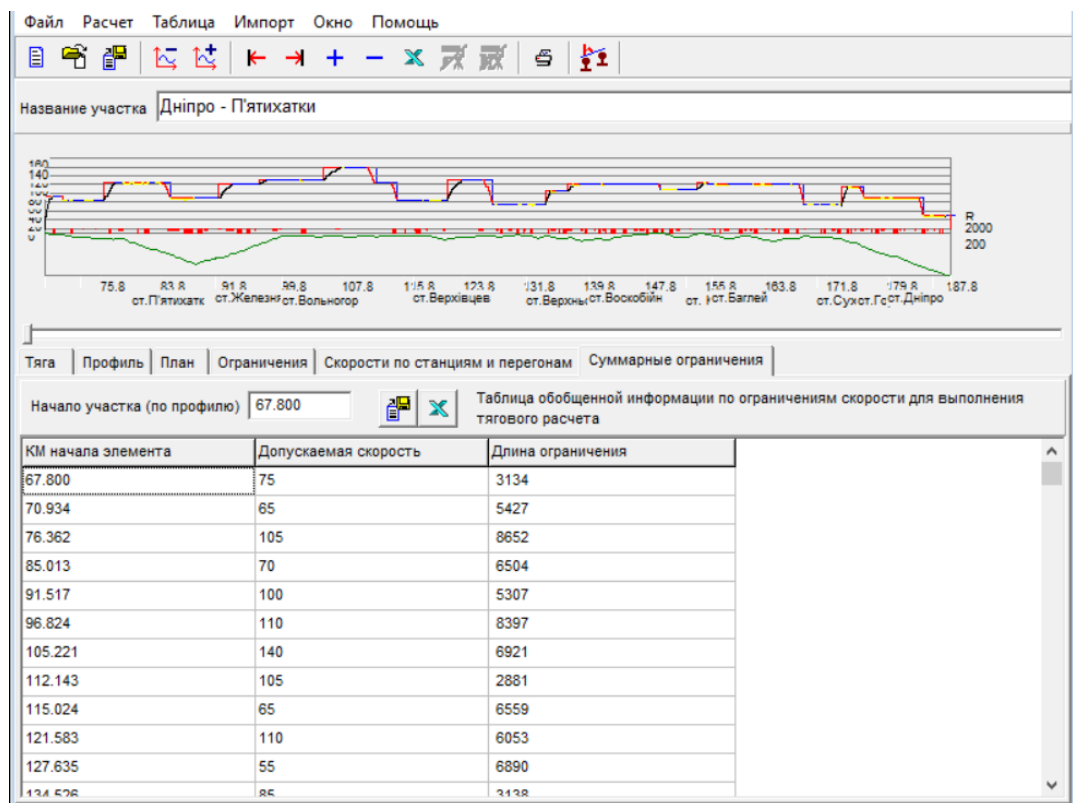


Рисунок 2.7 – Приклад даних за планом колії в електронному вигляді

Для вантажного руху прийнятий локомотив ВЛ10 з масою состава 4000 т, для пасажирського руху – ЧС7 з масою состава 1000 т. Результати наведені в табл. 2.3 і для ВЛ10у на рис. 2.8 і 2.9.

Таблиця 2.3 – Результати тягових розрахунків для існуючого і перспективних варіантів

Варіант (максимальна швидкість)	Час руху, хв.		Механічна робота локомотива, ткм		Середня швидкість руху, км/год	
	туди	назад	туди	назад	туди	назад
	Вантажний рух					
ВЛ8, маса 4000 т	93,9	97,7	1637	2196	75,4	72,5
ВЛ10у, маса 5000 т	96,2	105,4	1931	2561	73,6	67,2
	Пасажирський рух					
ЧС7, маса 1000 т	78,0	78,5	720	901	109,2	108,9

Результати тягових розрахунків наведено в додатка А, Б, В і Д.



Рисунок 2.8 – Крива швидкості руху, план і поздовжній профіль (П'ятихатки – Дніпро, 4600 т)

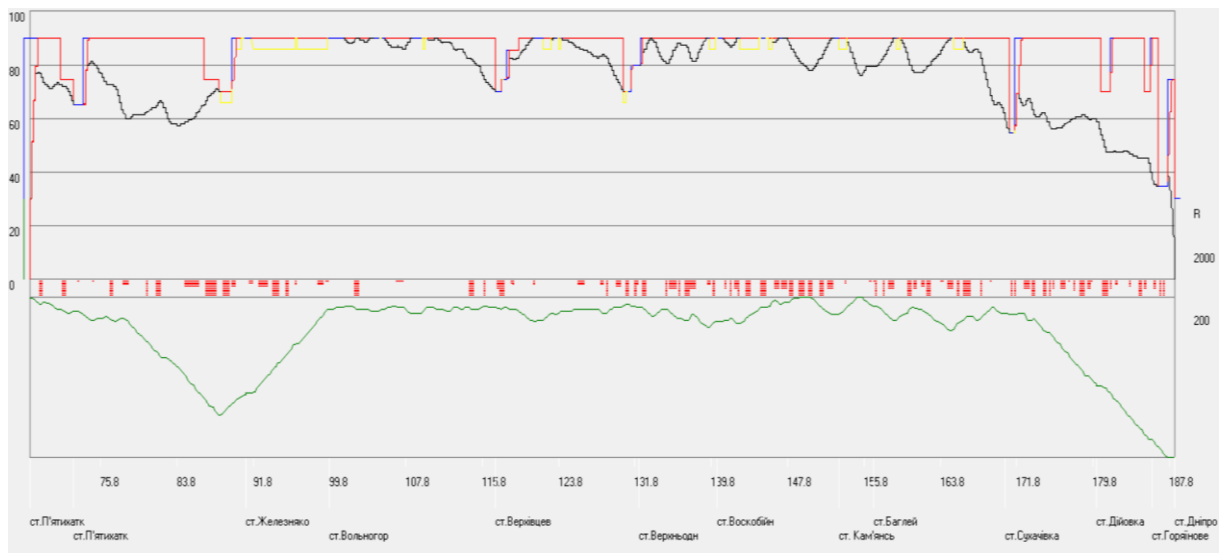


Рисунок 2.9 – Крива швидкості руху, план і поздовжній профіль (Дніпро – П’ятихатки, 5000 т)

2.3 Дослідження впливу параметрів плану на допустимі швидкості руху поїздів

Допустима швидкість у кругових кривих за умови неперевищення норм прискорень, рекомендується визначати за формулою

$$V = 3,6 \sqrt{R \left([\alpha_{nn}] + \frac{g}{S} h \right)} \quad (2.1)$$

де R – радіус кривої, м;

h – підвищення зовнішньої рейки, мм;

$[\alpha_{nn}]$ – допустиме значення прискорення, м/с^2 .

