

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Український державний університет науки і технологій
Кафедра «Транспортна інфраструктура»

НАЦІОНАЛЬНА ШКОЛА МАЙСТЕРНОСТІ І ПРОФЕСІЙ
СНАМ, ФРАНЦІЯ

«ДО ЗАХИСТУ ДОПУЩЕНО»

Завідуючий кафедрою:

проф., д.т.н.

Олексій ТЮТЬКІН

« 15 »

2022 р.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО ДИПЛОМНІ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

ОКР «магістр»

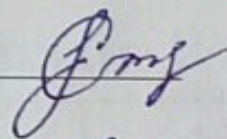
Спеціальність 273 «Залізничний транспорт»

ОП «Інтероперабельність і безпека на залізничному транспорті»

Тема: Вдосконалення системи моніторингу колієвимірювальних вагонів

Theme: Improvement of the monitoring system of gauge cars

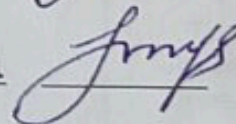
Виконав:



Сергій ДЯЧЕНКО

Керівник:

доц., к.т.н.



Олексій ГУБАР

Дніпро
2022

ЗАЯВА

Я, Даренко Сергій Сергійович
(ПІБ повністю)

Студені групи 8 ІН
(шифр групи)

Спеціальності 273 Загальний транспорт
(код та назва спеціальності)

освітньої програми Інтероперабельність і безпека
(назва освітньої програми)

освітнього ступеня підготовки магістр
(бакалавр, магістр)

Заявляю, що моя випускна кваліфікаційна робота на тему:

Вдосконалення системи моніторингу
кількісних показників вагонів

виконана самостійно і в ній не міститься елементів плагіату. Всі запозичення з друкованих та електронних джерел мають відповідні посилання.

Прошу перевірити її на наявність академічної плагіату.

Я ознайомена з чинним «Порядком перевірки кваліфікаційних випускних робіт здобувачів вищої освіти на виявлення текстових та графічних запозичень засобами перевірки на плагіат», згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску випускної кваліфікаційної роботи до захисту.

Дата 14.12.22 Підпис [підпис]

Керівник 15.12.22 Підпис [підпис] / Арбузов М. А.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Український державний університет науки і технологій
Кафедра «Транспортна інфраструктура»

НАЦІОНАЛЬНА ШКОЛА МАЙСТЕРНОСТІ І ПРОФЕСІЙ
СНАМ, ФРАНЦІЯ

«ДО ЗАХИСТУ ДОПУЩЕНО»

Завідуючий кафедрою:

проф., д.т.н. _____ Олексій ТЮТЬКІН

« ____ » _____ 2022 р.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО ДИПЛОМНІ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

ОКР «магістр»

Спеціальність 273 «Залізничний транспорт»

ОП «Інтероперабельність і безпека на залізничному транспорті»

Тема: Вдосконалення системи моніторингу колієвимірвальних вагонів

Theme: Improvement of the monitoring system of gauge cars

Виконав: _____ Сергій ДЯЧЕНКО

Керівник:

доц., к.т.н. _____ Олексій ГУБАР

Дніпро
2022

ЗМІСТ

	стор.
ВСТУП	3
1. ТЕХНІЧНІ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ СТАНУ КОЛІЇ	4
2 ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМКИ ВДОСКОНАЛЕННЯ ВІТЧИЗНЯНИХ КОЛІЄВИМІРЮВАЛЬНИХ ВАГОНІВ	15
3 ПОРІВНЯЛЬНІ ВИПРОБУВАННЯ ПАСАЖИРСЬКИХ ВАГОНІВ НА ВІЗКАХ МОДЕЛЕЙ 68-7007 (68-7012), 68-4065 (68-4066) ТА Y-32 ЗА КРИТЕРІЄМ ДІЇ НА КОЛІЮ ТА СТРІЛОЧНІ ПЕРЕВОДИ	20
4 ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ КОЛІЄВИМІРЮВАЛЬНИХ ВАГОНІВ	98
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	100
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК	104
ДОДАТОК 1	105

ВСТУП

Колієвимірювальний вагон – це пересувна одиниця, що призначена для суцільного швидкого контролю стану рейкової колії під динамічним навантаженням. Вітчизняні колієвимірювачі зібрані на базі пасажирських вагонів. Зразки моніторингових систем колії Європейського союзу використовують самохідні колієвимірювачі на базі автомотрис, що належать до спеціального самохідного рухомого складу. Тому існують проблемні питання імплементації європейських норм і стандартів до вітчизняного відповідного переліку нормативних документів.

Вирішення питань інтероперабельності в області моніторингу колії при використанні відповідних технічних засобів потребує перегляду параметрів контролю, методології їх оцінки, та способів їх реєстрації. Так вітчизняні системи оцінюють стан колії по сумі штрафних балів за несправності колії. Європейська ж система передбачає відповідну несправність оцінювати таким статистичним параметром як середньоквадратичне відхилення. Вітчизняні колієвимірювальні вагони використовують шарнірно-важільну та трособлочну системи, сучасні ж європейські аналоги використовують лазерну оптичну вимірювальну систему.

Тому важливим питанням сьогодення у сфері взаємосумісності систем моніторингу стану колії вітчизняних та європейських залізниць є вдосконалення колієвимірювальних вагонів типу КВЛ [1]. Для збільшення швидкості оцінки стану колії необхідно дослідити динаміку пасажирського вагону та запропонувати динамічно більш стабільну конструкцію візка. Для розширення технічних параметрів моніторингу необхідно ввести акселерометри в бортову систему вимірювання.

					0053–216511–ДП–2022-001	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		3

1 ТЕХНІЧНІ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ СТАНУ КОЛІЇ

1.1 Історія розвитку колієвимірювальної техніки

На початку розвитку залізниць протягом тривалого часу застосовувалися найпростіші вимірювальні інструменти та перелік контрольно-вимірювального інструменту для рейкової колії був невеликим. Ширина колії перевірялася звичайною мірною лінійкою або доладним аршином, а то й просто дерев'яною палицею з прибитим до неї лапками, на відстані 1524 мм один від одного. У кривих ділянках колії, при необхідності, залежно від радіусу, для кращого вписування рухомого складу ширину колії встановлювали і більше 1524 мм, але не повинна була перевищувати 1550 мм [7].

Крім простого шаблону для вимірювання ширини колії лінійний працівник дистанції колії мав у своєму розпорядженні рейку з схилом на вертикальній підставці - вона називалася рівнем, або ж рейку з бульбашковим рівнем (лібела), що використовувалися для контролю положення ниток за рівнем.

Те, що ми називаємо рихтуванням, тобто положення колії в плані, перевірялося, як правило, на око.

Для виявлення просядок рейкових ниток використовувалися візирки на стійках або дощаті (рис 1.1), працюючи з якими, доводилося лягати на рейки.

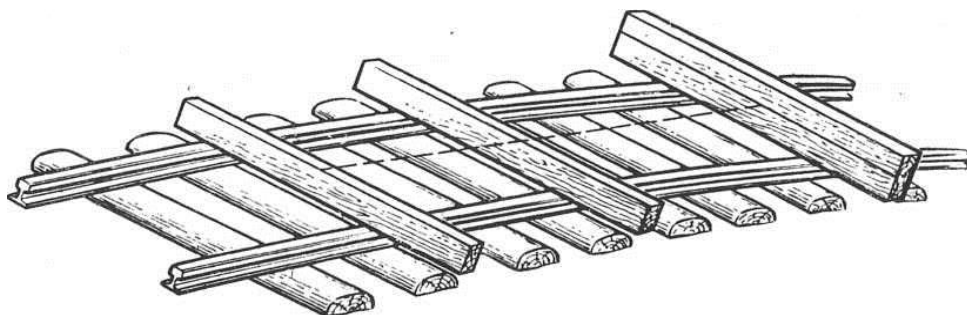


Рис. 1.1 – Визначення вертикальних нерівностей за допомогою дощатих візирок

З розширенням мережі залізниць, збільшенням інтенсивності руху контролювати стан рейкової колії подібними засобами було неможливо. Почали

з'являтися мобільні засоби: каткові шаблони, спеціальні пристрої на рухомих платформах, візки для подорожей.

Звичайно, велике значення надавалося і фізіологічним відчуттям людини під час руху поїзда. Постійно шляховці-експлуатаційники їздили у хвості поїзда або в кабіні машиніста та фіксували різні «поштовхи», а також вели візуальне спостереження.

На початку 80-х років XIX століття інженером М. О. Онуфровичем було запропоновано катковий шаблон для перевірки ширини колії з дрезини. Шаблон мав стрілочний показчик та звукову сигналізацію, яка сповіщала відхилення, що перевищують певну межу. Трохи згодом він розробив поїзний прилад контролю стану колії по запису коливань вагона і поштовхів.

З його допомогою винахідник намагався надати об'єктивного характеру оцінці плавності ходу вагона при проїзді колією відповідального інженерного персоналу. Але прилад не набув поширення.

У 1911 році М. Є. Долговим було отримано привілей на його знаменитий шляховимірний візок, в якому простими засобами усувалися непотрібні коливання передачі, і забезпечувалася цілком прийнятна точність запису на стрічку. У першому варіанті (рис 1.2) візок записував показники трьох параметрів: ширини колії, піднесення однієї рейки над іншою та поздовжнього ухилу шляху. Але, незважаючи на те, що переваги цього приладу були очевидні, до революції 1917 р. він майже не вийшов за межі Катерининської (нині Придніпровської) залізниці, де був створений.

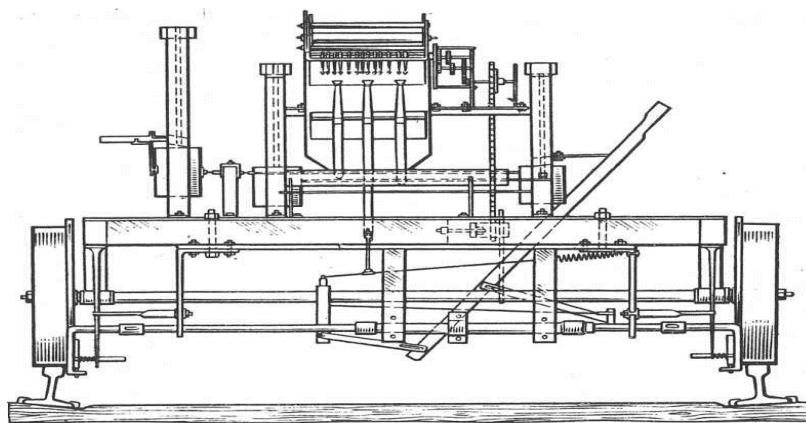


Рис. 1.2 - Дорожній візок. М. Є. Долгова

					0053-216511-ДП-2022-001	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		5

Доля колієвимірювального візка спіткала і колієвимірювальний вагон, який почали будувати за проектом М. Є. Долгова в 1913 році. Це був двовісний дерев'яний вагон (рис. 1.3), перевіряв шлях з невеликою швидкістю, а кількість параметрів, що вимірювалися, було дуже обмеженим, положення шляху в плані (рихтування) не фіксувалося. Він створювався силами ентузіастів з великими труднощами, але все ж таки був побудований. У 1915 вагон системи Долгова пройшов з перевіркою колії близько 820 км.

А за рік відбулося його офіційне випробування. Контрольна комісія визнала колієвимірник Долгова єдиним приладом, що дає повну характеристику стану колії в будь-якій його точці.



Рис. 1.3 - Вагон системи Долгова

Однак цей досвід у дореволюційний час не поширився на інші дороги.

Але створення колієвимірювального вагона стало справжньою революцією, оскільки дало можливість контролювати стан рейкового шляху в динаміці, тобто під вагонним навантаженням на швидкості, і за порівняно короткий час виконувати великі обсяги вимірів.

Ідея колієвимірювального вагона отримала подальше втілення та розвиток. Так, у середині 1930-х років начальник колієвимірювального вагону з Конотопу

					0053-216511-ДП-2022-001	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		6

Т. Ляшенко значно покращив конструкцію, зберігши, проте, основні засади, запропоновані 20 років тому Долговим.

Так з'явився вагон-колівимірник системи Ляшенка (рис. 1.4), який проіснував до середини 70-х років ХХ століття та відіграв величезну роль у забезпеченні безпеки руху поїздів у той період.

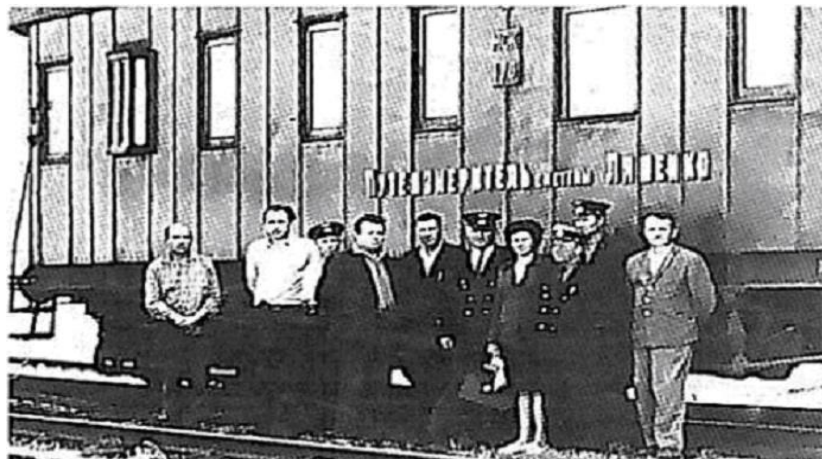


Рис. 1.4 - Вагон системи Ляшенко

Порівняно з колівимірником Долгова він мав такі переваги: трохи більшу швидкість перевірки; збільшилася кількість вимірюваних параметрів, у тому числі стали визначатися стріли вигину рейок у горизонтальній площині (тобто рихтування), щоправда, тільки по одній нитці; наявність пристроїв, що компенсують, які усувають накладення на запис можливих перешкод, що виникають від коливання кузова. Ці колівимірники будувалися на базі чотириколісного дерев'яного пасажирського вагона і мали більш комфортні умови для обслуговуючого персоналу.

Колівимірвальні вагони системи Ляшенко були на той час основним та єдиним мобільним засобом перевірки стану параметрів рейкової колії.

Колівимірники системи Ляшенка, залишаючись основним мобільним засобом контролю колії на всій залізничній мережі, мали одну істотну ваду: невисоку швидкість при вимірі колії. Швидкість на перегонах не могла перевищувати 30 км/год., а на стрілочних переведеннях – 15 км/год. Справа в тому, що роль горизонтальної площини, від якої фіксувався рівень (тобто відхилення від нуля горизонталі), виконував потужний маятник, прикріплений

під вагоном. Він здійснював гармонійні коливання щодо осі, була перпендикуляром до горизонту, від якого вели відлік рівня. При перевищенні згаданої вище швидкості виникали перешкоди коливання маятника, і порушувалася необхідна точність виміру [8].

У 1952 році Конотопський завод виготовив партію досвідчених зразків колієвимірювального візка Матвієнка і через деякий час його запустили в серійне виробництво, не тільки в СРСР, але і в Болгарії, Китаї (рис. 1.5).