Для багаторадіусної кривої допустима швидкість визначається за ділянкою з найменшим радіусом та відповідним їй підвищенням зовнішньої рейки. Водночас на інших ділянках кривої з більшими радіусами необхідно дотримуватися нормативів щодо граничних непогашених прискорень, які розраховуються за відповідною формулою.

$$\alpha_{nn i} = \frac{V}{13R_i} - \frac{g}{S} h_i, \quad (2.2)$$

де R_i і h_i – величини радіуса й підвищення в характерних точках кривої.

При розбіжностях відводів підвищення і кривизни і при коротких

довжинах одного з відводів варто перевірити допустиму швидкість по неперевищенню величини зміни непогашеного прискорення $[\psi]$

$$\frac{(\alpha_{nn(i-1)} - \alpha_{nn(i)})V}{3,6\Delta L} \leq [\psi], \quad (2.3)$$

де $\alpha_{nn(i-1)}$ і $\alpha_{nn(i)}$ – величини непогашених прискорень у суміжних точках, що відповідають початку і кінцю відводів по кривизні й підвищенню;

ΔL – відстань між характерними точками.

Швидкості руху по сполученнях кривих із прямими вставками довжиною до 25 метрів або без вставок розраховуються за формулами, наведеними в Додатку [5]. Основним фактором, що обмежує підвищення швидкості руху на існуючих залізницях, є план лінії, оскільки саме криві значною мірою визначають надійність роботи колії та максимально можливу швидкість.

У чинному нормативному документі України [7] зазначено: «Величину найменшого радіуса кривих під час посилення (реконструкції) існуючих залізниць слід встановлювати залежно від запланованих швидкостей руху пасажирських і вантажних поїздів, а також від радіусів кривих у наявній колії». Ці рекомендації фактично вичерпують вимоги щодо реконструкції чинних залізниць. Натомість нормативні дані, наведені в таблиці 6.4 [7], стосуються рекомендованих і допустимих радіусів кривих лише для нових залізниць, що проектуються.

Методика визначення мінімальних радіусів кривих за умов забезпечення міцності і стійкості колії і рухомого складу, безпеки руху і комфорту пасажирів викладена в роботі [8]. Дотримання цих умов описується трьома розрахунковими формулами:

– забезпечення однакової силової дії на обидві рейкові нитки від сумарного потоку поїздів

$$\sum Q_i^{30} = \sum Q_i^{60} \quad (2.4)$$

– неперевищення непогашених прискорень, спрямованих від центру кривої при проходженні найбільш швидкого поїзда

$$\alpha_{нпнас} \leq [\alpha_{нп}]_{зо} \quad (2.5)$$

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

$$\alpha_{нпвант} \leq [\alpha_{нп}]_{вн} . \quad (2.6)$$

Зі спільного вирішення умов (2.4) і (2.5), одержуємо формулу для визначення R_{\min}

$$R_{\min} = \frac{V_{\max нс}^2 - kV_{\text{серзв}}^2}{3,6^2 [\alpha_{нп}]_{зо}} , \quad (2.7)$$

де $V_{\max нс}$ – максимальна швидкість, реалізована в даній кривій пасажирським поїздом, км/год;

$V_{\text{серзв}}$ – середньозважена швидкість поїздопотоку;

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

З формули (2.7) випливає, що для визначення R_{\min} необхідно знати значення ходових швидкостей поїздів усіх категорій. Якщо пасажирські поїзди менш чутливі, то вантажні, навпаки, більш чутливі до конфігурації поздовжнього профілю і величини ухилу в місці знаходження кривої, а тому співвідношення середньозважених швидкостей до максимальної можуть бути різними: від $0,4V_{\max}$ до $0,7V_{\max}$. Результати розрахунків за формулою (2.7) представлені у вигляді графіків на рисунку 2.10

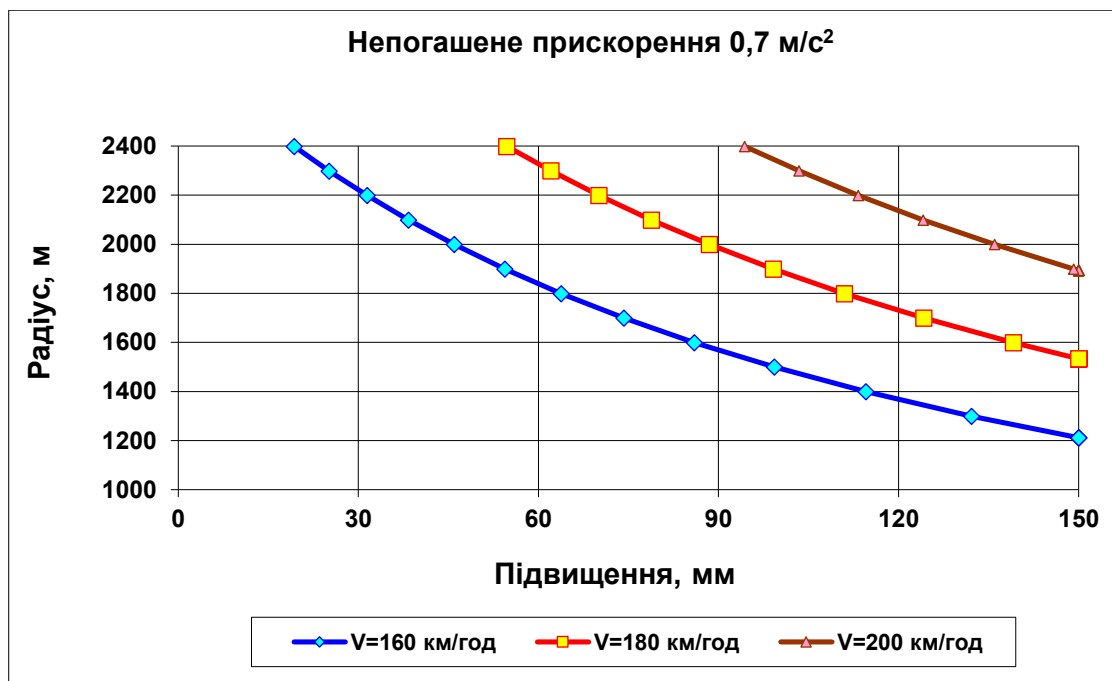


Рисунок 2.10 – Залежність величини радіуса кривої від підвищення зовнішньої рейки для максимально встановленої швидкості 160, 180 і 200 км/год (при $\alpha_{un} = 0,7 \text{ м/с}^2$).

Запропонований підхід дає змогу в кожному окремому випадку оптимально визначити мінімальний радіус кривої, який забезпечує задану максимальну швидкість руху, плавність ходу та комфортність їзди, водночас мінімізуючи витрати на реконструкцію кривої на пасажирських маршрутах.

3 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Аналіз можливих варіантів підвищення швидкості на перегонах і станціях

На напрямках прискореного руху, де ще не виконано відокремлення вантажного і пасажирського руху, спостерігаються більш високі швидкості пасажирських поїздів. У подальших розрахунках для аналізу та оцінки негативних наслідків такого суміщення розглядаються максимальні швидкості до 160 км/год. При суміщеному русі швидкість 160 км/год можлива лише на кривих з радіусом 1500 м і більше. Для швидкості 140 км/год граничними є радіуси кривих 1200–1400 м, а для швидкості 120 км/год – 1000–1200 м.

Підвищення швидкості за наявності кривих малого радіуса можливе лише за умови їх реконструкції, яка передбачає збільшення радіуса або часткове підвищення зовнішньої рейки. Це можна реалізувати, якщо частину вантажних перевезень буде перенесено на паралельні маршрути.

З формули (2.7) випливає, що підвищення швидкості може бути досягнуто двома способами:

- збільшення підвищення зовнішньої рейки і, за потреби, подовження перехідних кривих до необхідної довжини;
- збільшення радіуса кругової кривої.

Наприклад, швидкість 160 км/год можна забезпечити:

- при радіусі кривої 1650 м із мінімальним підвищенням зовнішньої рейки 30 мм і мінімальною довжиною перехідної кривої 50 м.
- при мінімально допустимому радіусі 1050 м із максимальним підвищенням зовнішньої рейки 150 мм і довжиною перехідної кривої 220 м (див. табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – 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

На рис. 3.1 наведено зведені графіки, що враховують виконання декілька умов одночасно і виключають помилки при знаходженні R_{min}^{pek} і R_{min}^{don} .

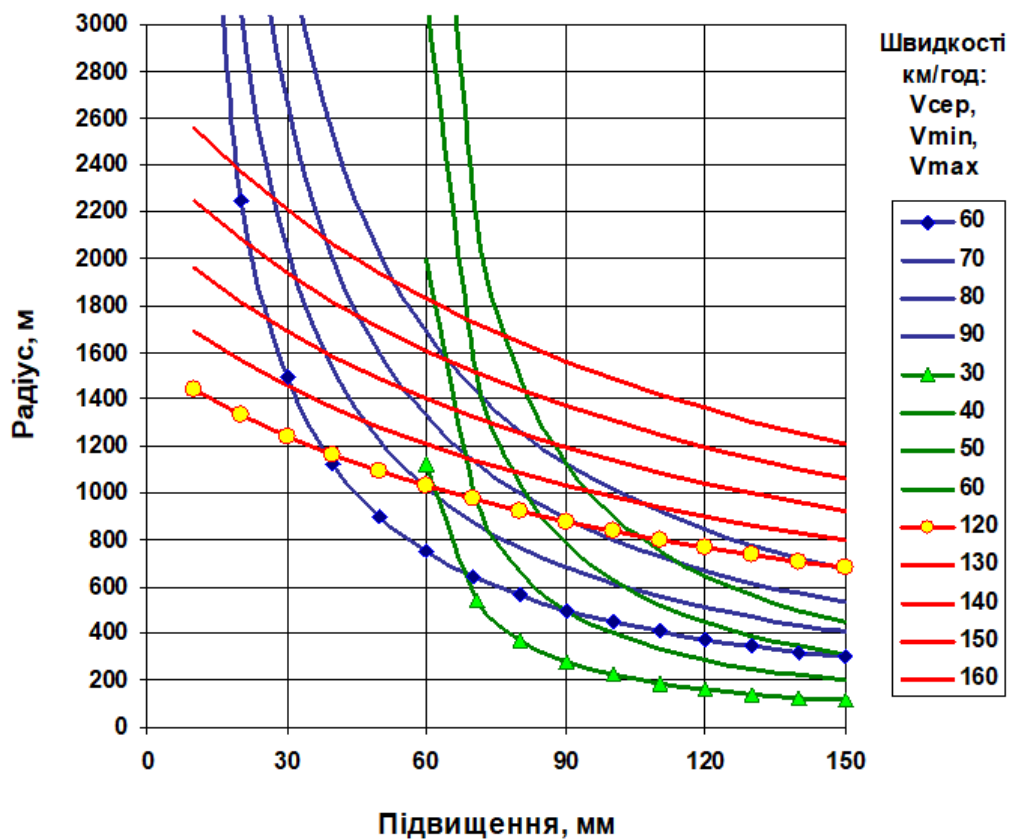


Рисунок 3.1 – Графіки залежності радіуса від та підвищення зовнішньої рейки в кривій [ЦП-0236, рис. А4]

Виходячи з попереднього матеріалу (див. розділ 2) у таблиці 3.2 наведено перелік кривих на ділянці «П'ятихатки – Дніпро», що підлягають збільшенню радіусу.

Таблиця 3.2 – Параметри кривих до і після збільшення радіусу

Місце знаходження	До реконструкції				Після реконструкції			
	Параметри кривої			$V_{\text{доп}}$, км/год	Параметри кривої			$V_{\text{доп}}$, км/год
	R, м	h, мм	l, м		R, м	h, мм	l, м	
км 76–77	1052	100	100	130	1200	90	120	140
км 121–122	1048	80	85	125	1200	90	120	140
км 126–127	1064	60	80	120	1200	90	120	140
км 128–129	1039	75	100	125	1200	90	120	140
км 130–131	853	60	100	110	900	90	120	120

Чотири з наведених у таблиці кривих знаходяться на одному перегоні «Верхівцеві – Верхньодніпровськ». До реконструкції за своїми параметрами вони обмежували швидкість руху відносно максимально можливої на перегоні 140 км/год. Для такого варіанту виходячи з виконаних тягових розрахунків, які враховують довжину розгону і гальмування, опір від повздовжнього профілю та плану, швидкість 140 км/год може бути реалізована лише на довжині 1,5 км, що є недостатнім для практичного застосування.

Реконструкція кривих відповідно до таблиці 3.2 дає можливість встановити швидкість на цьому перегоні на довжині 8 км з урахуванням необхідного розгону від станції Верхівцеве, рисунок 3.2, що вже може бути практично реалізовано.