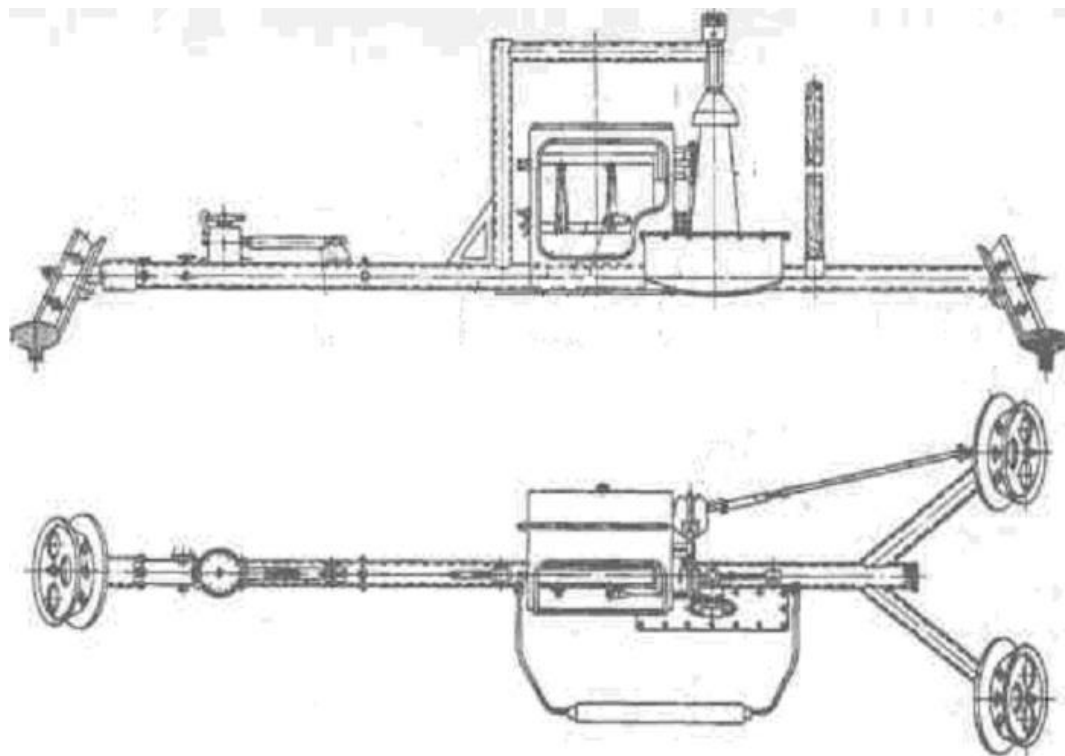


Рис. 1.5 - Шляховимірювальний візок Матвієнко

Цей 3-х колісний колійний візок не сильно відрізнявся від тієї конструкції, що створив Долгов. Фіксувалися лише два геометричні параметри: ширина колії та взаємне положення рейкових ниток за рівнем. Не записувалися ні положення шляху в плані (рихтування), ні профільні просідання ниток. Запис вевся на вузькій паперовій стрічці олівцевими грифелями. Візок необхідно було часто знімати зі шляху для пропуску зустрічних поїздів. Для її обслуговування були потрібні 2 сигналісти і її денний пробіг був невеликий.

У наступні роки застосовувався більш досконалий 4-х колісний візок ПТ-2 (рис. 1.6) [4].

					0053-216511-ДП-2022-001	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		8

на бічних стінках кузова), мали й інші удосконалення: збільшена точність вимірювання; покращена конструкція ряду пристроїв, у тому числі застосовані спеціальні ролики для вимірювання ширини колії та рихтування (а на деяких вагонах замість роликів встановлювали короткі або довгі лижі) чіткіше усувалися перешкоди в записах вимірюваних параметрів, викликані коливаннями кузова.

Визначали шість основних параметрів геометрії рейкової колії, які вимірювали вагонами даної системи, та розташування їх на безперервних діаграмах записувалися на паперовій стрічці.

Результати вимірювань записувалися на широкій паперовій стрічці. Проїхавши 20-30 км, паперову стрічку надривали, і цей відрізок передавали розшифровнику для обробки (рис. 1.9).



Рис. 1.9 - Робочий стіл вагона-колієвимірника системи ЦНП-2

Розшифрування велося вручну, величини відступів визначали за допомогою спеціальних шаблонів. Для підрахунків застосовувалися бухгалтерські рахівниці, арифмометри, потім логарифмічні лінійки, а далі – калькулятори [3].

1.2 Сучасні вимірювальні засоби

На даний момент вимірювання геометричних параметрів залізничної колії України виконують як знімні, так і мобільні засоби діагностики.

До знімних засобів діагностики належать 240 шляховимірювальних візків типу ПТ-7МК, створені компанією «ТВЕМА», які були введені в експлуатацію протягом 2011 – 2014 (рис. 1.10) [2].

					0053–216511–ДП–2022-001	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		11

забезпечення «Way Mater» розшифровує та оцінює результати вимірювання та роздруковує вихідні форми ПУ-32 [3].

Парк мобільних засобів України складається з 13 колієвимірювальних вагонів: 3 колієвимірювальних вагонів системи ЦНДІ-2, 1975-1979 років випуску (рис. 1.8) та 10 колієвимірювальних вагонів КВЛ-П виробництва ВАТ «НВЦ ІНФОТРАНС», які були введені в експлуатацію протягом 2003 – 2008 років (рис. 1.11).



Рис. 1.11 – Дорожні вагони КВЛ-П

ЦНДІ-2, які вже згадувалися вище, задіяні на перевірку станційних колій та перевірку малодіяльних колій головного ходу.

Основний вантаж на промір головних колій, напрямів «ІНТЕРСІТІ+» та «Інтерсіті» припадає на 10 шляховимірювальних вагонів КВЛ-П, які обладнані бортовою автоматизованою системою. З 10 вагонів КВЛ-П: 4 вагони серії КВЛ-П1МП.2.Т та 6 вагонів серії КВЛ-П2.1, два з яких обладнані додатковими датчиками (для вимірювання температури рейки, коротких нерівностей та ухил поздовжнього профілю).

Принципова різниця між шляховимірником ЦНДІ-2 та КВЛ-П це - бортова автоматизована система та відеофіксація проміру колії (рис. 1.12), яка автоматично розшифровує та оцінює відхилення, виявлені під час проміру, що дає можливість практично відразу надавати графічну діаграму кілометра з вісьмома вже оціненими відхиленнями шляху. Вимірювання геометричних параметрів колії на ЦНДІ-2 і КВЛ-П виконується однаково, за допомогою

гіросистеми, роликів і тросів, різниця полягає у фіксації та оцінці відхилень, на КВЛ-П лінійні відхилення за допомогою спеціалізованих датчиків «сельсинів» перетворюються на електричні сигнали, які обробляються бортовою автоматизованою системою, а на ЦНДІ-2 механічним способом за допомогою стрижнів відображаються на стрічці та розшифровується інженером вагона.

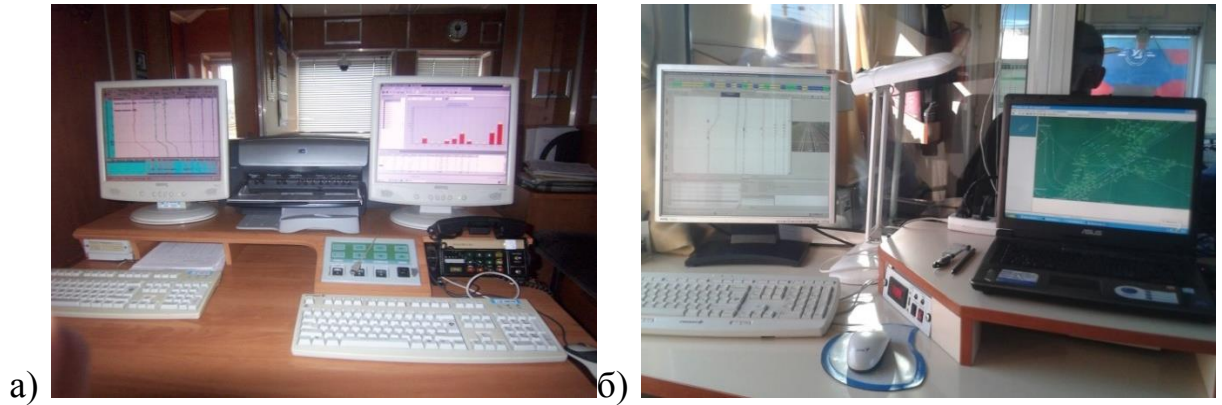


Рис. 1.12 – Бортова автоматизована система на колійних вагонах: а) КВЛ-П1МП.2.Т; б) КВЛ-П2.1

Різниця між шляховимірником КВЛ-П1МП.2.Т і КВЛ-П2.1 полягає у версіях програмних забезпечення контролюючих роботу бортової автоматизованої системи та операційних системах, на яких працює програмне забезпечення. На КВЛ-П1МП.2.Т найбільш застаріла операційна система "MS DOS" і програмне забезпечення версії 4.03, на КВЛ-П2.1 операційна система "Windows" [6].

2 ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМКИ ВДОСКОНАЛЕННЯ ВІТЧИЗНЯНИХ КОЛІЄВИМІРЮВАЛЬНИХ ВАГОНІВ

Знімні та мобільні засоби діагностики геометрії колії, що використовуються, відносно нові, але їх недостатньо, тому ще застосовуються вагони-колієвимірники ЦНП-2, яким понад 35 років.

Проаналізувавши методи та технології діагностики залізничної колії у різних країнах та порівнявши їх із методами та технологіями, що застосовуються на українських залізницях, необхідно звернути увагу на деякі інноваційні технології інших країн.

Комплексний перехід на переважне використання швидкісних засобів діагностики інфраструктури, організацію їх роботи у складі пасажирських поїздів, автоматизацію обробки даних, модернізацію наявного парку до рівня сучасних засобів дозволить значно покращити експлуатаційні показники залізниць та безпеку руху поїздів.

Результати випробувань нових мобільних засобів діагностики, розроблених компанією ДК «ТВЕМА», на дорогах та спеціальних випробувальних ділянках Німеччини, Угорщини, Казахстану, України, Китаю, Індії, а також перемога у тендерах на постачання діагностичної техніки до Німеччини, Китаю, Ізраїлю, Азербайджану, Угорщину, Казахстан, Монголію, показали високий рівень засобів діагностики інфраструктури, що розробляються [2].

Результатом роботи компанії стали пропозиції щодо співробітництва в галузях діагностики інфраструктури, таких як вимірювання контактними та безконтактними способами геометрії залізничної колії (на швидкостях від 0 до 350 км/год), високошвидкісного ультразвукового контролю, контролю земляного полотна від таких компаній як, ENSCO (USA) , Plasser American (основні розробники вимірювальних систем фірми Plasser & Thurer), Sperry (USA). На виставці ВАТ «РЗ», ЗАТ «ТВЕМА» та компанією «Мерседес-Бенц Тракс Схід» підписано Меморандум про співпрацю у створенні, виробництві, впровадженні та реалізації спеціального самохідного рухомого складу на комбінованому ході,

					0053-216511-ДП-2022-001	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		15

у тому числі машин для комплексної діагностики залізничної інфраструктури та маневрових робіт [4].

За допомогою лабораторії серії «ЛДМ» ведеться реєстрація та документування первинних даних контролю та результатів обробки, а також отриманої інформації в реальному масштабі часу. Усі функції реєстрації та документування здійснюються комплексом "КРУЗ-М" або "КРУЗ-2" (залежно від модифікації "ЛДМ"). Лабораторія модифікацій «ЛДМ-1-П», «ЛДМ-1-ДПГ», окрім дефектоскопної системи, може бути доукомплектована системами шляховимірювання та георадіолокації.

Фахівці ДК «ТВЕМА» спільно з інженерами «DB Systemtechnik» провели випробувальний проїзд мобільної дефектоскопної лабораторії ЛДМ-ЛР (рис. 2.1) на контрольній залізничній ділянці в німецькому місті Kirchmöser.



Рис. 2.1 - Колієвимірювальна лабораторія на комбінованому ході
LAND ROVER – Defender (ЛДМ-ЛР)

З метою підвищення продуктивності контролю об'єктів інфраструктури необхідно використовувати мобільні діагностичні комплекси (МДК), що експлуатуються в межах однієї залізниці. Комплекс розміщується в модернізованому пасажирському вагоні і є повнофункціональним дефектоскопом-колієвимірником.

					0053–216511–ДП–2022-001	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		16

Діагностичний вагон «СПРИНТЕР» (рис. 2.2) призначений для проведення швидкісної діагностики рейок, укладених у залізничну колію із шириною колії 1520 (1524) мм на швидкостях до 140 км/год.

Виконання діагностичного вагона передбачає 3 варіанти:

- ультразвуковий вагон дефектоскоп;
- безконтактний вагон шляховимірювач;
- засіб комплексної діагностики (дефектоскоп-колієвимірювач).

Включає в себе:

- систему виявлення дефектів рейок ультразвуковим методом неруйнівного контролю;
- систему для візуально-вимірювального неруйнівного контролю рейок (відеоконтролю);
- систему для контролю та оцінки основних параметрів геометрії рейкової колії головних та прийомовідправних шляхів під навантаженням;
- систему для контролю та оцінки додаткових геометричних параметрів рейкової колії;
- систему відеоспостереження стану об'єктів інфраструктури.

«СПРИНТЕР» передбачає розміщення обладнання та систем, що забезпечують проведення суцільного контролю рейок, під кузовом та в його салоні. Вперше дефектоскопне обладнання розміщено на ходовому візку «безлюлечного» типу.

Діагностичне обладнання та системи вагона «СПРИНТЕР» забезпечують проведення суцільного контролю рейок двома методами: оптичним та ультразвуковим.

Спільний проект компанії ТВЕМА з Чеськими залізницями за участю компаній AV Engineering, CZ Loko та NDCon Logic (Чехія), Центру Діагностики Угорських залізниць MAV KfV та фірми PLR Magdeburg (Німеччина), реалізований у 2017 році.

Метою проекту є створення оптимальної діагностичної одиниці адаптованої до особливостей залізниць та метрополітенів країн ЄС.

					0053-216511-ДП-2022-001	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		17

уперше представники одразу чотирьох європейських країн змогли спільно створити єдиний діагностичний комплекс.

Оптичний метод.

В рамках реалізації оптичного методу контролю на вагон встановлюються як камери матричного (оглядового), так і лінійного (високороздільного) відео.

Матричні камери призначені для відеоспостереження за роботою підсистем вагона та візуального контролю стану рейок, рейкових стиків, стрілочних переводів та рейково-шпальних кріплень. Матричні відеокамери встановлюються в термокожухи. Для підсвічування та отримання рівномірно освітленого зображення у будь-який час доби та за будь-яких погодних умов встановлюються прожектори.

Лінійні камери забезпечують безперервну лінійну фотозйомку із синхронізацією від зовнішнього джерела за інтерфейсом RS 422/485. Можливість камер апаратно стискати дані у форматі JPEG 2000 у реальному часі дозволяє скоротити обсяг даних з 1Гб до 200 Мб на кілометр запису з дискретністю зйомки 1мм. Універсальне кріплення дозволяє встановлювати камери над рейковою ниткою перпендикулярно поверхні катання для відстеження поверхневих дефектів, під кутом до зовнішньої і робочої грані головки для читання маркувальних знаків на шийці рейки, над рейковими скріпленнями для пошуку відступів від норм утримання шляхів тощо. Лінійні камери дозволяють вимірювати розміри поверхневих дефектів, стикових зазорів тощо.

					0053–216511–ДП–2022-001	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		19

3. ПОРІВНЯЛЬНІ ВИПРОБУВАННЯ ПАСАЖИРСЬКИХ ВАГОНІВ НА ВІЗКАХ МОДЕЛЕЙ 68-7007 (68-7012), 68-4065 (68-4066) ТА Y-32 ЗА КРИТЕРІЄМ ДІЇ НА КОЛІЮ ТА СТРІЛОЧНІ ПЕРЕВОДИ

Мета роботи – визначення експериментальним та розрахунковим шляхом напружено-деформованого стану залізничної колії під впливом пасажирських вагонів на візках 68-7007 (68-7012), 68-4065 (68-4066) та Y-32 при різних швидкостях руху поїздів.

3.1 Організація експериментальних досліджень

Загальні положення

Основою для виконання роботи є договір між Державним українським науково-дослідним інститутом вагонобудування (УкрНДІ) та Дніпропетровським національним університетом залізничного транспорту (ДНУЗТ). Робота виконувалась кафедрою «Колія та колійне господарство» та колієвипробувальною галузевою науково-дослідною лабораторією ДНУЗТу.

Експериментальні випробування виконувалися у відповідності до «Програми та методики випробувань впливу пасажирського вагона на візках моделі 68-7007 на колію» (7007.00.000 ПМ1). Цим документом встановлено обсяг випробувань для визначення впливу пасажирського вагона на візках моделі 68-7007 на колію.

Мета науково-дослідної роботи та задача експериментальних досліджень

Метою випробувань є одержання розрахунково-експериментальним шляхом значень параметрів впливу пасажирських вагонів з візками моделі 68-7007 на колію, у відповідності до технічного завдання на візок моделі 68-7007 (далі ТЗ), у порівнянні з типовими конструкціями.”

Основним завданням випробувань по впливу вагонів на візках моделі 68-7007 та КВЗ-ЦНІІ на колію є визначення і оцінка умов руху пасажирського вагона з цими візками на мережі залізниць України на підставі розрахунків з використанням отриманих експериментальних даних і результатів аналізу

					0053–216511–ДП–2022-001	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		20

деформацій і напружень в елементах колії характерних ділянок залізничної колії і стрілочного переводу відповідної конструкції і стану.