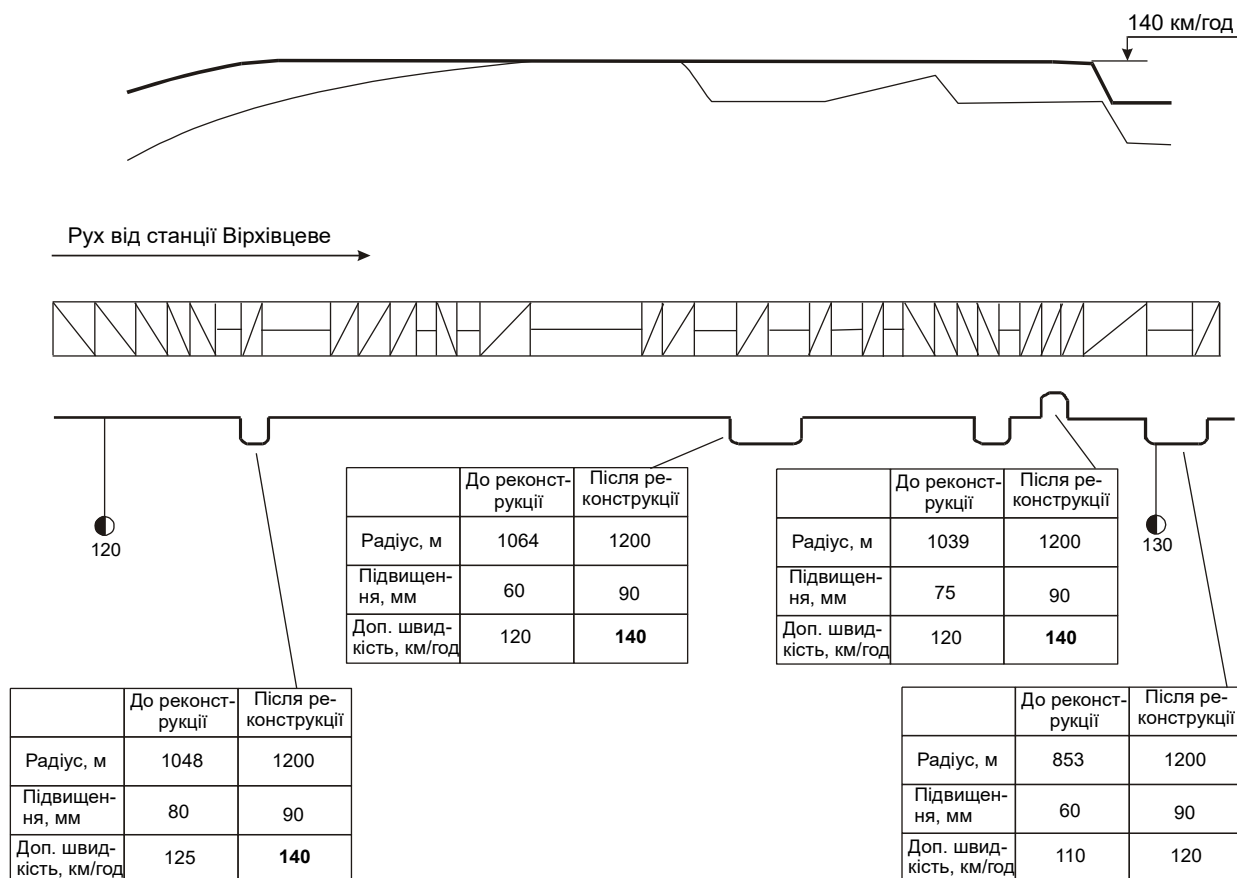


Рисунок 3.2 – Криві швидкості за тяговими розрахунками до і після збільшення радіусу кривих на перегоні «Верхівцеве – Верхньодніпровськ»

3.2 Встановлення впливу максимальної швидкості на тягово-енергетичні показники при реконструкції ділянки залізниці

Для встановлення впливу максимальної швидкості на тягово-енергетичні показники при реконструкції ділянки залізниці були виконані тягові розрахунки за програмою «MoveRW» для вантажного й пасажирського руху.

Нижче наведені результати для поїзда Hyundai, масою 600 тонн, табл. 3.3.

Доцільно порівняти витрати електроенергії й час руху швидкісного поїзда Hyundai при різних рівнях максимальної швидкості, табл. 3.4

Таблиця 3.3 – Результати тягових розрахунків

Характеристика	Напрямок	Відстань,	V _{max} ,	V _{ср} ,	Витрати,	Мехробота	Робота гальм	Час
руху	руху	м	км/год	км/год	кВт-год	ткм	ткм	руху, хв.
ВЛ10, Q = 4600/5000 тонн								
V _{max} 90 км/год	на Дніпро	119852	90	76	5403,9	1833,4	1136,2	94,2
	на П'ятихатки	119851	90	73	6989,6	2361,4	656,0	98,9
Hyunday, Q = 600 тонн								
V _{max} 140 км/год	на Дніпро	119852	140	97	3221,8	974,7	644,8	73,8
	на П'ятихатки	119851	140	98	3701,8	1118,9	582,1	73,4
Hyunday, Q = 600 тонн								
V _{max} 130 км/год	на Дніпро	119852	130	97	3094,6	935,6	611,9	74,2
	на П'ятихатки	119851	130	97	3536,3	1068,2	538,7	73,8
Hyunday, Q = 600 тонн								
V _{max} 120 км/год	на Дніпро	119852	120	96	2829,1	854,5	541,8	74,9
	на П'ятихатки	119851	120	96	3267,4	986,1	466,2	74,6
Hyunday, Q = 600 тонн								
V _{max} 110 км/год	на Дніпро	119852	110	94	2356,1	710,6	414,0	76,3
	на П'ятихатки	119851	110	95	2819,8	849,98	345,0	75,9
Hyunday, Q = 600 тонн								
V _{max} 100 км/год	на Дніпро	119852	100	91	1924,0	579,3	305,9	79,3
	на П'ятихатки	119851	100	91	2398,9	722,1	239,0	79,0

Таблиця 3.4 – Тягово-енергетичні показники за напрямками руху

V, км/год	100	110	120	130	140
Витрати електроенергії					
т	1924	2356	2829	3095	3222
о	2399	2820	3267	3536	3702
т+о	4323	5176	6096	6631	6924
	100.0	119.7	141.0	153.4	160.2
Час руху					
т	79	76	75	74	74
о	79	76	75	74	73
т+о	158	152	150	148	147
	100.0	96.1	94.4	93.5	93.0