Об'єкт випробувань (конструкція колії)

Випробуванням підлягали пасажирські вагони на візках моделі 68-7007, KB3-ЦНП, Тверь2, Y32. Дослідні пасажирські вагони пройшли приймально-заводських випробування, повністю екіпіровані, прийняті ВТК заводу-виробника і представником замовника (ЦЛ УЗ) та оформлені актом готовності вагонів до випробувань.

Випробування проводились на шістьох ділянках колії Придніпровської та Південно-Західної залізниці:

Ділянка № 1

Ділянка розташована у прямій. Конструкція колії – безстикова; рейки Р65; проміжне скріплення КБ; шпали залізобетонні, 1840 шт. / км; баласт щебеновий з товщиною під шпалою понад 30 см. Ширина колії 1520 мм. Ділянка розташована на 19 км (ПК 4) перегону Новомосковськ-Дніпровський – Баловка Придніпровської залізниці.

Ділянка №2

Ділянка розташована у кривій з радіусом 1200 м. Конструкція колії – безстикова; рейки Р65; проміжне скріплення КБ; шпали залізобетонні 2000 шт./км; баласт щебеновий з товщиною під шпалою понад 30 см. Ділянка розташована на 17 км (ПК 5) перегону Новомосковськ-Дніпровський – Баловка Придніпровської залізниці.

Ділянка №3

Ділянка розташована у кривій з радіусом 600 м. Конструкція колії – безстикова; рейки Р65; шпали дерев'яні, 2000 шт./км; баласт щебеновий з товщиною під шпалою понад 30 см;

Ділянка №4

Стрілочний перевід типу Р65 марки 1/11; підрейкова основа - залізобетонні бруси; баласт щебеновий, товщина під шпалою понад 20 см.

Ділянка № 5

					0053-216511-ДП-2022-001	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		21

Ділянка розташована у прямій. Конструкція колії – безстикова; рейки Р65; проміжне скріплення КБ; шпали залізобетонні, 1840 шт. / км; баласт щебеневий з товщиною під шпалою понад 30 см. Ділянка розташована на 41 км (ПК 4) перегону Бориспіль – Баришівка Південно-Західної залізниці.

Ділянка № 6

Ділянка розташована у прямій. Конструкція колії – безстикова; рейки Р65; проміжне скріплення КПП; шпали залізобетонні, 1840 шт. / км; баласт щебеневий з товщиною під шпалою понад 30 см. Ділянка розташована на 41 км (ПК 4) перегону Бориспіль – Баришівка Південно-Західної залізниці.

Стан колії на всіх ділянках і стрілочному переводі відповідав вимогам [9], і оцінювався не нижче оцінки - "добре" згідно [1], а на ділянках 5-6 при швидкостях більше 140 км/год - вимогам [10].

Дослідний склад для випробувань на ділянках 1-4 формувался з двох електровозів (ЧС2 або ЧС7) та трьох пасажирських вагонів (на візках 68-7007, на візках КВЗ-ЦНП та на візках У-32) у порожньому стані та з імітаційним вантажем. На ділянках 5-6 дослідний склад формувался з електровозу ДС3 та двох завантажених пасажирських вагонів з візками 68-7007 (68-7012).

Організація виконання випробувань

Випробування проводились на дослідних ділянках у відповідності до розпорядження Укрзалізниці від 19.05.04 ЦЗТ-34/337 та відповідних наказів Придніпровської і Південно-Західної залізниць у “вікна”. До випробувань стан дослідних ділянок колії перевірявся колієвимірювальним вагоном із наданням колієвимірювальної стрічки ДНУЗТу. Безпосередньо перед випробуваннями та під час їх проведення виконувалось натурне інструментальне обстеження дослідних ділянок та підходів до них.

Швидкості з якими реалізувалися поїздки по кожній дослідній ділянці наведено у табл. 1.2.

Для тарування датчиків на кожній дослідній ділянці здійснювались поїздки рухомого складу зі швидкістю 5 км/год.

					0053–216511–ДП–2022-001	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		22

Випробування проводилися у відповідності до вимог «Правил технічної експлуатації залізниць України» (ЦРБ-0004), «Інструкція з сигналізації на залізницях України» (ЦШ-0001), «Інструкція з руху поїздів і маневрової роботі на залізницях України» (ЦД-0001) та ЦП-0273 «Інструкція з забезпечення безпеки руху поїздів при виконанні колійних робіт на залізницях України»

На період проведення експериментальних досліджень усім поїздам видавалися попередження про особливу пильність під час руху по дослідним ділянкам.

Дослідні ділянки на весь період проведення експериментальних досліджень, огорожувалися переносними сигнальними знаками «С» відповідно до п. 3.6 ЦП/0273.

Під час проведення експериментальних досліджень стан дослідних ділянок систематично перевірявся на відповідність вимогам [1,2,6,8]. Випадків виявлення відступів понад установлених норм і допусків на дослідних ділянках не виявлено.

Експериментальні дослідження проводилися у світлий час доби у «вікна». Під час кожної серії дослідних поїздок (за серію рахуються поїздки дослідного поїзда з однією швидкістю) проводився експрес-аналіз результатів з оцінкою максимальних значень бокових і вертикальних переміщень рейки, та крайкових напружень у рейках. Рішення про виконання поїздок з більшими швидкостями до граничної швидкості включно приймалися тільки після експрес-аналізу результатів вимірів та обстеження дослідних ділянок на предмет наявності залишкових деформацій.

Перед проведенням випробувань дистанція колії виправила дослідні ділянки в плані та профілі.

Випробування та обміри виконувалися відповідно до вимог «Інструкції з охорони праці під час виконання обмірів колії, елементів верхньої будови колії, стрілочних пєб8-7007мого складу безпосередньо на коліях перегонів та станцій», що розроблена колієвипробувальною ГНДЛ ДНУЗТ.

					0053-216511-ДП-2022-001	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		23

Показники, що визначалися під час випробувань

У процесі виконання випробувань безпосередньо у колії на 1, 2 та 3 дослідних ділянках визначалися наступні параметри пружно-деформованого стану колії [7]:

- напруження згину в крайках підшви рейок;
- напруження згину в зовнішній грані головки рейки;
- напруження в кромках підшви гостряка (на ділянці №4);
- вертикальні сили (напруження) на шийці рейки;
- поперечні горизонтальні та вертикальні переміщення рейок.
- вертикальні та поперечні горизонтальні сили, що діють на рейки.

Поїздки дослідного составу здійснювалися човником (туди і назад) на всіх ділянках крім 5 та 6. Кількість дослідних поїздок при кожній швидкості забезпечувала необхідну статистичну достовірність результатів і наведена у табл. 1.2.

Для реєстрації показників взаємодії колії та рухомого складу використовувалися тензометричні датчики, для вимірів просторової деформації рейкових ниток – електропрогиноміри ЦНИИ МПС. В якості реєструючих пристроїв використовувалися світлопроменеві осцилографи та аналого-цифрові перетворювачі з підсилювачем постійного струму.

Всі записи перевірялися керівником випробувань безпосередньо на місці випробувань. Неякісні записи (недостатній масштаб запису, відсутність “нулів”, недостатня яскравість та інші) виключалися та при необхідності проводились додаткові заїзди з метою забезпечення статистичних характеристик.

Пружність підрейкової основи дослідних ділянок приймалась на підставі раніше виконаних досліджень.

Схеми приладів, що встановлюються на дослідних ділянках наведені на рисунках Д.1-Д.5 (Додаток 1). Кількість приладів, що встановлюються на дослідних ділянках наведені у таблиці 1.1.

Горизонтальні прогини вимірювалися за допомогою прогиномірів (ПГ), які кріпилися до штирів, що забивалися у баласт безпосередньо біля рейки.

					0053–216511–ДП–2022-001	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		24

Прогиноміри включалися у ланцюг таким чином, що горизонтальному віджиманню рейки усередину колії на осцилограмі відповідає переміщення лінії запису вниз, а віджиманню назовні колії – нагору щодо нульової лінії, що зображує ненавантажене положення рейок.

Вертикальні сили, що діють від коліс на рейки, вимірялися за допомогою тензодатчиків (Ш), що наклеювалися вертикально в зоні нейтральної осі по обидва боки шийки рейки і включалися в спільну роботу. Показання цих датчиків записувалися через підсилювачі.

Для визначення бокових сил, що діють від рухомого складу на колію, прилади розташовувалися групами. Вимір напружень у зовнішній і внутрішній крайках підшви рейок здійснювалося за допомогою дровових датчиків з базою 20 мм і опором 200 Ом. Датчики наклеювалися практично біля самої крайки підшви по її нижній поверхні. У тих поперечних перерізах рейок, де розміщалися датчики крайкових напружень, вимірялися напруження в зовнішній грані головки рейок (Г) за допомогою аналогічних датчиків, що наклеювалися приблизно по середині головки.

Таблиця 1 - Кількість пристроїв, які встановлювалися на дослідних ділянках

Найменування пристроїв	Дослідні ділянки					
	№1	№2	№3	№4	№5	№6
Для вимірів напруження в кромках підшви рейок	23	12	24	24	12	12
Для вимірів напруження в зовнішній грані головки рейок	12	6	12	10	6	6
Для вимірів напруження в шийці рейок	12	6	12	7	6	6
Для вимірювань горизонтальних переміщень головки рейок	12	6	12	7	6	6
Для вимірювань вертикальних переміщень рейок	4	6	4	7	6	6
всього	63	36	64	55	36	36

Таблиця.2 - Кількість дослідних поїздок

Дослідні ділянки	Кількість поїздок при швидкостях руху, км/год														Усього
	15	20	25	40	50	60	80	100	120	130	140	150	160	175	
№1	-	6/9	-	7/10	-	9/10	10/8	12/7	11/13	15/-	6/9	10/10	10/9	-	96/85
№2	-	8/4	-	8/2	-	8/5	10/8	7/8	9/6	-	-	-	-	-	50/33

№3	-	-	10/12	-	10/11	10/11	-	-	-	-	-	-	-	-	30/34
№4	23/-	-	22/-	20/-	20/-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	83/-
№5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1/-	1/-
№6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1/-	1/-
Разом	23/-	14/13	32/12	35/12	30/11	27/26	20/16	19/15	20/19	15/-	6/9	10/10	10/9	2/-	261/152

Примітка: Чисельник – завантажені вагони, знаменник – порожні

Коефіцієнт стійкості проти сходу рухомого складу з рейок від укочування гребеня колеса на рейку, як відомо, являє собою відношення бокової сили, що діє від екіпажа на рейку в якому-небудь перетині, до вертикальної сили в цьому ж перетині. У такий спосіб і виконувався розрахунок цього коефіцієнта в кожному перетині колії під кожною віссю дослідного поїзда в прямих ділянках при швидкостях до 175 км/год.

Проводи від усіх датчиків, установлених на колії, підключалися до розподільчих лінійних коробок, а від них до вагона-лабораторії (до контейнера на ділянці №2 та до приміщення ПЧ на ділянках 5,6), у якому розташовувалася вся реєструюча апаратура. При цьому вагон-лабораторія ДНУЗТа встановлювався на окремому тупику біля дослідних ділянок № 1, 3 та 4. Для цього перед початком випробувань вагон-лабораторія встановлювався на цей тупик в окреме „вікно”.

3.2 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ НА ДОСЛІДНИХ ДІЛЯНКАХ

Характеристика дослідних ділянок

Дослідження проводилися у відповідності до затвердженої програми та методики на прямих ділянках колії та у круговій кривій.

В якості дослідних ділянок колії були обрані 6 ділянок.

На дослідній ділянці №1 вантажонапруженість складає до 30 млн. ткм бруто на км у рік, встановлена швидкість руху поїздів – 100 км/год. Перегін одноколіїний.

В колії були виміряні ширина колії та положення за рівнем. Результати вимірів приведені на рисунках 2.1-2.2. Крім того, були проаналізовані стрічки вагона-колієвимірювача. Стан колії на дослідних ділянках відповідав вимогам [9]

					0053–216511–ДП–2022-001	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		26

і оцінювався на відмінно.

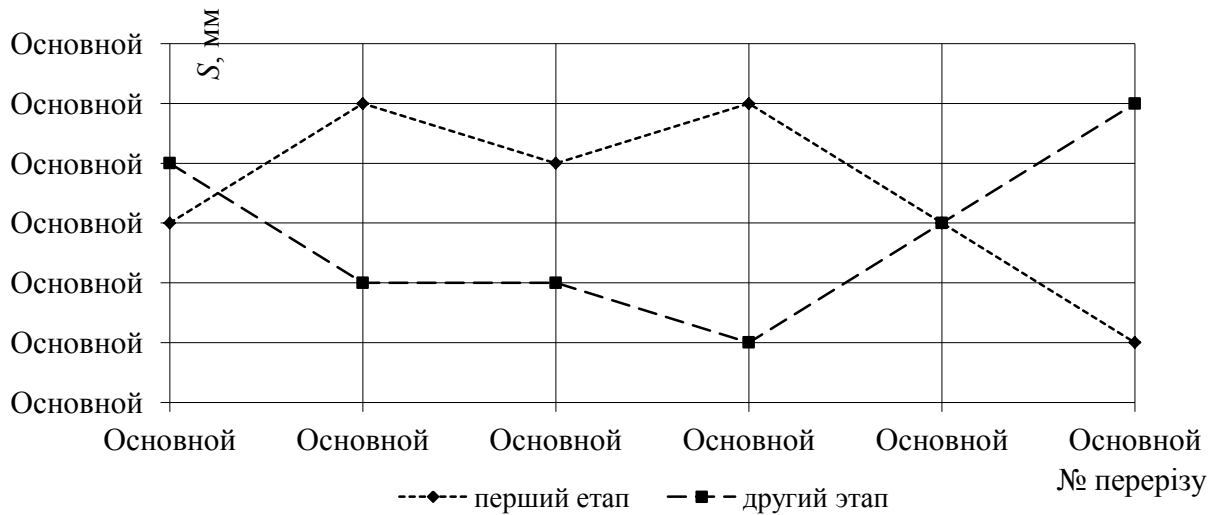


Рисунок 3.1 - Ширина колії на дослідній ділянці №1

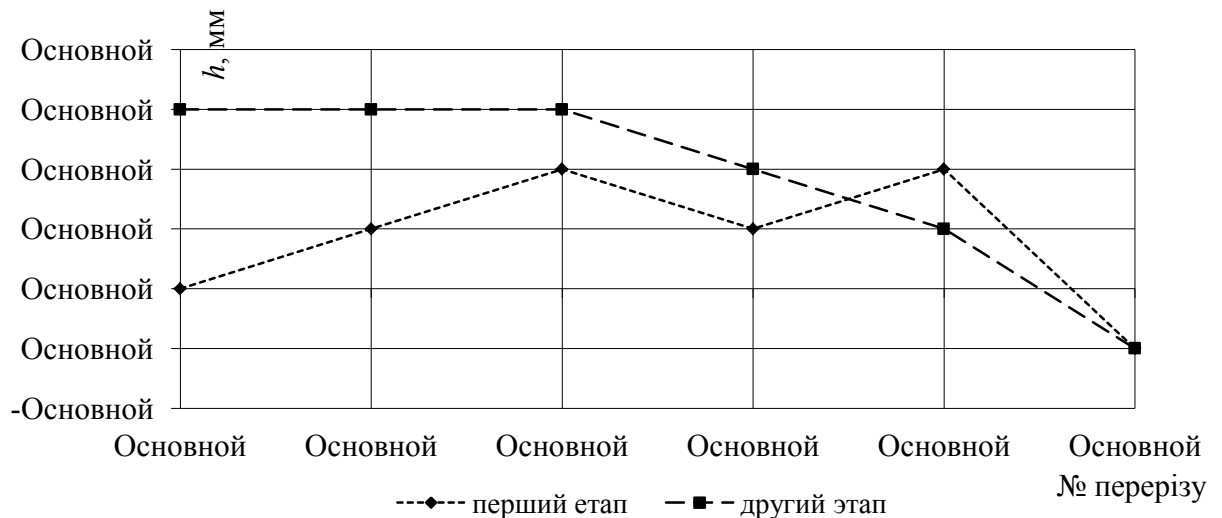


Рисунок 3.2 - Стан колії за рівнем на дослідній ділянці №1

Стан колії на дослідній ділянці перевірявся перед кожним циклом заїздів. Змін в стані колії не спостерігалось.