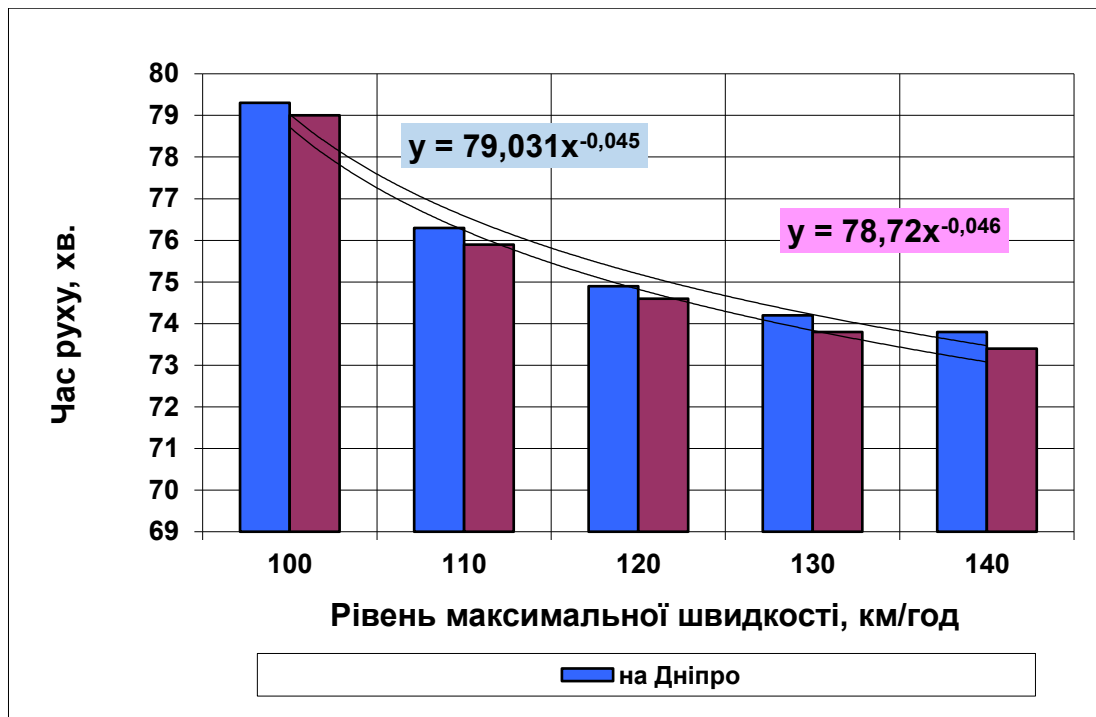


Рисунок 3.3 – Залежність часу руху від рівня максимальної швидкості

Як випливає з рис. 3.3, час руху скорочується за степеневою залежністю. Якщо прийняти час, що відповідає швидкості 100 км/год, то при швидкості 140 км/год час руху скорочується всього на 7%.

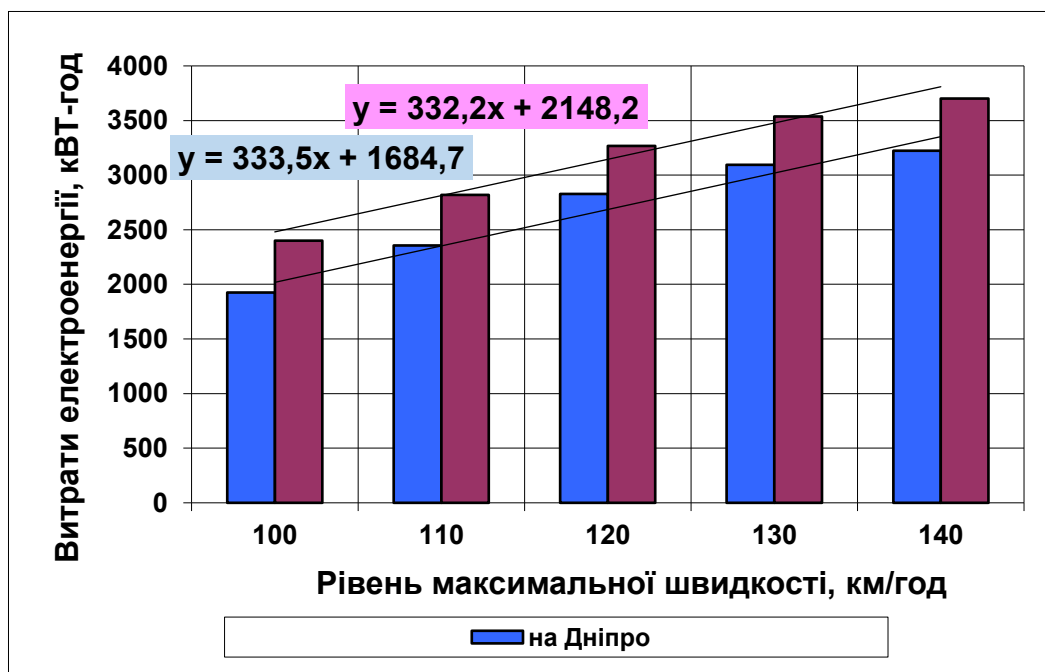


Рисунок 3.3 – Залежність витрат електроенергії від рівня максимальної швидкості

За таких же умов витрати електроенергії зростають на 60%.