На дослідній ділянці №2 вантажонапруженість складає до 30 млн. ткм бруто на км у рік, встановлена швидкість руху поїздів – 100 км/год. Перегін одноколійний.

В колії були виміряні ширина колії, положення за рівнем та стріли вигину. Результати вимірів приведені на рисунках 3.3-3.5. Крім того, були проаналізовані стрічки вагона-колієвимірвача. Стан колії на дослідних ділянках відповідав

вимогам ЦП-0050, і оцінювався на відмінно.

Стан колії на дослідній ділянці перевірявся перед кожним циклом заїздів.
Суттєвих змін в стані колії не спостерігалося.

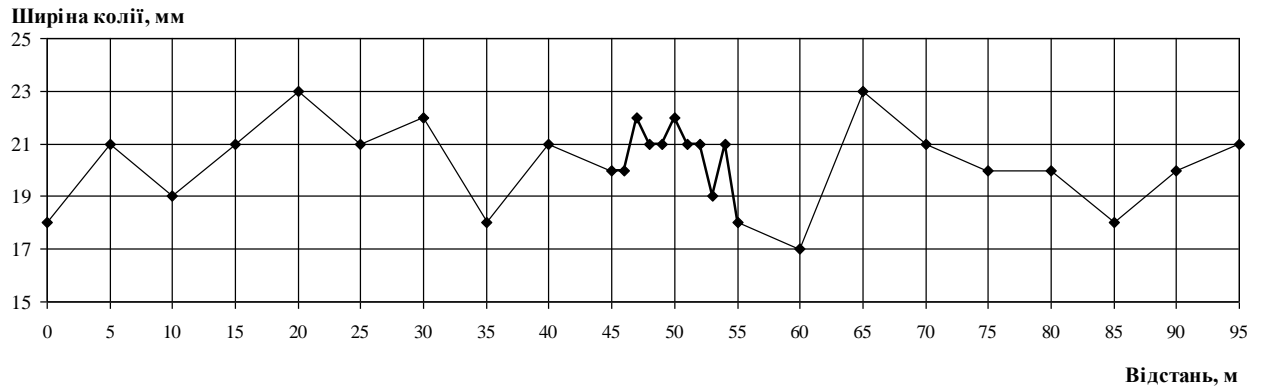


Рисунок 3.3 - Ширина колії на дослідній ділянці №2

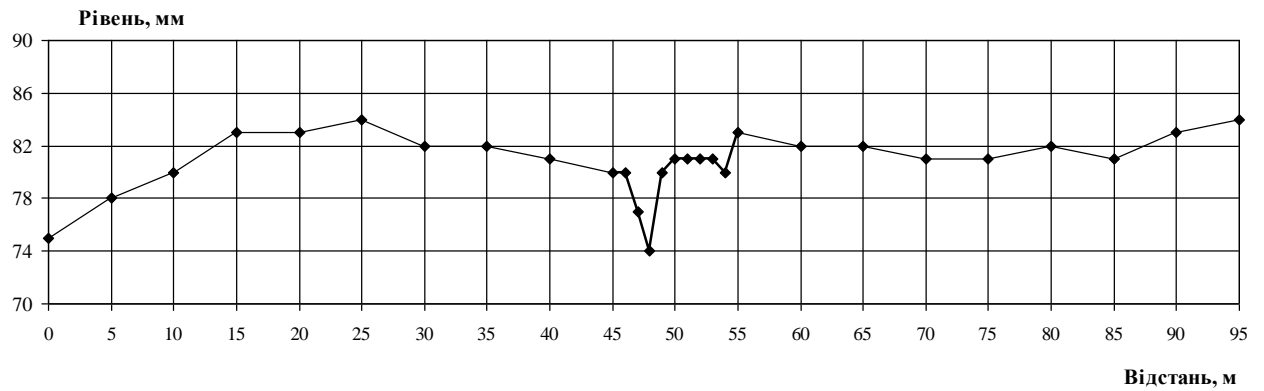


Рисунок 3.4 - Стан колії за рівнем на дослідній ділянці №2

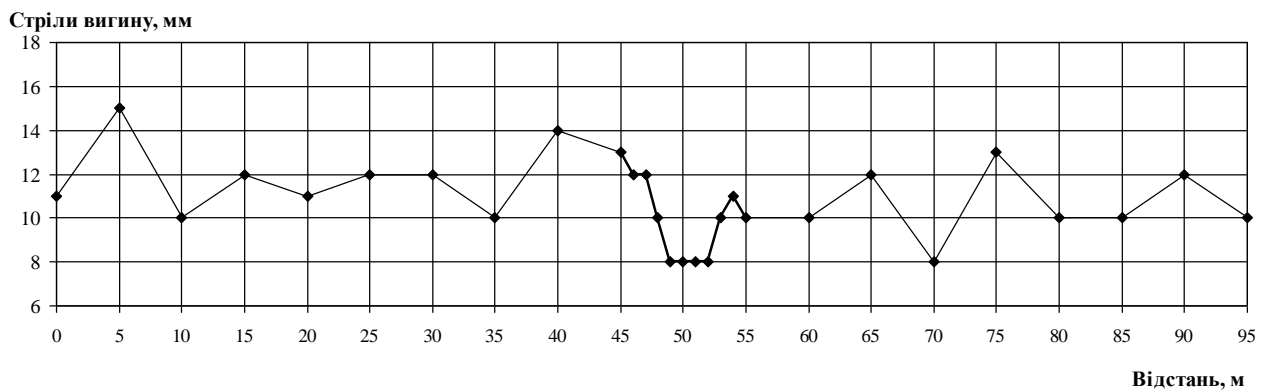


Рисунок 3.5 – Стан кривої у плані на дослідній ділянці №2

На дослідній ділянці №3 вантажонапруженість складає до 30 млн. ткм брутто на км у рік, встановлена швидкість руху поїздів – 60 км/год. Перегін одноколійний.

В колії були виміряні ширина колії, положення за рівнем та стріли вигину. Результати вимірів приведені на рисунках 3.6-3.8. Крім того, були проаналізовані стрічки вагона-колієвимірювача. Стан колії на дослідних ділянках відповідав вимогам ЦП-0050, і оцінювався на задовільне.

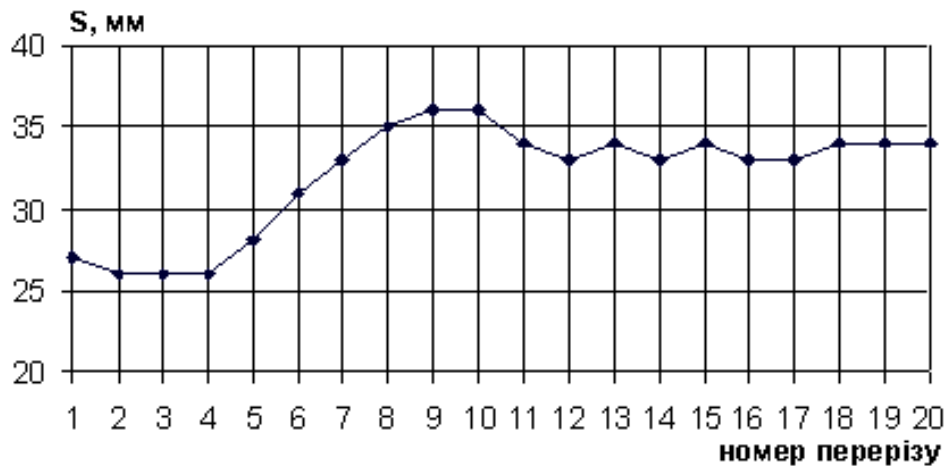


Рисунок 3.6 - Ширина колії на дослідній ділянці №3

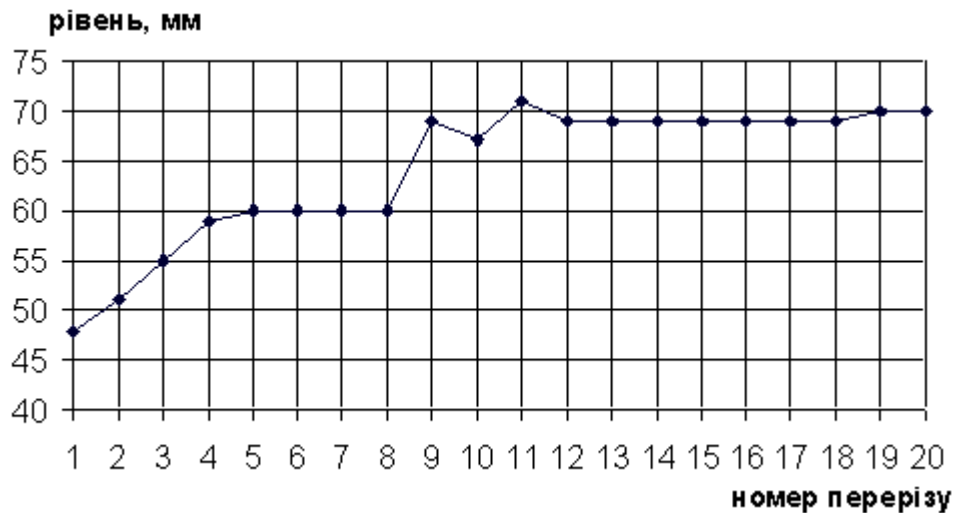


Рисунок 3.7 - Стан колії за рівнем на дослідній ділянці №3

Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата

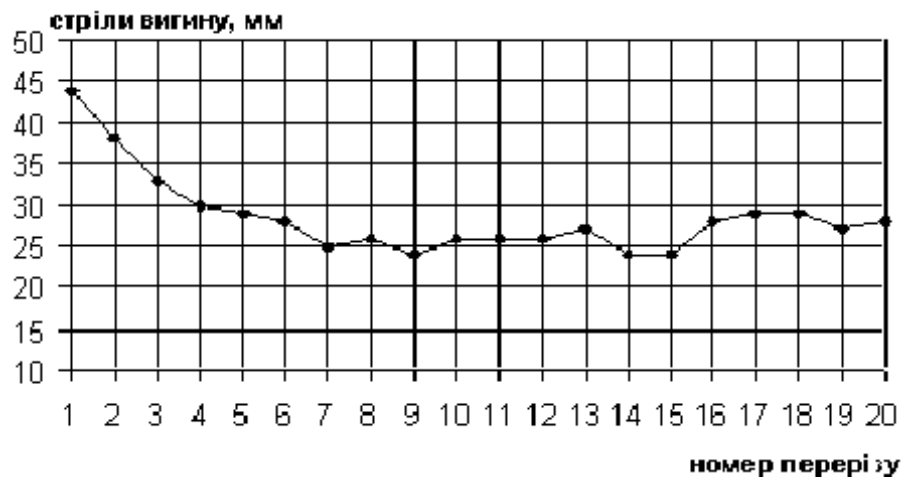


Рисунок 3.8 – Стан кривої у плані на дослідній ділянці №3

Стан колії на дослідній ділянці перевірявся перед кожним циклом заїздів. Суттєвих змін в стані колії не спостерігалось.

На дослідній ділянці №4 (стрілочний перевід марки 1/11) на період випробувань була встановлена швидкість руху поїздів по боковій колії – 50 км/год.

На стрілочному переводі були виміряні ширина колії та положення за рівнем. Результати вимірів приведені у таблиці на рисунках 3.9-3.10. Стан колії на дослідних ділянках відповідав вимогам ЦП-0269.

Стан колії на дослідній ділянці перевірявся перед кожним циклом заїздів. Суттєвих змін в стані колії не спостерігалось.

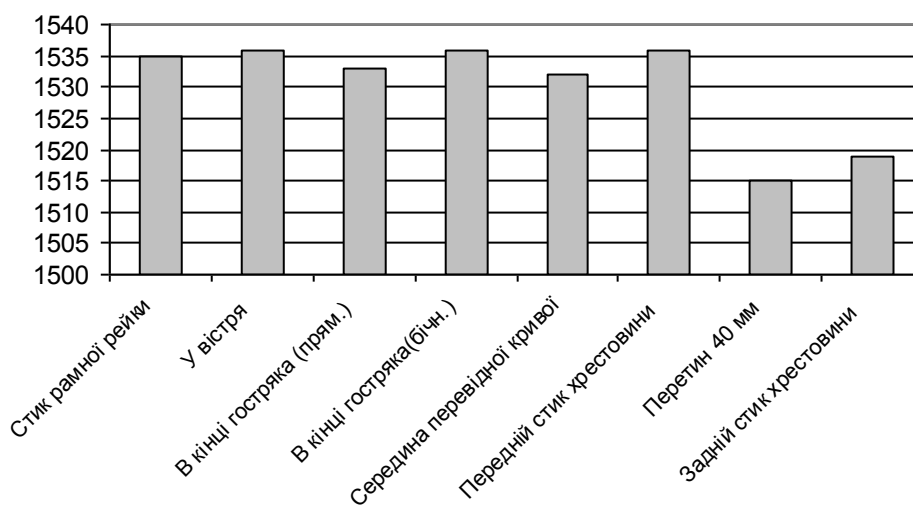


Рисунок 3.9 - Ширина колії на дослідній ділянці №4

Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата
------	------	----------	---------	------

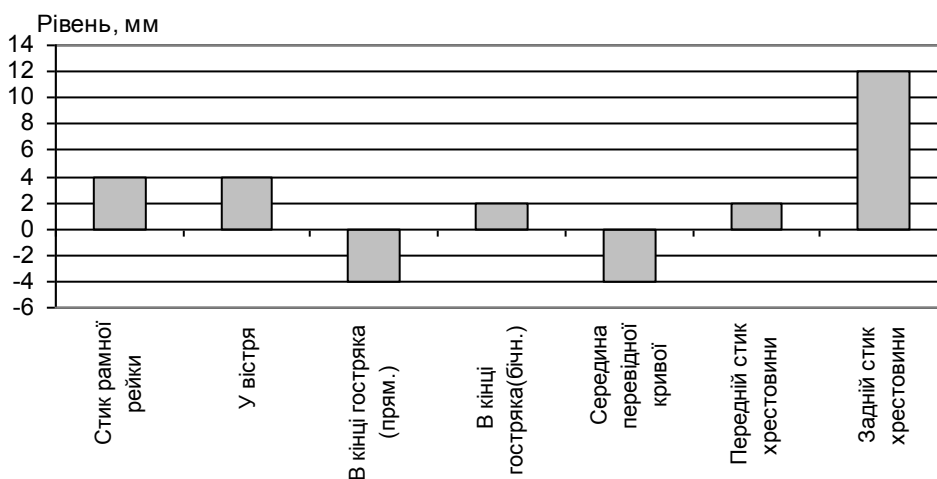


Рисунок 3.10 - Стан колії за рівнем на дослідній ділянці №4

На дослідній ділянці №5 (6) вантажонапруженість складає до 30 млн. ткм бруто на км у рік, встановлена швидкість руху поїздів – 140 км/год. Перегін двоколіїний. Випробування виконувались по парній колії (ділянка №5) та по непарній колії (ділянка №6).

В колії були виміряні ширина колії та положення за рівнем. Результати вимірів приведені на рисунках 3.1-3.2. Крім того, були проаналізовані стрічки вагона-колієвимірювача. Стан колії на дослідних ділянках відповідав вимогам ЦП-0050 і оцінювався на відмінно.

Стан колії на дослідній ділянці перевірявся перед кожним циклом заїздів. Змін в стані колії не спостерігалось.