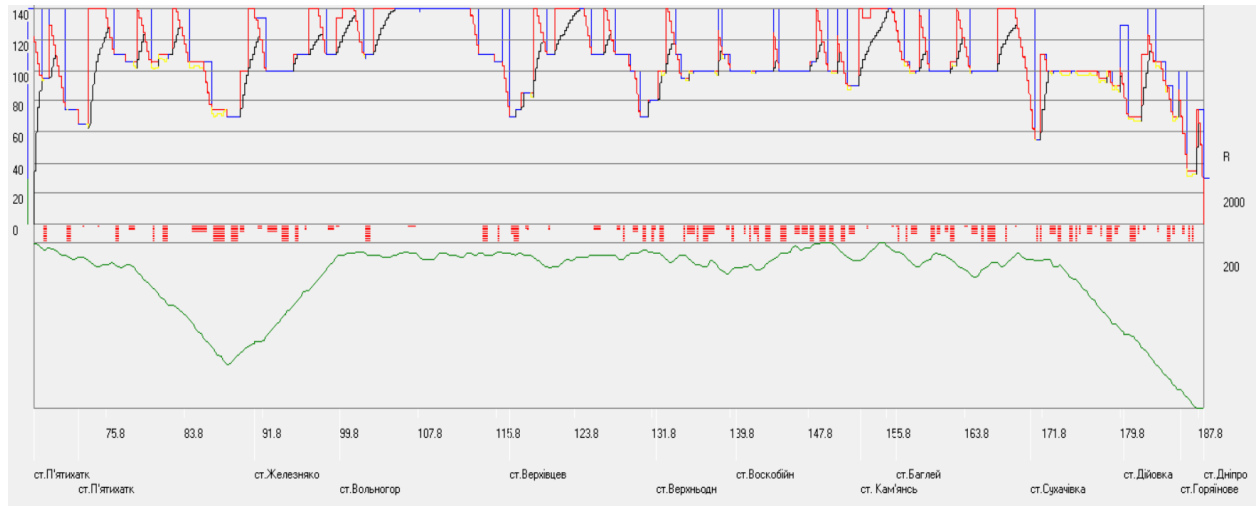


Рисунок 3.4 – Крива швидкості руху, план і поздовжній профіль (Hyundai, 600 т)

Наявність складного плану і великої кількості обмежень швидкості руху не дозволяють без перебудови кривих впроваджувати швидкісний рух поїздів. За таких умов слід обмежитися прискореним рухом поїздів.

3.3 Висновки й рекомендації щодо доцільності підвищення швидкості руху на ділянці П'ятихатки – Дніпро при впровадженні швидкісного руху поїздів.

Час руху пасажирського поїзда по ділянці П'ятихатки – Дніпро згідно зі службовим розкладом руху поїздів складає відповідно 115 і 101 хвилини для непарного і парного напрямків, табл. 3.3.

Як основні причини, що впливають на час руху, можна виділити наступні:

- втрати часу на розгін і гальмування поїзда для зупинки на станції;
- обмеження швидкості руху за параметрами плану;
- обмеження швидкості руху за станом верхньої будови колії.

Для швидкісного поїзда розглядається рух із зупинками тільки на початку і кінці ділянки – ст. Дніпро і ст. П'ятихатки – Стикова (технічна зупинка для зміни локомотива).

Таблиця 3.3 – Час руху і стоянки по перегонах і станціям за розкладом пасажирського поїзда

Станції	Час руху і стоянки поїзда, хв.	
	парний напрямок	непарний напрямок
П'ятихатки пас.		
	44	32
Верхівцеве	2	2
	32	30
Кам'янське	2	2
	35	35
Дніпро		

Таким чином, як початкові умови приймемо поточний стан ділянки (до реконструкції), і невинний рух. Для такого варіанта визначимо можливий час руху. Для цього виконані тягові розрахунки, що враховують поздовжній профіль ділянки, параметри плану й обмеження швидкості, викликані станом колії. Результати тягових розрахунків у табличному вигляді наведені у додатку Д. За їх результатами час руху складає 79 хвилини для непарного і парного варіантів.

Після проведення реконструкції плану лінії (корегування параметрів кривих) час руху буде складати 74 хвилини, відповідно до напрямків.

Результати тягових розрахунків у табличному вигляді наведені у додатку В і Д.

На напрямку П'ятихатки – Дніпро, враховуючи розгін і гальмування, швидкість руху 140 км/год може бути реалізована на ділянках 75 км – 77 км, 102 км – 116 км і 121 км – 129 км для непарного напрямку, та на ділянках 127 км – 118 км, 109 км – 100 км і 76 км – 74 км для парного напрямку.

Для повної реконструкції ділянки П'ятихатки – Дніпро, базуючись на результатах виконаної роботи, рекомендовані швидкості пасажирського поїзда і послідовність виконання робіт наведені у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4. – Рекомендовані швидкості пасажирського поїзда і послідовність робіт для реконструкції ділянки П'ятихатки – Дніпро

Найменування об'єкта (станція, перегін)	Швидкість після реконструкції, км/год		Послідовність перебудови об'єктів для повної реконструкції ділянки	
	непарна колія	парна колія	непарна колія	парна колія
П'ятихатки Стикова	100	80	25	4
П'ятихатки Ст. – П'ятихатки	100	100	22	21
П'ятихатки	100	100	2	11
П'ятихатки – Ерастівка	120	120	20	23
Ерастівка	100	100	11	1
Ерастівка – Вільногірськ	120	120	18	19
Вільногірськ	100	100	17	12
Вільногірськ – Верхівцеве	120	120	19	9
Верхівцеве	80	80	8	3
Верхівцеве – Верхньодніпровськ	140	140	5	18
Верхньодніпровськ	100	100	9	2
Верхньодніпровськ – Воскобійня	100	120	21	20
Воскобійня	100	100	6	22
Воскобійня – Кам'янське	100	100	7	13
Кам'янське	100	120	16	6
Кам'янське – Баглій	100	120	1	15
Баглій	80	100	15	8
Баглій – Сухачівка	100	100	10	14
Сухачівка	60	100	12	10
Сухачівка – Діївка	100	100	3	17
Діївка	100	100	13	16
Діївка – Горяйново	100	100	23	7
Горяйново	80	100	4	5
Горяйново – Дніпро	100	100	14	24
Дніпро	40	40	24	25

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

4.1 Охорона праці під час виконання робіт з перебудови залізничної колії

Охорона праці під час перебудови залізничних кривих у плані є критично важливою, оскільки ці роботи пов'язані із підвищеним ризиком для працівників. Основними аспектами охорони праці в таких умовах є забезпечення безпеки, дотримання нормативних вимог і мінімізація ризиків для здоров'я та життя працівників. Основні аспекти охорони праці під час перебудови залізничних кривих:

1. Організація робіт:

- забезпечення інструктажів перед початком роботи (вступного, первинного, повторного, позапланового, цільового);
- розробка проєкту виконання робіт (ПВР), де враховано заходи безпеки;
- наявність затвердженого графіка виконання робіт, який враховує час проходження поїздів;

2. Забезпечення працівників засобами індивідуального захисту (ЗІЗ):

- захисний одяг, взуття, каски, рукавички;
- засоби захисту органів слуху, якщо використовується гучне обладнання;
- видимі сигнальні жилети з високою відбивною здатністю;

3. Організація безпечного руху поїздів:

- установка попереджувальних знаків, сигналів і загороджень для забезпечення безпеки працівників;
- координація з диспетчером для забезпечення «вікон» у графіку руху поїздів;
- використання сигнальників для попередження про наближення поїздів;

4. Безпека при роботі з технікою та обладнанням:

- перевірка технічного стану машин і механізмів перед початком роботи;
- навчання працівників безпечному користуванню обладнанням (рихтувальні машини, підйомники тощо);
- заборона роботи на несправному обладнанні;

5. Планування безпечної робочої зони:

- визначення зон підвищеного ризику, таких як місця можливого обвалу ґрунту чи падіння елементів колії;
- забезпечення достатнього освітлення в нічний час;

6. Мінімізація впливу шкідливих факторів:

Вібрація: використання антивібраційних пристроїв та інструментів.