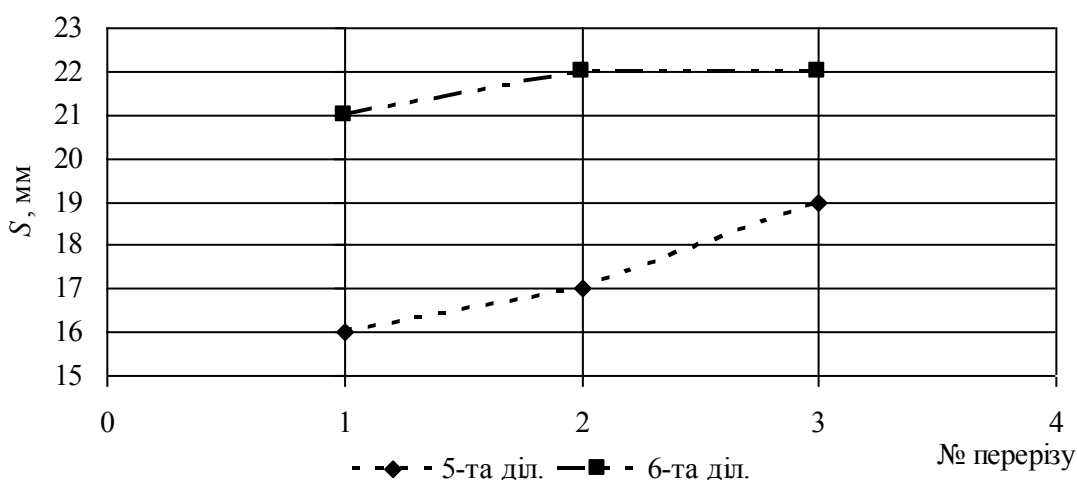


Рисунок 3.11 - Ширина колії на дослідній ділянках №5,6

Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата
------	------	----------	---------	------

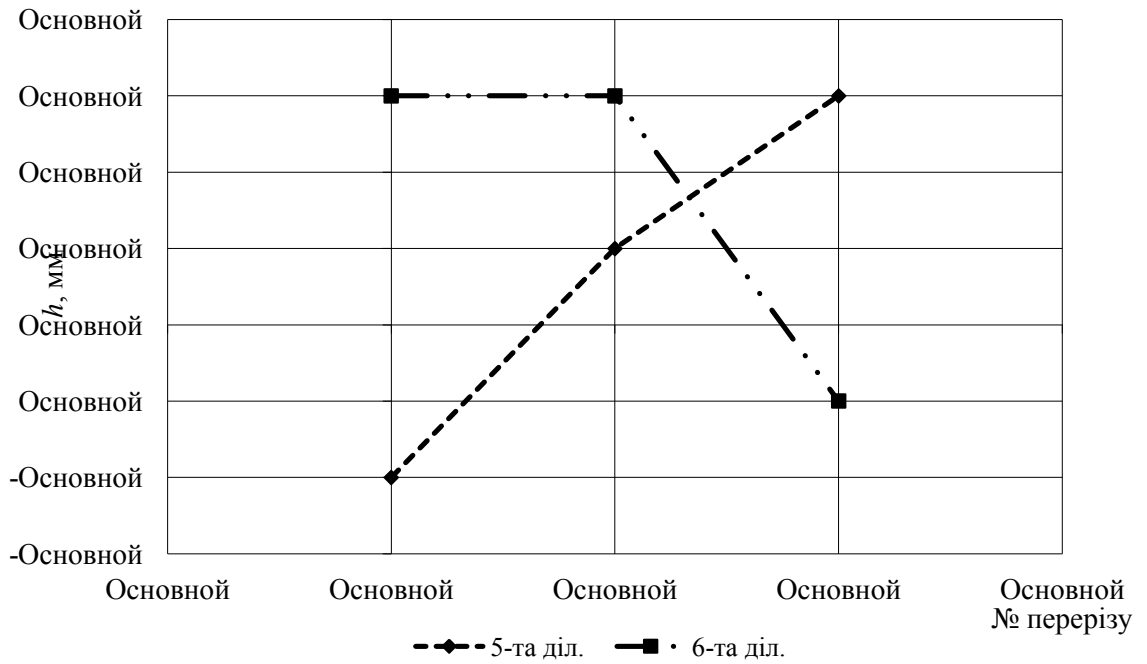


Рисунок 3.12 - Стан колії за рівнем на дослідній ділянках №5,6

На кожній дослідній ділянці на підставі аналізу отриманих даних були обрані місця установки вимірювальних приладів (див. рисунки Д.1-Д.5). Фотографії встановлених датчиків та обладнання наведені на рисунках 3.13-3.17



Рисунок 3.13 - Фотографія датчиків для виміру напружень у крайках підшви та головки рейки



Рисунок 3.14 - Фотографія датчиків для виміру переміщень

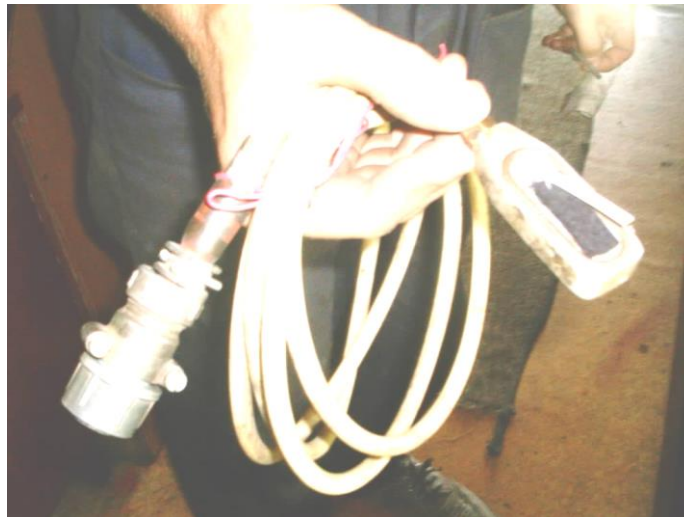


Рисунок 3.15 - Фотографія датчика для виміру крайкових напружень у підшві рейок

швидкістю 5 км/год. для тарування датчиків вертикальних сил.

Для проведення випробувань на дослідній ділянці №5 формувалася випробувальний поїзд з одного електровоза ДС3 і двох дослідних пасажирських вагонів (рис 3.20). На дослідній ділянці №6 локомотив ДС3 розташовувався з іншої сторони.

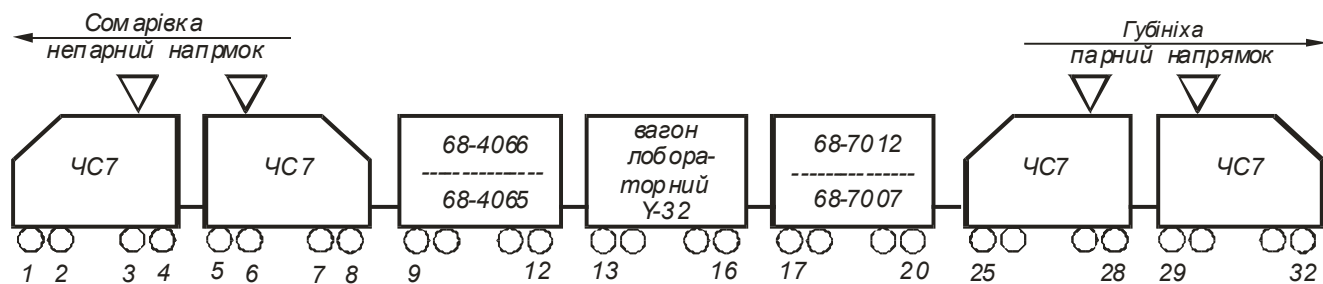
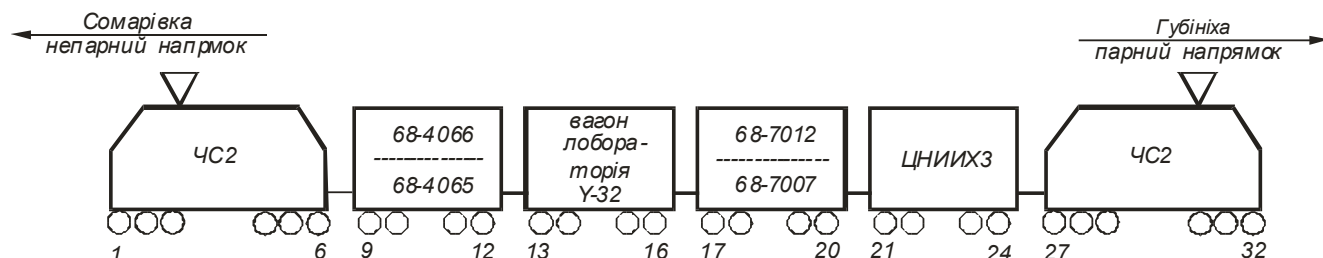
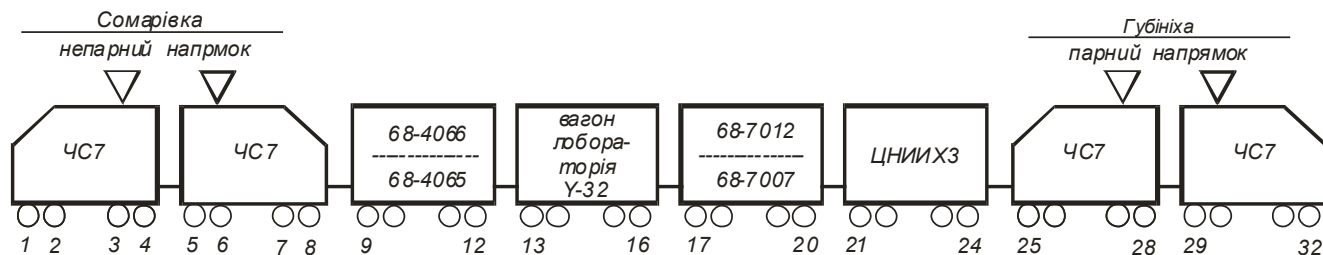
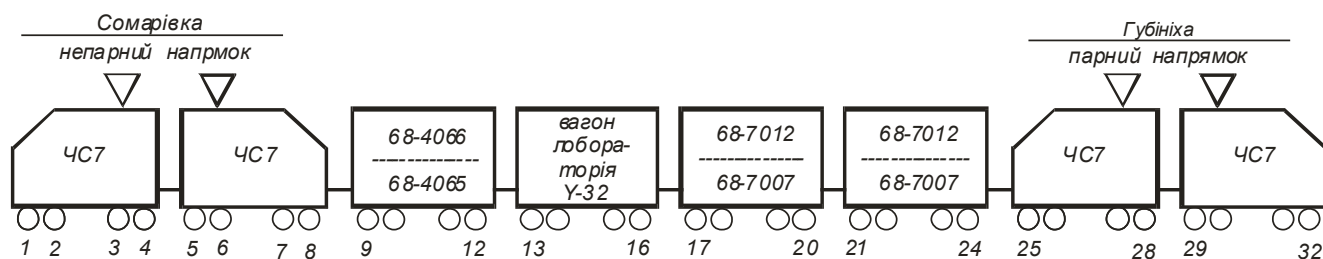


Рисунок 3.18 – Схема основного складу дослідного поїзду



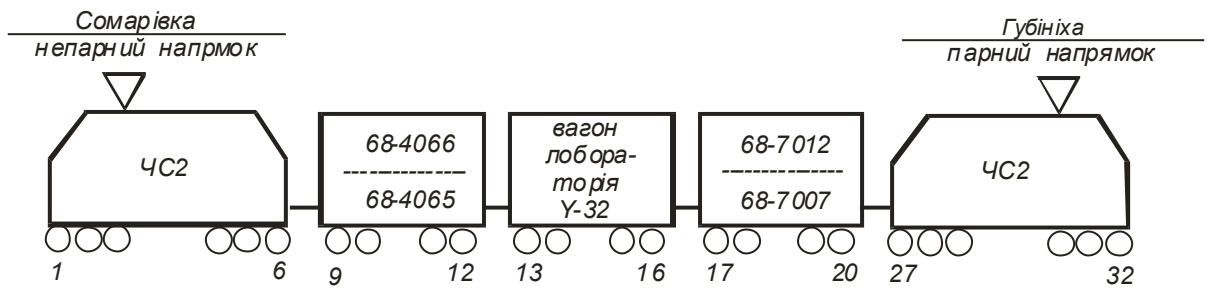


Рисунок 3.19 – Варіанти складу дослідного поїзду

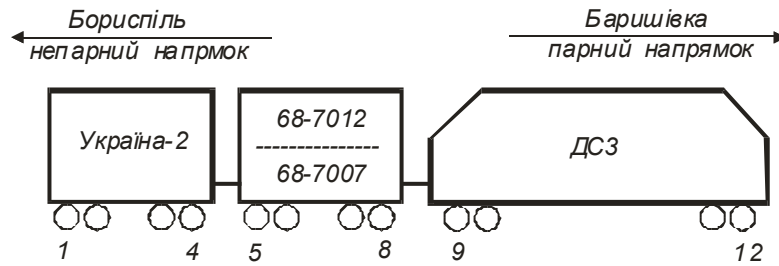


Рисунок 3.20 - Схема складу дослідного поїзду для ділянок № 5 та №6

Методика обробки дослідних даних

За показниками кожного датчика при заданій швидкості і напрямку руху складалася первинна вибірка (вибіркова сукупність), що вважалася випадковим витягом з генеральної сукупності. На підставі цього здійснювалася статистична обробка дослідних даних.

Для кожної вибірки визначалися основні статистики, а саме: середнє, середньоквадратичне відхилення і максимальне ймовірне значення при прийнятому в розрахунках колії на міцність рівні не перевищення імовірності 0,994. Ці вибірки групувалися для однієї або декількох осей кожного екіпажа з перевіркою можливості об'єднання за встановленими критеріями.

За результатами статистичної обробки вимірів на кожній дослідній ділянці визначалися наступні групи основних показників:

- найбільші ймовірні значення динамічних сил, напружень і деформацій для порівняння з допустимими (рекомендаційними) значеннями;
- залежність середніх і максимальних значень динамічних характеристик від швидкості і напрямку руху екіпажів;
- найбільші що спостерігалися значення динамічних сил, напружень і

деформацій;

– найбільші що спостерігалися значення коефіцієнта стійкості проти сходу рухомого складу з рейок від укочування гребеня колеса на рейку.

Аналіз випробування пасажирських вагонів на дослідних візках у прямих ділянках колії (ділянка №1, 5, 6)

На дослідній ділянці № 1 випробування виконувались у два етапи зі швидкістю до 160 км/год (включно). На першому етапі випробувались вагони у завантаженому стані, а на другому етапі – у порожньому.

На дослідних ділянках № 5 та 6 було виконано по одному заїзду зі швидкістю 172-175 км/год.

Аналіз вертикальних сил, що передаються від екіпажів на рейки, і вертикальних прогинів рейок

Вертикальні сили дії коліс на рейки, вимірялися за допомогою тензодатчиків, наклеєних на шейках рейок у зоні нейтральної осі (рис.16), а деформації рейок у вертикальному перерізі реєструвалися вертикальними прогиномірами (рис. 3.14).

Зібрані схеми реєстрації сил було протаровано шляхом прокатування коліс дослідного складу в режимі вибігу зі швидкістю до 5 км/ч. Розташування тензодатчиків і прогиномірів на дослідній ділянці показано на рисунку Д.1.

У результаті обробки на ЕОМ отриманих у ході експерименту даних були визначені середні, максимальні ймовірні і максимальні що спостерігалися значення сил і деформацій колії від впливу дослідного складу.

Отримані в різних перетинах колії дані спочатку були об'єднані у вибірки по кожній набігаючій та ненабігаючій осях візків рухомих одиниць дослідного складу для кожної швидкості. Факторний аналіз показав, що з ймовірністю 0,95 різниці між набігаючими та ненабігаючими осями, а також між осями візків 68-7007 та 68-7012 немає. В подальшому данні для всіх осей одного вагону були об'єднані до однієї вибірки. Результати угруповання значень вертикальних сил зведені в таблицю 3. Для наочності за результатами обробки також побудовані

					0053–216511–ДП–2022-001	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		37

графіки залежності вертикальних сил від швидкості (рис. 3.21). В умовних позначках тут і далі «С» позначає середні значення (математичне чекання), «МН» - максимальне спостережене значення, «МВ» - максимальне ймовірне значення, «у» - для вагонів з візками У-32, «т» - для вагонів з візками 68-4065(66), «к» - для вагонів з візками 68-7007(12).

Таблиця 3 – Середні (\bar{P}), максимальні ймовірні (P_{max}^e) і максимальні що спостерігалися (P_{max}^H) значення вертикальних сил у прямій ділянці колії №1(кН)

	Швидкості, км/г									
	5	40	60	80	100	120	130	140	150	160
завантажені вагони з візками 68-4065(66)										
\bar{P}	77,3	64,2	65,7	69,3	69,4	69,4	70,9	69,6	64,9	69,8
P_{max}^e	99,2	95,3	100,8	107,4	114,3	120,8	111,2	125,9	112,5	122,7
P_{max}^H	98,9	104,3	111,9	122,0	157,3	145,4	115,7	120,9	116,8	139,2
завантажені вагони з візками У-32										
\bar{P}	75,1	64,5	69,2	71,7	69,8	69,9	74,6	66,1	63,8	68,8
P_{max}^e	102,0	99,6	107,7	116,5	123,4	128,8	164,0	155,3	168,6	189,4
P_{max}^H	106,7	104,5	122,1	133,2	145,4	165,4	218,8	201,3	247,5	246,7
завантажені вагони з візками 68-7007(12)										
\bar{P}	83,4	82,04	84,53	84,28	80,31	81,19	73,87	69,72	73,36	78,36
P_{max}^e	123,43	131,37	133,71	134,93	130,81	139,37	112,95	126,2	124,39	137,24
P_{max}^H	138,2	150,32	146,11	147,71	134,74	151,63	148,01	130,95	133,38	154,18

Як видно з рисунку 21 не спостерігається значного впливу швидкості на середні значення сил. Максимальні значення збільшуються з ростом швидкості. Максимальні значення вертикальних навантажень від коліс вагона з дослідними візками 68-7007 на рейки в прямій ділянці досягали 154,18 кН, максимальні ймовірні – 139,37 кН, середні – 84,5 кН. і не суттєво відрізнялись від впливу вагонів з візками 68-4065. При цьому максимальні вертикальні сили від вагону-лабораторії з візками У-32 спостерігалися до 247,5 кН. Враховуючи такий великий вплив вагону з візками У-32 у подальшому порівнювалися тільки дослідні візки 68-7007 з візками 68-4065.

Діапазон вертикальних прогинів, обмірюваних прогиномірами ПВ1 – ПВ4 варіювався за середніми значеннями по всіх вагонах від 0,8 мм до 1,2 мм, а по

максимально спостереженим – від 2,1 мм до 2,2 мм. Тому, з огляду на такий малий діапазон прогинів, було вирішено звести їх в одну вибірку по кожній рухомій одиниці дослідного складу. Результат вибірки наведено у таблиці 4 і на рисунку 3.21.

Аналізуючи результати виміру вертикальних прогинів і вертикальних сил, можна зробити наступні висновки:

- зі зростанням швидкості вертикальні сили, що діють на колію, як від дослідних так і від порівняльних візків практично не зростають;
- максимальні значення вертикальних сил від дослідних візків у прямій з рейками типу Р65 стабільні на всьому діапазоні швидкостей до 160 км/год і не перевищували 155 кН. Вони не суттєво відрізняються від впливу порівняльних візків 68-4065 (158 кН при швидкості 120 км/год).
- динаміка зміни вертикальних прогинів рейок під рухомим складом від швидкості аналогічна змінам вертикальних сил;
- величини максимальних вертикальних прогинів рейок на залізобетонних шпалах зі скріпленням КБ та КПП під дослідними і порівняльними візками практично не перевищують 2 мм.
- величина вертикальних прогинів рейок Р65 на залізобетонних шпалах зі скріпленням КПП практично не відрізняється від прогинів рейок зі скріпленням КБ.

					0053–216511–ДП–2022-001	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		39

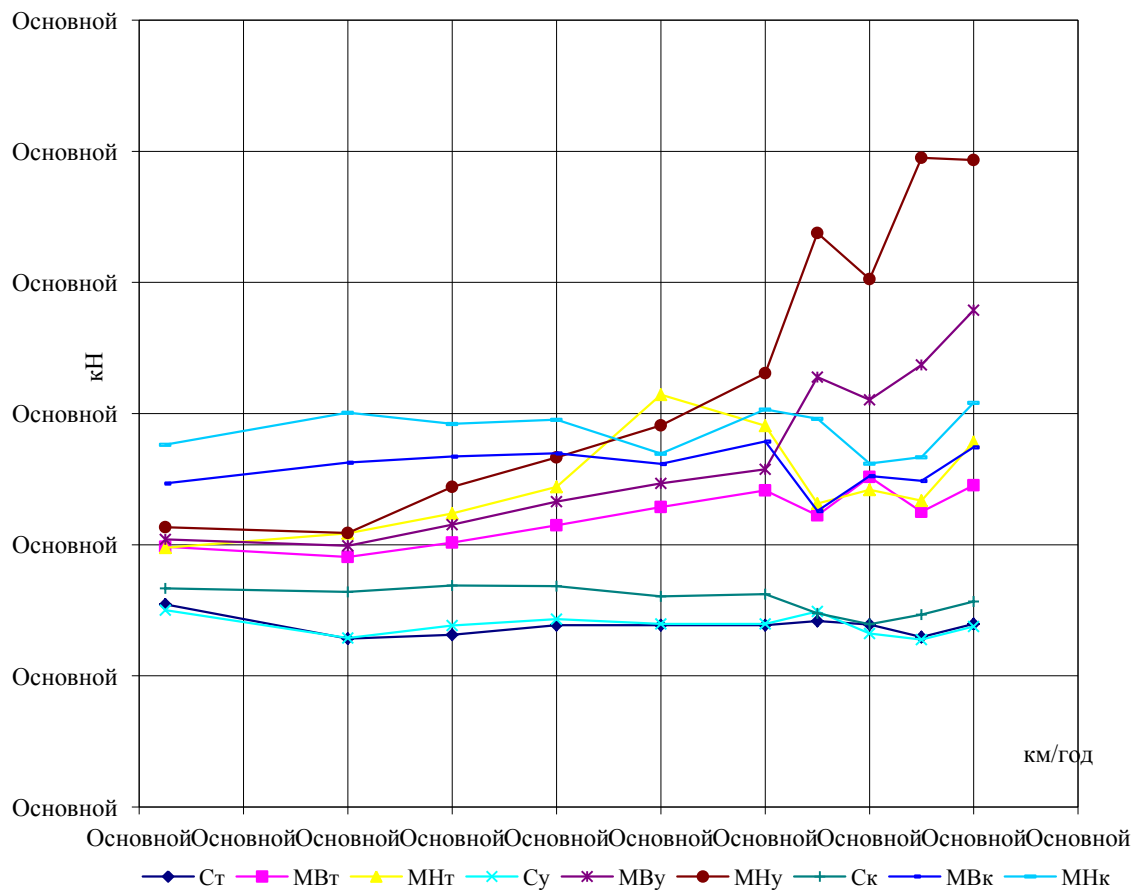


Рисунок 3.21 - Залежність вертикальних сил у рейках на прямій ділянці колії від швидкості руху

Таблиця 4 – Середні (\bar{z}), максимальні ймовірні (z_{max}^e) і максимальні що спостерігалися (z_{max}^h) значення вертикальних прогинів рейок (у мм) у прямих ділянках

	Швидкості, км/г										
	5	40	60	80	100	120	130	140	150	160	175
завантажені вагони з візками 68-4065(66)											
\bar{z}	0,88	0,96	0,92	0,92	0,96	1,01	1,00	1,15	0,93	0,92	-
z_{max}^e	1,94	1,74	1,76	1,71	1,77	1,89	1,93	2,08	1,89	1,70	-
z_{max}^h	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	-
завантажені вагони з візками У-32											
\bar{z}	0,82	0,92	0,95	0,95	1,00	1,08	1,10	1,22	1,08	1,09	-
z_{max}^e	1,88	1,72	1,94	1,81	1,86	2,12	2,23	2,26	2,11	2,09	-
z_{max}^h	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,12	2,11	2,00	2,00	2,00	-
завантажені вагони з візками 68-7007(12)											
\bar{z}	0,85	0,95	0,93	0,90	0,96	0,99	0,98	1,15	0,97	0,98	0,9
z_{max}^e	1,90	1,74	1,83	1,68	1,79	1,88	1,91	2,07	1,90	1,78	1,78
z_{max}^h	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,82

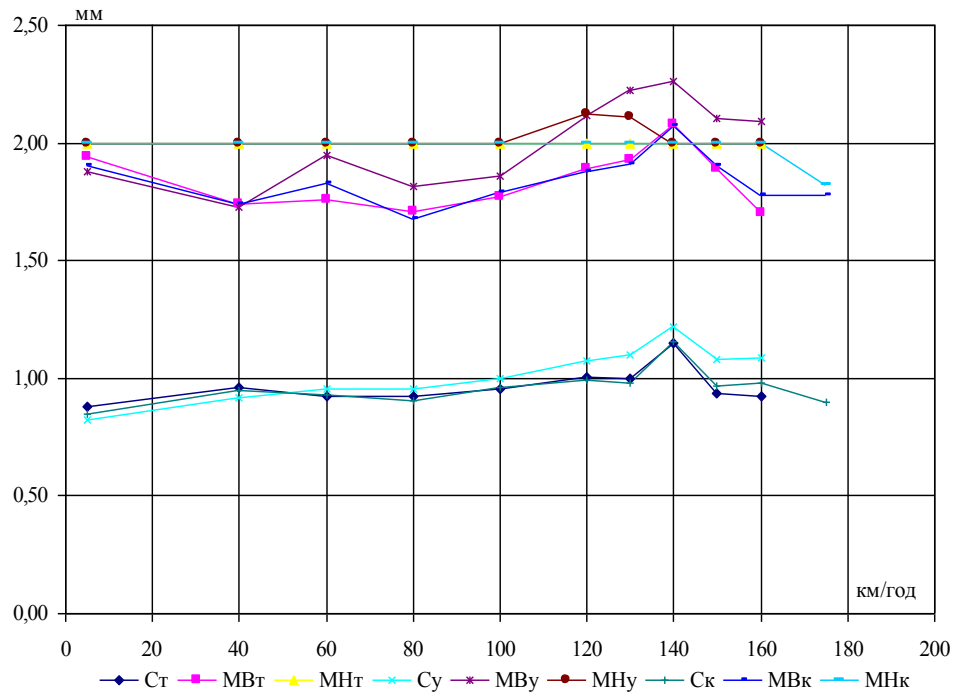


Рисунок 3.22 - Залежність вертикальних прогинів рейок від швидкості руху на прямій ділянці колії (№1)

Визначення та аналіз бокових сил, що передаються від екіпажів на рейки, і бокових віджимань рейок

Методика визначення бокових сил

Величини бокових сил розраховувалися за методикою Єршкова О.П. з використанням експериментально отриманих величин крайкових напружень у підшві та у зовнішній грані головки рейки:

$$H = B \cdot \sigma_H^n \quad (1)$$

де H – бокові сили, що виникають у колії;

B – коефіцієнт для визначення бокових сил, у [2] вони дані в см^2 ;

σ_H^n – напруження, що виникають у зовнішній крайці підшви рейок від дії бокових сил, у [2] вони дані в $\text{кГс}/\text{см}^2$.

Коефіцієнт B визначається за формулою:

$$B = 4 \cdot W_z^n \cdot k_y^T \quad (2)$$

де W_z^n – горизонтальний момент опору рейок щодо крайніх волокон підшви (см³);

k_y^T – коефіцієнт відносної жорсткості рейки і підрейкової основи з урахуванням тертя в горизонтальній площині.

Оскільки у формулу (2.1) усі значення підставляються в одиницях виміру системи СІ, то це враховується в розрахунках за допомогою перевідних коефіцієнтів. Підставивши всі коефіцієнти у формулу (2), одержимо для рейок Р65:

$$B = 2,19 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt[3]{\beta_y^e}, \quad (3)$$

де β_y^e – горизонтальна жорсткість по голівці рейки;

Напруження, що виникають в крайці підшви рейок від дії бокових сил, визначаються за формулою [1]:

$$\sigma_H^n = \frac{h_2}{h_1 + h_2} \cdot \frac{v_n}{v_2} \cdot \frac{y_1}{y_2} \cdot \sigma_P^n + \frac{h_1}{h_1 + h_2} \cdot \sigma_H^{ysl} + \frac{h_2}{h_1 + h_2} \cdot \frac{v_n}{v_2} \cdot \sigma_{нар}^e, \quad (4)$$

де σ_P^n – напруження, що виникають у крайці підшви рейки від дії вертикальних сил;

σ_H^{ysl} – різниця напружень, що виникають у внутрішній і зовнішній крайках підшви рейки від дії бокових сил.

$$\sigma_P^n = \frac{\sigma_{нар}^n + \sigma_{вн}^n}{2}, \quad \sigma_H^{ysl} = \frac{\sigma_{нар}^n - \sigma_{вн}^n}{2} \quad (5)$$

де $\sigma_{нар}^n, \sigma_{вн}^n, \sigma_{нар}^e$ – експериментальні напруження в зовнішній і внутрішній крайці підшви і зовнішній грані головки рейок (у МПа);

$v_n, v_2, y_1, y_2, h_1, h_2$ – геометричні характеристики рейки вказані на рисунку 3.23.

Зазначені вище формули отримані з умови рівноваги всіх сил, прикладених до рейки.

					0053–216511–ДП–2022-001	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		42

Для зручності вираз (5) приведемо до наступного виду:

$$\sigma_H^n = A_1 \cdot \sigma_{нар}^n + A_2 \cdot \sigma_{вн}^n + A_3 \cdot \sigma_{нар}^2 \quad (6)$$

де:

$$A_1 = \frac{h_2}{h_1 + h_2} \cdot \frac{e_n}{e_2} \cdot \frac{z_1}{2 \cdot z_2} + \frac{h_1}{2 \cdot (h_1 + h_2)}, \quad (7)$$

$$A_2 = \frac{h_2}{h_1 + h_2} \cdot \frac{e_n}{e_2} \cdot \frac{z_1}{2 \cdot z_2} - \frac{h_1}{2 \cdot (h_1 + h_2)}, \quad A_3 = \frac{h_2}{h_1 + h_2} \cdot \frac{e_n}{e_2}$$

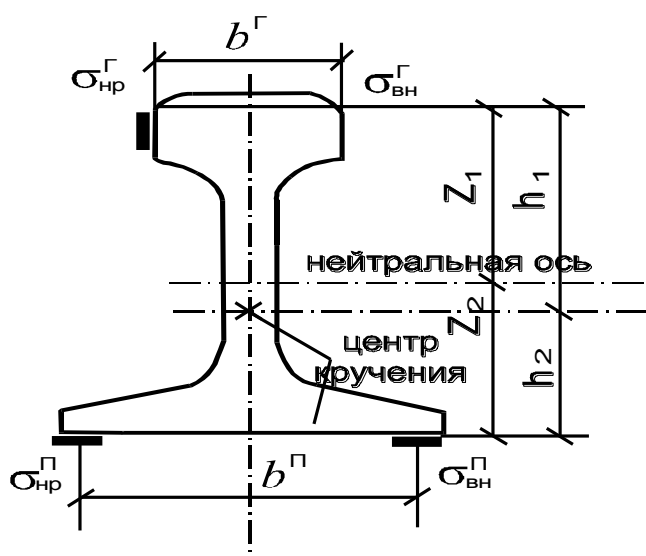


Рисунок 3.23 – Геометричні характеристики рейки

Аналіз бокових сил, що передаються від екіпажів на рейки, і бокових віджимань рейок

Горизонтальний вплив експериментального поїзду на колію оцінювалося по величинах бокових сил, що передаються від рухомого складу на рейки, і по величинах горизонтальних віджимання головки і підшви рейок.

Горизонтальні віджимання рейок визначалися безпосередньо в колії. Для цього на ділянці колії №1 було встановлено 12 прогиномірів головки рейки (ПГ1-ПГ12). Схема розташування прогиномірів на прямій ділянці показана на рисунку Д.1. Ділянки колії №5 та 6 були обладнані однаково шістьма прогиномірами головки рейки (ПГ1-ПГ6). Схема розташування прогиномірів на

цих ділянках показана на рисунку Д.5.

Результати вимірів записувалися на папір осцилографами. Потім у лабораторних умовах була зроблена розшифровка і статистична обробка даних і були отримані чисельні значення віджимань кожного прогиноміра під кожною віссю дослідного складу.

На підставі отриманих даних була зроблена вибірка даних для можливого об'єднання чисельних значень по осях рухомого складу, по рейкових нитках і по прогиномірах. Усі осі кожної рухомої одиниці випробувального поїзда поєднувалися між собою окремо під кожною рухомою одиницею.

По приведеним вище схемах вибірок було зроблене об'єднання за допомогою ЕОМ. Результати наведені в таблиці 3 і на рисунку 3.24.