- шум: надання індивідуальних засобів захисту слуху;
- запиленість: організація систем пилопоглинання або використання респіраторів.

7. Медичне забезпечення:

- наявність аптечки на місці виконання робіт.
- проведення попереднього та періодичного медичного огляду працівників.
- забезпечення оперативної допомоги у разі нещасних випадків.

8. Екстрені заходи:

- план дій у разі аварійної ситуації.
- визначення місць для екстреної евакуації.
- навчання працівників діям під час надзвичайних подій.

Нормативні документи:

1. Правила охорони праці на залізничному транспорті України.
2. НПАОП 0.00-1.75-14 — «Правила безпечного виконання робіт на висоті».
3. ДБН В.2.3-19:2018 — «Залізниці колії 1520 мм. Норми

проектування».

4. ISO 45001 — «Системи управління охороною здоров'я та безпекою праці».

Дотримання цих правил забезпечує безпечні умови праці та мінімізує ризик аварійних ситуацій.

4.2 Заходи з охорони навколишнього середовища на етапі реконструкції колії

Під час виконання робіт із перебудови залізничних кривих у плані необхідно враховувати вплив на навколишнє середовище та забезпечувати реалізацію заходів із його охорони. Основні аспекти включають запобігання забрудненню повітря, водних ресурсів, ґрунтів і мінімізацію шуму та вібраційного впливу. Основні заходи з охорони навколишнього середовища:

1. Захист повітря. Контроль викидів від техніки та обладнання:

- використання сучасної техніки з низьким рівнем викидів (категорії Євро 5 або Євро 6);
- регулярне обслуговування машин для забезпечення їхнього оптимального стану;
- зменшення пилу. Зрошення робочих зон водою під час демонтажу чи укладання колійних матеріалів;
- використання пилозахисних екранів у місцях інтенсивних робіт.

2. Захист водних ресурсів. Запобігання забрудненню поверхневих і підземних вод:

- встановлення водозахисних бар'єрів для запобігання потраплянню забруднювальних речовин (пального, мастил, відходів);
- організація зон для тимчасового зберігання відходів та матеріалів подалі від водних джерел;
- контроль стоку вод. Облаштування дренажних систем для збирання та очищення стічних вод із будівельного майданчика;
- уникнення забруднення водних об'єктів під час миття техніки.

3. Захист ґрунтів. Запобігання забрудненню ґрунтів паливно-мастильними матеріалами:

- організація спеціальних майданчиків із захистом від проникнення забруднювачів у ґрунт (наприклад, підстилання полімерних матеріалів);
- оперативна ліквідація розливів небезпечних речовин за допомогою сорбентів;
- контроль вивезення та утилізації відходів. Вивезення демонтованих матеріалів та відходів будівництва на ліцензовані полігони;
- використання перероблених матеріалів, якщо це можливо.

4. Зменшення шуму та вібрацій

- контроль шумового впливу. Використання шумозахисних бар'єрів у місцях, близьких до житлових зон;
- проведення робіт у денний час для уникнення порушення спокою населення;
- зменшення вібрацій. Використання техніки зі зниженим рівнем вібрацій;
- Моніторинг рівня вібрацій у зоні проведення робіт.

5. Збереження біорізноманіття. Мінімізація впливу на флору та фауну:

- обмеження робіт у період гніздування птахів та міграції тварин;
- рекультивація порушених земель після завершення робіт;
- захист зелених насаджень. Огородження дерев і кущів, які не підлягають вирубці;
- відновлення рослинного покриву після завершення будівництва.

6. Поводження з відходами. Роздільний збір відходів:

- встановлення контейнерів для сортування будівельного сміття, металу, деревини тощо;
- утилізація небезпечних відходів;
- передача відходів, таких як мастила, фарби чи акумулятори, спеціалізованим організаціям для утилізації;

7. Моніторинг та контроль. Екологічний моніторинг:

- вимірювання рівня шуму, пилу, забруднення вод і ґрунтів під час і після робіт;
- ведення звітності щодо впливу на навколишнє середовище;
- відповідність нормативним вимогам. Дотримання українських нормативів у сфері охорони навколишнього середовища (ДСТУ, ДБН та ін.).

Категорії Євро 5 і Євро 6 — це екологічні стандарти, що встановлюють допустимі рівні викидів шкідливих речовин у вихлопних газах транспортних засобів із двигунами внутрішнього згорання. Вони визначаються в рамках регламентів Європейського Союзу для забезпечення екологічної безпеки та зменшення забруднення навколишнього середовища.

Основні характеристики стандартів Євро 5 і Євро 6.

Євро 5 (введено з 2009 року). Мета – зниження викидів оксидів азоту (NO_x), твердих часток (PM) та вуглеводнів (HC).

Основні показники для дизельних автомобілів:

- NO_x: до 180 мг/км.
- Тверді частки (PM): до 5 мг/км.
- Вуглеводні (HC): до 230 мг/км.
- Технології зниження викидів:
- Фільтри твердих часток (DPF).
- Системи рециркуляції вихлопних газів (EGR).

Євро 6 (введено з 2014 року). Мета - подальше скорочення шкідливих викидів, особливо оксидів азоту, для досягнення більш екологічних показників.

Основні показники для дизельних автомобілів:

- NO_x: до 80 мг/км (на 56% менше, ніж у Євро 5).
- PM: до 5 мг/км (так само, як у Євро 5).
- HC+NO_x: до 170 мг/км.

Технології зниження викидів:

- Каталітичні нейтралізатори (SCR) із використанням розчину AdBlue

(сечовини).

- Покращені системи фільтрації та рециркуляції.

Ці стандарти важливі для будівельної та залізничної техніки бо їх застосування призводить до зменшення шкідливого впливу на навколишнє середовище. Сучасна техніка з двигунами категорій Євро 5 і Євро 6 має значно нижчі викиди шкідливих речовин, зменшуючи забруднення повітря.

1. Енергоефективність:

- Техніка з цими стандартами часто має оптимізоване споживання пального.

2. Відповідність регуляторним вимогам:

- Використання техніки, що відповідає стандартам Євро 5 і Євро 6, забезпечує дотримання законодавства у сфері охорони довкілля.

Спочатку стандарти Євро розроблялися для легкових і вантажних автомобілів. Згодом їх почали застосовувати до позашляхової техніки, включаючи будівельну, залізничну та сільськогосподарську техніку. Для позашляхової техніки існують аналогічні стандарти, наприклад Stage IV і Stage V, які відповідають вимогам Євро 5 і Євро 6.

Висновок. Комплексна реалізація зазначених заходів дозволяє мінімізувати негативний вплив робіт із перебудови залізничних кривих на навколишнє середовище, зберегти природні ресурси та забезпечити екологічну безпеку.

Використання техніки, що відповідає стандартам Євро 5 і Євро 6, дозволяє зменшити негативний вплив на екосистему, що особливо важливо під час масштабних будівельних або інфраструктурних робіт, таких як перебудова залізничних кривих.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Максимальне підвищення 150 мм, встановлене на залізницях України, не може бути реалізоване на ділянках з суміщеним рухом пасажирських і вантажних поїздів. Розрахункове підвищення залежить від прийнятого значення мінімального радіусу і співвідношення максимальної швидкості пасажирських і мінімальної швидкості вантажних поїздів.

При підвищенні швидкостей руху пасажирських поїздів необхідно одночасно забезпечити зростання швидкостей вантажних поїздів. За умовами стійкості, міцності колії і комфортабельності їзди пасажирів співвідношення швидкостей руху вантажних поїздів до пасажирського на всіх елементах подовжнього профілю повинне бути не менше 0,7, у виняткових випадках – 0,5.

З урахуванням отриманих результатів, при максимальній швидкості 140 км/год мінімальний радіус повинен бути не меншим за 1200 м з підвищенням зовнішньої рейки 90 мм, при швидкості 160 км/год відповідно 1500 м і 80 мм.

При рекомендуємих радіусах кривих забезпечуються всі три вимоги: нормальна взаємодія колії і рухомого складу, комфортабельність їзди і однакове силове навантаження на обидві рейкові колії від рухомого складу – остання вимога не забезпечується при мінімально допустимих радіусах.

Рекомендуємі радіуси слід приймати при перебудові кривих з малими кутами повороту, коли це не приводить до великого зміщення осі колії і не приводить до великих об'ємів робіт і кошторисної вартості.

На напрямку П'ятихатки – Дніпро враховуючи розгін і гальмування швидкість руху 140 км/год може бути реалізована на ділянках 75 км – 77 км, 102 км – 116 км і 121 км – 129 км для непарного напрямку, та на ділянках 127 км – 118 км, 109 км – 100 км і 76 км – 74 км для парного напрямку.

Для впровадження швидкісного руху поїздів на ділянці П'ятихатки – Дніпро необхідно провести додаткові дослідження для встановлення потрібних інвестицій на реконструкцію.

Як основні причини, що впливають на час руху, можна виділити наступні: втрати часу на розгін і гальмування поїзда для зупинки на станції, обмеження

швидкості руху за параметрами плану лінії, обмеження швидкості руху за станом верхньої будови колії.

Наявність складного плану і великої кількості обмежень швидкості руху не дозволяють без перебудови кривих впроваджувати швидкісний рух поїздів. За таких умов слід обмежитися прискореним рухом поїздів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Пещерських В. С., Кашний П. В., Гусак М. А., Хмелевська Н. П. Вплив максимальної швидкості на тягово-енергетичні показники при реконструкції ділянки залізниці / Наука і сталий розвиток транспорту 2024. Т. І: зб. тез доп. Всеукр. наук.-техн. конф. студентів і молодих учених, Дніпро, 27 листоп. 2024 р. - Дніпро: УДУНТ, 2028. – С. 109-110
2. ISO 2631/1. Estimation de l'exposition des individus a des vibrations globales du corps. Partie 1: Specifications generales. (ИСО 2631/1-1985/F/. Оценка воздействия вибрации всего тела на организм человека. Часть 1. Общие требования. / Переводчик М.З.Трохименко. - Киев: ППП УкрНИИИТИ, 1987.)
3. UIC Code 513 R (1-st edition, 1.7.94). Guidelines for evaluating passenger comfort in relation to vibration in railway vehicles. - Paris: International Union of Railways, 1995.-81 p
4. Положення про проведення планово-запобіжних ремонтно-колійних робіт на залізницях України. ЦП–0287 / А. Бабенко, Г. Линник, К. Мойсеєнко, О. Патласов, В. Яковлев. – Київ, 2015. – 45 с.
5. Правила визначення підвищення зовнішньої рейки і встановлення допустимих швидкостей в кривих ділянках колії: ЦП-0236: затв. наказом Укрзалізниці від 14.12.2010 №778-Ц. – Київ, 2010. 52 с
6. 6
7. Державні будівельні норми України. Споруди транспорту. Залізниці колії 1520 мм. Норми проектування. ДБН В.2.3-019:2018. – К.: Мінрегіонбуд, 2008. - 126 с.
8. Курган М. Б., Байдак С. Ю., Хмелевська Н. П. Методика визначення допустимих швидкостей руху поїздів на ділянках складного плану залізниці. Вісник Дніпропетр. нац-го ун-ту залізн. тр-ту ім.акад. В. Лазаряна «Наука та прогрес транспорту». 2014. № 2 (50). С. 83–94.
9. «Розробка рекомендацій з встановлення швидкостей руху поїздів в кривих на напрямках пасажирського, суміщеного й вантажного руху» за договором № 56/2012-ЦТех-160/12-ЦЮ від 15.08.2012

10. Норми допустимих швидкостей руху рухомого складу по залізничних коліях державної адміністрації залізничного транспорту України шириною 1520 мм: ЦП-0235 / затв. наказом Укрзалізниці від 14.12.2010 № 776-Ц. – К., 2011. – 51 с.

11. Дюнин А. К. Аналитический метод проектирования переустройства железнодорожного пути в плане / А. К. Дюнин, А. И. Проценко – Новосибирск: НИИЖТ, 1967. – 226 с.

12. Оценка достоверности основных параметров железнодорожных кривых при установлении по ним допускаемой скорости движения поездов / И. П. Корженевич, Н. Б. Курган, Д. Н. Курган, Н. Г. Ренгач // Будівництво: Зб. наук. пр. ДПТУ. – Дніпропетровськ, 2002. – Вип.10. – С. 28-34.

13. 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.

ДОДАТКИ