Віджимання головки рейкової нитки в середньому як від вагону з дослідними візками, так і від вагонів з типовими візками спостерігалися в середину колії і за абсолютними значеннями не перевищували 0,2 мм, а при швидкості 175 км/год досягали 0,32 мм назовні колії. Максимальні віджимання головки назовні колії від вагону з дослідними візками досягали 1,15 мм при $V=150$ км/год., для вагона з типовими візками віджимання при цій швидкості досягали 1,42 мм.

Виникаючі в колії **бокові сили** від дослідного поїзда наведені в таблиці 2.4 і на рисунках 3.25.

Таблиця 5 – Середні (\bar{y}), максимальні ймовірні (y_{max}^e) і максимальні що спостерігалися (y_{max}^h) значення віджимань головки рейок (y мм) в прямих ділянках

	Швидкості, км/г										
	5	40	60	80	100	120	130	140	150	160	175
завантажені вагони з візками 68-4065(66)											
\bar{y}	-0,14	-0,18	-0,18	-0,17	-0,17	-0,19	-0,15	-0,13	-0,08	-0,05	
y_{max}^e	0,26	0,27	0,25	0,31	0,31	0,34	0,4	0,47	0,62	0,63	
y_{max}^h	0,36	0,38	0,31	0,29	0,71	0,71	0,36	0,4	1,42	0,54	
завантажені вагони з візками У-32											
\bar{y}	-0,2	-0,23	-0,31	-0,31	-0,31	-0,38	-0,28	-0,19	-0,25	-0,17	
y_{max}^e	0,25	0,47	0,42	0,47	0,47	0,55	0,7	0,36	0,63	0,68	

Аналіз таблиць 3 –4 і графіків (рис 3.24–3.25) показав, що на дослідних ділянках спостерігається залежність величин максимальних бокових сил від швидкості руху рухомого складу. Необхідно відзначити, що бокові сили як від дослідних візків так і від типових досягають максимальної величини при швидкості 160 км/год.

Абсолютні величини бокових сил не перевищували за максимальними ймовірними значеннями – 10 кН і за максимальними експериментальними –20 кН.

Залежність горизонтальних віджимань від швидкості аналогічна зміні бокових сил.

Аналіз крайкових напружень у підшві рейок

Динамічні напруження в підшві рейки є одним з основних показників впливу рухомого складу, як критерій міцності колії і безпеки руху рухомого складу по колії з різними конструкціями верхньої будови. Нормована величина цих напружень (240 МПа) визначає допустимі швидкості руху рухомого складу за умовами міцності рейок на вигин і крутіння.

Розташування датчиків на дослідних ділянках в прямих приведено на рисунках Д.1 та Д.5.

Обмірювані в результаті випробувань напруження в рейках були згруповані у варіаційні ряди спостережень поза залежністю від осі для кожного рухомого складу і для кожної швидкості руху. У прямих були об'єднані точки по обох рейкових нитках для всіх перетинів. У кожній групі визначалися середні значення напружень, максимальні ймовірні і максимальні спостережені. Результати обробки отриманих даних зведені в таблицю 7.

За отриманим значенням були побудовані графіки, наведені на рисунку 3.26.

У прямих ділянці колії (№1, 5, 6) з рейками Р65 середні значення напружень у крайках підшви рейок у залежності від швидкості варіювалися в діапазоні від 28 МПа до 35 МПа як від вагону з дослідними візками так і від вагонів з типовими візками. Максимальні ймовірні – 50...66МПа також як від

					0053–216511–ДП–2022-001	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		47

вагону з дослідними візками так і від вагонів з типовими візками. Максимальні спостережені – до 103 МПа від вагону з дослідними візками і до 106МПа від вагонів з типовими візками.

Таблиця 7 – Середні ($\bar{\sigma}$), максимальні ймовірні (σ_{max}^6) і максимальні що спостерігалися (σ_{max}^H) значення напружень у крайках підшви рейок (МПа) в прямій ділянці колії №1 (рейки UIC60)

	Швидкості, км/г										
	5	40	60	80	100	120	130	140	150	160	175
завантажені вагони з візками 68-4065(66)											
$\bar{\sigma}$	33,18	33,63	32,94	32,79	32,80	34,01	31,28	31,31	31,05	30,81	-
σ_{max}^6	57,21	59,81	56,79	58,42	59,93	62,89	59,48	60,59	59,25	58,59	-
σ_{max}^H	58,9	68,7	58,8	65,7	74,4	106,5	63,4	58,4	76,9	58,1	-
завантажені вагони з візками У-32											
$\bar{\sigma}$	30,27	31,87	32,34	32,57	33,78	35,16	34,59	33,44	35,51	35,57	-
σ_{max}^6	50,47	58,97	57,59	60,07	64,56	67,79	73,87	68,74	82,01	82,32	-
σ_{max}^H	53,3	71,7	65,6	78	95,8	90,4	109,3	81	107,8	118,7	-
завантажені вагони з візками 68-7007(12)											
$\bar{\sigma}$	32,60	34,81	34,23	33,74	34,21	35,37	32,28	33,80	35,16	34,32	28,53
σ_{max}^6	55,00	63,71	61,41	59,24	60,59	63,40	59,91	64,45	66,26	65,02	51,01
σ_{max}^H	55,9	66,6	68,6	62,4	67	67,5	67,4	62,3	71,1	102,8	47,3

Як видно з таблиці 7 і рисунку 3.26 крайкові напруження в підшві рейок не перевищили допустимі значення 240 МПа.

У результаті аналізу можна зробити наступні висновки:

– значення напружень, отримані в результаті всієї серії випробувань, не перевищили граничне допустиме значення 240 МПа;

– максимальні значення крайкових напружень у рейках під впливом дослідного вагону спостерігалися при швидкості руху вагону з дослідними візками 160 км/год. і складала 103 МПа;

– максимальні значення крайкових напружень у рейках під впливом порівняльного вагону спостерігалися при швидкості руху дослідного рухомого складу 120 км/год. і складала 107 МПа;

– максимальні значення крайкових напружень у рейках від впливу вагону з дослідними візками у прямій не суттєво відрізняються від впливу вагону з типовими візками.

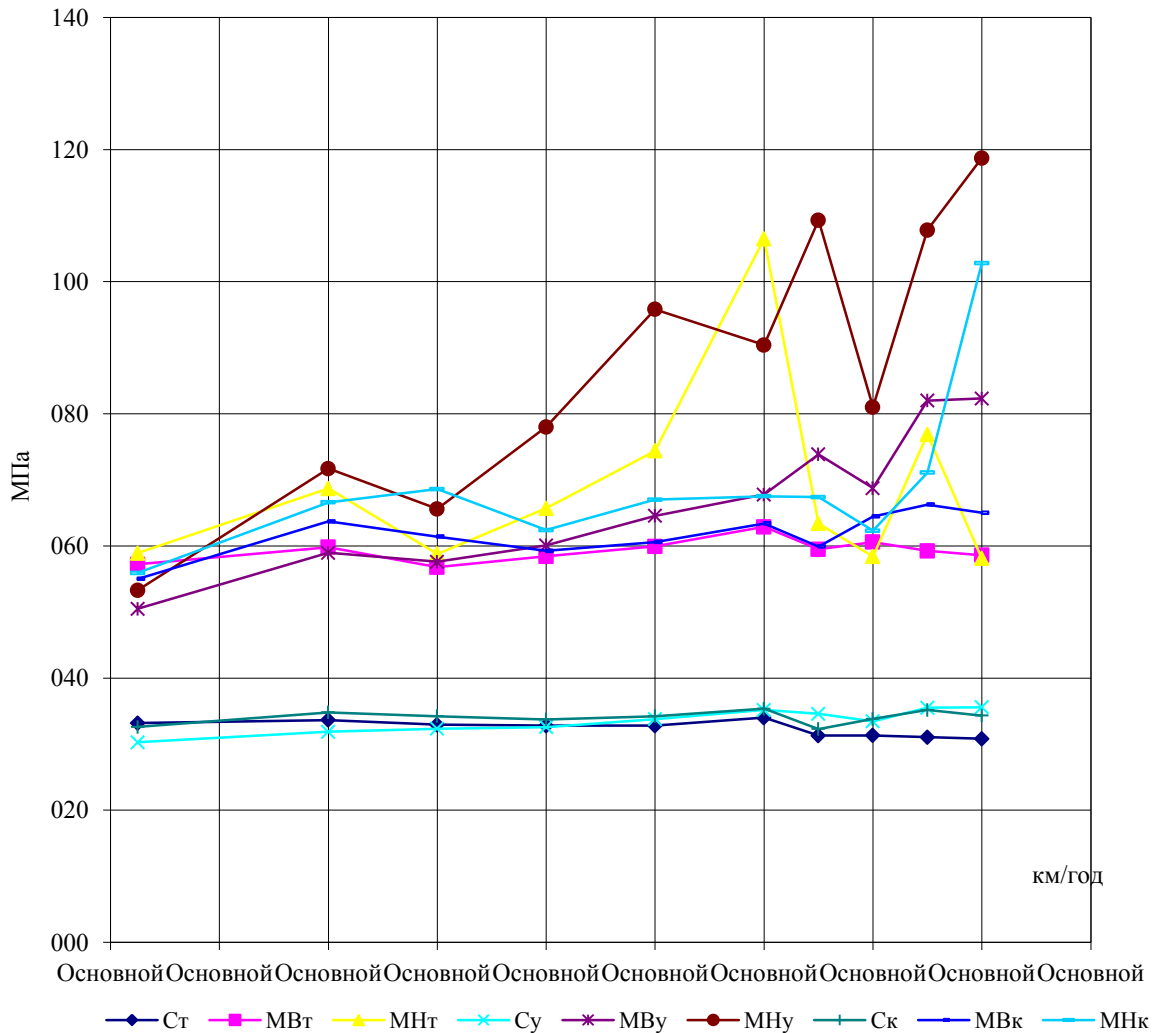


Рисунок 3.26 – Залежність напружень у крайках підшви рейок у прямій ділянках №1,5,6

Аналіз безпеки руху по укочуванню колеса на рейку

Коефіцієнт безпеки проти укочування гребеня колеса на рейку визначався з виразу [4]:

$$\alpha = \frac{H_B}{P} \quad (8)$$

де H_B і P – бокове і вертикальне навантаження, що передається від колеса на рейку.

При цьому для забезпечення безпеки проти укочування гребеня колеса на рейку коефіцієнт α повинний залишатися менше його нормативного значення α_n . Дослідження ВНИИЖТу [4] показали, що при $\alpha=1,0$ забезпечується безпека проти укочування гребеня колеса на рейку.

Враховуючи те, що на коефіцієнт α в певній мірі впливає вертикальне навантаження, випробування вагонів з дослідними візками виконувались як у їх порожньому стані, так і у завантаженому.

При обробці дослідних даних поєднувалися дані від датчиків по обох рейкових нитках. Результати розрахунків приведені в таблиці 8 та на рисунку 3.27.

З цієї таблиці видно, що величина коефіцієнта α у всіх вагонів з дослідними та типовими візками при швидкостях руху до 175 км/год не перевершує 0,55. Це свідчить про достатньо високу стійкість рухомого складу проти вповзання колеса на рейку. Слід зазначити, що стійкість вагона-лабораторії з візками У-32 дуже нестабільна.

Таблиця 8 – Коефіцієнт безпеки проти укочування гребеня колеса на рейку в прямій №1, 5, 6

	Швидкості, км/г										
	5	40	60	80	100	120	130	140	150	160	175
завантажені вагони з візками 68-4065(66)											
α	0,00	-0,01	-0,01	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,03	-0,01	-0,01	-
$\alpha_{max}^{вер}$	0,13	0,12	0,12	0,08	0,08	0,11	0,08	0,12	0,17	0,17	-
$\alpha_{max}^{нб}$	0,16	0,2	0,21	0,2	0,21	0,22	0,15	0,53	0,47	0,41	-
завантажені вагони з візками У-32											
α	-0,01	-0,01	-0,02	-0,03	-0,03	-0,02	-0,04	-0,05	-0,08	-0,10	-
$\alpha_{max}^{вер}$	0,12	0,12	0,13	0,12	0,17	0,23	0,49	0,18	0,57	1,35	-
$\alpha_{max}^{нб}$	0,37	0,22	0,55	0,25	0,42	1,63	0,91	0,24	1,17	3,64	-
завантажені вагони з візками 68-7007(12)											
α	0,00	-0,01	-0,02	-0,02	-0,01	-0,01	-0,01	-0,02	-0,01	-0,01	-0,02
$\alpha_{max}^{вер}$	0,13	0,09	0,08	0,08	0,09	0,09	0,09	0,08	0,14	0,14	0,08
$\alpha_{max}^{нб}$	0,14	0,14	0,11	0,1	0,16	0,13	0,22	0,15	0,43	0,55	0,09

Аналіз напружень та деформацій, що виникали у кривій ділянці R=1200

м

Випробування дослідного пасажирського вагона в кривій радіусом 1200 м проводилися в навантаженому і порожньому стані. Крива була обладнана датчиками для виміру напружень у рейках; горизонтальних і вертикальних сил та переміщень.

Для визначення показників динаміки дослідних вагонів був сформований состав з двох електровозів ЧС7, пасажирського дослідного вагона на візках 68-7007, вагона з візками 68-4065 і вагона-лабораторії УкрНДІВ з французькими візками Y-32). (див. рис. 3.18, 3.19).

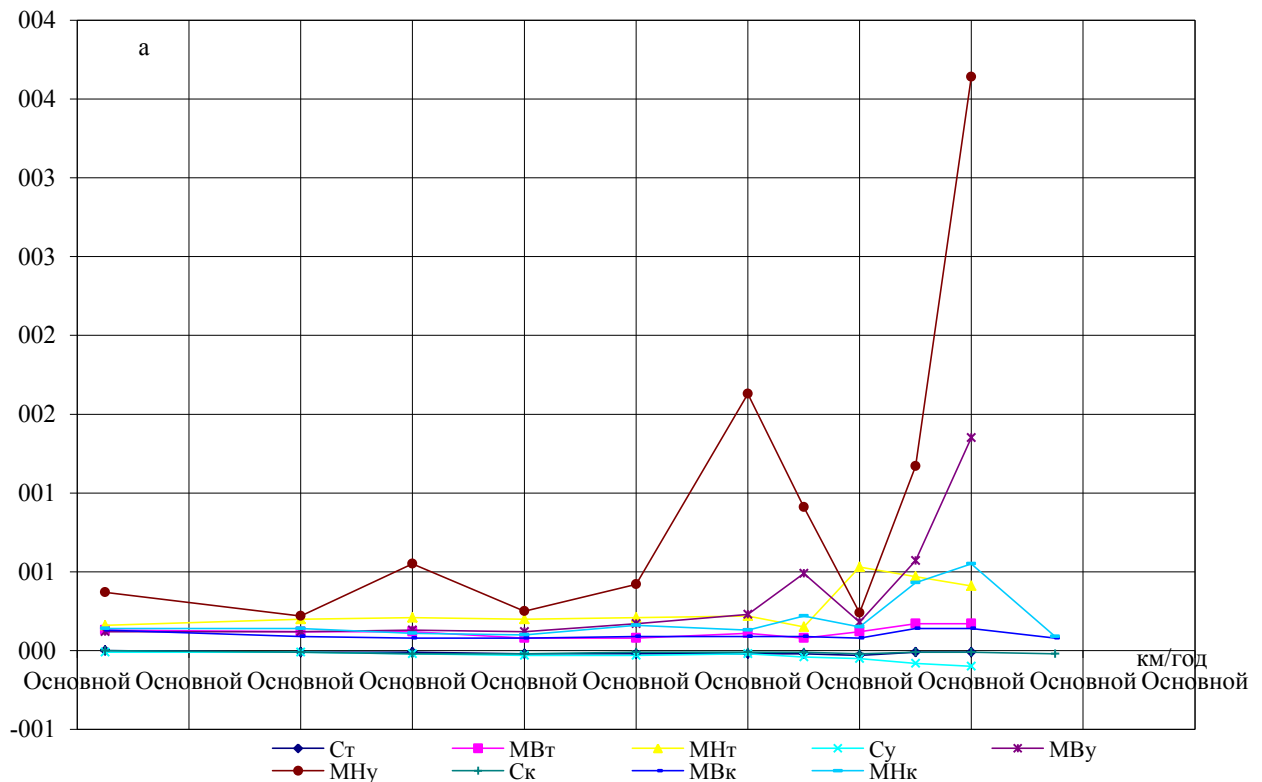


Рисунок 3.27 – Коефіцієнт безпеки проти укочування гребеня колеса на рейку в прямій (ділянка №1, 5, 6)

Аналіз вертикальних сил, що передаються від екіпажів на рейки, і вертикальних прогинів рейок

Для перевірки можливості об'єднання даних по візкам 7007 та 7012 було виконано однофакторний дисперсійний аналіз.

Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата
------	------	----------	---------	------

Перевірка виконувалась, по вертикальним силам отриманим під дослідним вагоном при швидкості 120 км/год (таблиця 9), за допомогою однофакторного дисперсійного аналізу, що використовується для перевірки гіпотези про приналежність отриманих даних однієї і тієї ж генеральної сукупності.

Порівнюючи F розрахункове та F критичне по набігаючим, а також ненабігаючим осям можна зробити висновок, що котловий і не котловий візки однаково впливають на колію, і тому в подальшому аналізі вісі цих візків об'єднувалися (набігаючі осі окремо від ненабігаючих). Результати розрахунку наведені в таблицях 8 і 9.

Аналізуючи вертикальні переміщення рейки під порожнім та завантаженим дослідним вагоном можна зробити висновок, що вони не перевищували наступних значень (таблиця 11 і 12):

- зовнішня рейка – 2,5 мм;
- внутрішня рейка – 3,0 мм.

Таблиця 9 – Вертикальні сили (в кН), експериментально отримані під колесами дослідного вагона в зовнішній нитці перевідної кривої при швидкості 120 км/год

№ заїздів	Набігаючі колеса		Ненабігаючі колеса	
	1-ий візок	2-ий візок	1-ий візок	2-ий візок
356	64,62	70,00	82,31	92,31
358	106,92	106,92	93,08	108,46
360	97,61	97,61	86,84	86,84
362	81,10	83,97	99,04	78,23
364	81,10	79,67	102,63	82,54
366	90,43	102,63	86,84	105,50

Таблиця 10 – Однофакторний дисперсійний аналіз (набігаючі осі)

Групи	Рахунок	Сума	Середнє	Дисперсія		
1-ий візок	6	521,78	86,96	218,32		
2-ий візок	6	540,80	90,13	209,34		
Дисперсійний аналіз						
Основа варіації	SS	df	MS	F	P-Значення	F критичне
Між групами	30,15	1	30,15	0,14	0,72	4,96

У середині груп	2138,30	10	213,83	
Разом	2168,44	11		

Таблиця 11 – Однофакторний дисперсійний аналіз (ненабігаючі осі)

Групи	Рахунок	Сума	Середнє	Дисперсія		
1-ий візок	6	550,74	91,79	62,12		
2-ий візок	6	553,88	92,31	151,68		
Дисперсійний аналіз						
Основа варіації	SS	df	MS	F	P-Значення	F критичне
Між групами	0,82	1	0,82	0,01	0,93	4,96
У середині груп	1069,03	10	106,90			
Разом	1069,85	11				

Прогини рейок були однакові під набігаючими і ненабігаючими осями вагонів. Під завантаженими вагонами прогини були до 1 мм більші чим під порожніми.

У середньому вертикальні переміщення рейок під дослідним вагоном не значно відрізняються від переміщень під вагоном з візками 68-4065 (рисунки 3.28 –3.30).

Під час випробувань навантаженого дослідного вагона та порожнього були різні погодні умови (різний модуль пружності) тому отримані результати впливу на колію між собою не порівнювалися і об'єднувалися, як одна сукупність.

Значення вертикальних сил наведені в таблиці 12. Максимальні сили більше 110 кН не спостерігалися.

Таблиця 12 – Середні (\bar{P}), максимальні ймовірні ($P_{\max}^{\text{ймов}}$) і максимальні що спостерігалися ($P_{\max}^{\text{сн}}$) значення вертикальних сил (кН)

Позначки прогинів	Вісі	Значення вертикальних сил (P) при швидкостях руху в км/г					
		20	40	60	80	100	120
1	2	3	4	5	6	7	8
Вагон з візками 68-4065 (навантажений)							
\bar{P}	1	60,2	75,5	76,2	89,9	92,1	100,6
		98,6	94,0	94,8	95,8	79,4	71,6

Таблиця 13 – Середні (\bar{z}), максимальні ймовірні ($z_{\max}^{\text{ймов}}$) і максимальні що спостерігалися ($z_{\max}^{\text{сп}}$) значення вертикальних прогинів рейок (мм)

Позначки прогинів	Вісі	Значення вертикальних прогинів рейок z (мм) при швидкостях руху в км/г					
		20	40	60	80	100	120
1	2	3	4	5	6	7	8
Вагон з візками 68-4065 (порожній)							
\bar{z}	1	1,3	1,3	1,3	1,4	1,5	1,6
		1,3	1,3	1,1	1,2	1,1	1,1
$z_{\max}^{\text{ймов}}$		1,5	1,5	1,4	1,7	1,7	1,9
		2,1	2,2	2,1	2,0	2,0	1,9
$z_{\max}^{\text{сп}}$		1,4	1,4	1,3	1,6	1,7	1,8
		1,7	1,7	1,7	1,6	1,6	1,5
\bar{z}	2	1,3	1,4	1,4	1,5	1,6	1,7
		1,3	1,2	1,1	1,1	1,0	1,1
$z_{\max}^{\text{ймов}}$		1,6	1,5	1,6	1,8	1,8	1,9
		2,0	2,1	1,9	1,9	1,9	1,8
$z_{\max}^{\text{сп}}$		1,4	1,4	1,5	1,7	1,7	1,9
		1,7	1,6	1,6	1,6	1,5	1,6
Вагон-лабораторія (візки Y-32)							
\bar{z}	1	1,0	1,1	1,2	1,4	1,5	1,6
		1,2	1,2	1,1	1,2	1,1	1,2
$z_{\max}^{\text{ймов}}$		1,2	1,3	1,3	1,8	1,8	2,0
		2,0	2,0	2,0	2,0	1,9	1,8
$z_{\max}^{\text{сп}}$		1,1	1,2	1,2	1,7	1,7	2,1
		1,6	1,5	1,6	1,7	1,7	1,6
\bar{z}	2	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7
		1,1	1,1	1,0	1,1	1,0	1,1
$z_{\max}^{\text{ймов}}$		1,3	1,5	1,6	1,8	1,9	2,3
		1,8	1,9	1,8	1,8	1,8	1,8
$z_{\max}^{\text{сп}}$		1,1	1,4	1,5	1,7	1,8	2,2
		1,4	1,5	1,5	1,5	1,6	1,5
Вагон з візками 68-7007 (порожній)							
\bar{z}	1	1,2	1,3	1,3	1,4	1,5	1,5
		1,2	1,3	1,1	1,2	1,0	1,1
$z_{\max}^{\text{ймов}}$		1,6	1,6	1,8	1,8	1,9	1,8
		2,1	2,1	1,9	1,9	1,9	1,8
$z_{\max}^{\text{сп}}$		1,4	1,4	1,5	1,6	1,7	1,6

		1,7	1,6	1,5	1,6	1,6	1,4
\bar{z}	2	1,3	1,3	1,4	1,5	1,6	1,6
		1,3	1,3	1,1	1,1	1,0	1,0
$z_{\max}^{\text{ймов}}$		1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	1,9
		2,0	2,0	2,1	1,9	1,9	1,7
$z_{\max}^{\text{сн}}$		1,4	1,5	1,6	1,7	1,7	1,8
		1,6	1,7	1,7	1,6	1,5	1,3

Таблиця 14 – Середні (\bar{z}), максимальні ймовірні ($z_{\max}^{\text{ймов}}$) і максимальні спостережені ($z_{\max}^{\text{сн}}$) вертикальні прогини (мм) в елементах стрілочного переводу

Позначки прогинів	Вісі	Значення вертикальних прогинів рейок z (мм) при швидкостях руху в км/г					
		20	40	60	80	100	120
1	2	3	4	5	6	7	8
Вагон з візками 68-4065 (навантажений)							
\bar{z}	1	0,6	1,5	1,5	1,6	1,6	1,5
		0,6	0,9	1,3	1,5	1,8	2,0
$z_{\max}^{\text{ймов}}$		0,7	1,6	1,7	1,7	2,4	2,0
		0,8	1,0	1,4	1,7	2,4	2,3
$z_{\max}^{\text{сн}}$		0,7	1,5	1,5	1,7	2,1	1,9
		0,7	1,0	1,4	1,7	2,1	2,2
\bar{z}	2	0,6	1,6	1,5	1,7	1,6	1,5
		0,6	1,0	1,3	1,4	1,9	2,1
$z_{\max}^{\text{ймов}}$		0,8	1,7	1,8	1,8	2,4	2,0
		0,7	1,0	1,4	1,7	2,6	2,6
$z_{\max}^{\text{сн}}$		0,8	1,6	1,6	1,8	2,1	1,9
		0,7	1,0	1,4	1,6	2,2	2,3
Вагон-лабораторія (візки У-32)							
\bar{z}	1	0,5	1,3	1,4	1,6	1,5	1,5
		0,6	0,9	1,3	1,4	1,7	1,9
$z_{\max}^{\text{ймов}}$		0,6	1,5	1,5	1,8	2,1	2,0
		0,7	1,2	1,6	1,7	2,0	2,4
$z_{\max}^{\text{сн}}$		0,6	1,4	1,5	1,7	1,9	1,9
		0,7	1,0	1,4	1,7	1,9	2,1
\bar{z}	2	0,6	1,5	1,5	1,7	1,6	1,5
		0,6	0,9	1,3	1,4	1,8	2,0
$z_{\max}^{\text{ймов}}$		0,7	1,5	1,7	1,9	2,3	2,0
		0,7	0,9	1,5	1,6	2,1	2,5
$z_{\max}^{\text{сн}}$		0,7	1,5	1,6	1,8	2,0	1,9

Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата
------	------	----------	---------	------

0053-216511-ДП-2022-001

Лист

56

		0,6	0,9	1,4	1,5	2,0	2,2
Вагон з візками 68-7007 (навантажений)							
z	1	0,6	1,4	1,4	1,6	1,7	1,5
		0,7	1,0	1,4	1,4	1,9	1,9
$z_{\text{ймов}}^{\text{max}}$		0,8	1,5	1,6	1,8	2,4	1,9
		0,7	1,1	1,7	1,7	2,2	2,2
$z_{\text{max}}^{\text{сп}}$		0,8	1,5	1,5	1,7	2,1	1,7
		0,7	1,1	1,6	1,6	2,1	2,0
z	2	0,6	1,6	1,5	1,7	1,7	1,5
		0,6	1,0	1,4	1,4	2,0	2,1
$z_{\text{ймов}}^{\text{max}}$		0,8	1,6	1,7	1,8	2,5	2,0
		0,7	1,0	1,6	1,6	2,6	2,4
$z_{\text{max}}^{\text{сп}}$		0,8	1,6	1,6	1,8	2,1	1,9
		0,7	1,0	1,5	1,5	2,2	2,2

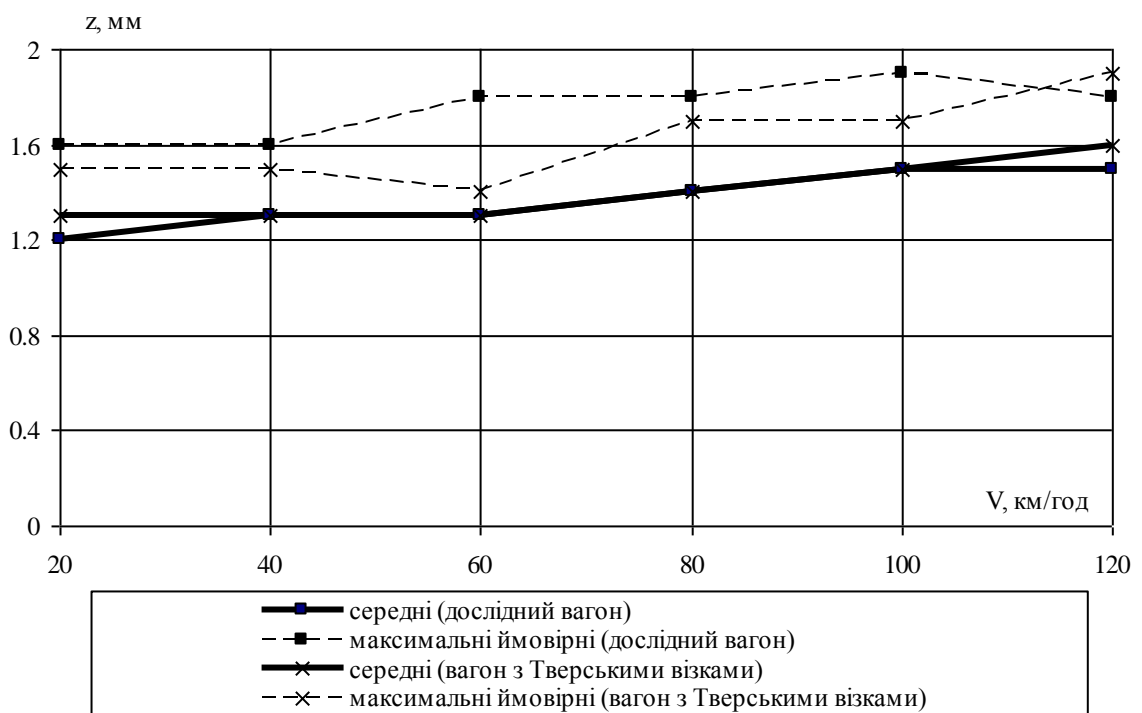


Рисунок 3.28 – Вертикальні переміщення внутрішньої рейки кривої під набігаючими осями порожніх вагонів

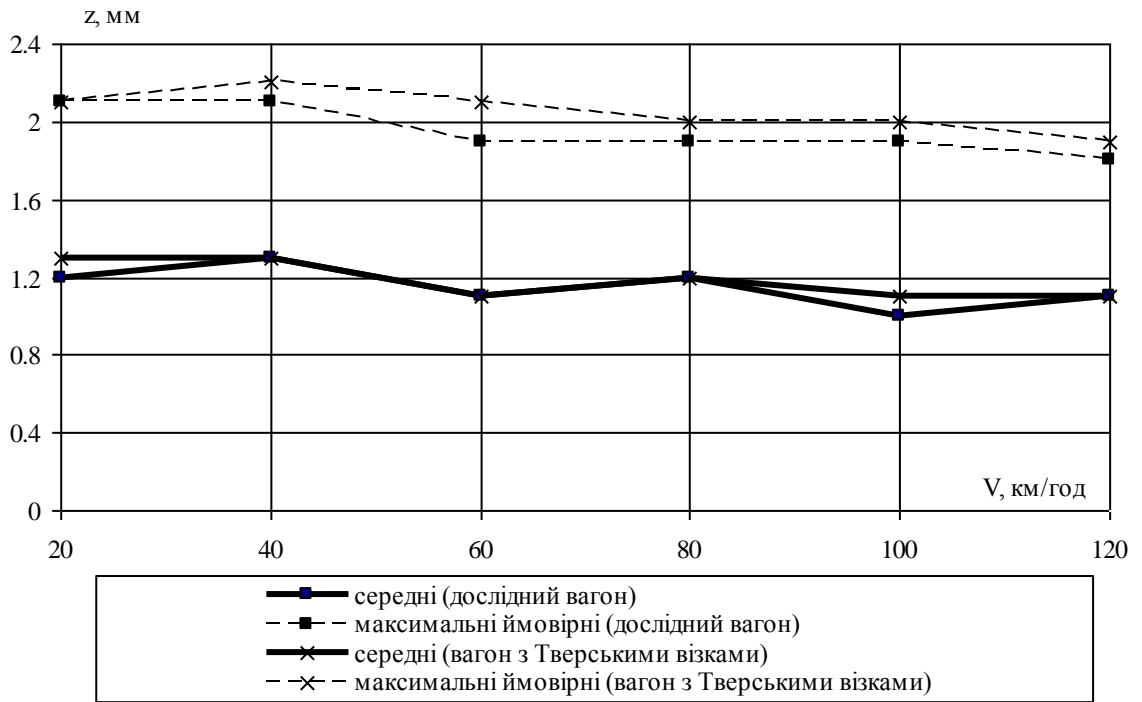


Рисунок 3.29 – Вертикальні переміщення внутрішньої рейки кривої під набігаючими осями порожніх вагонів

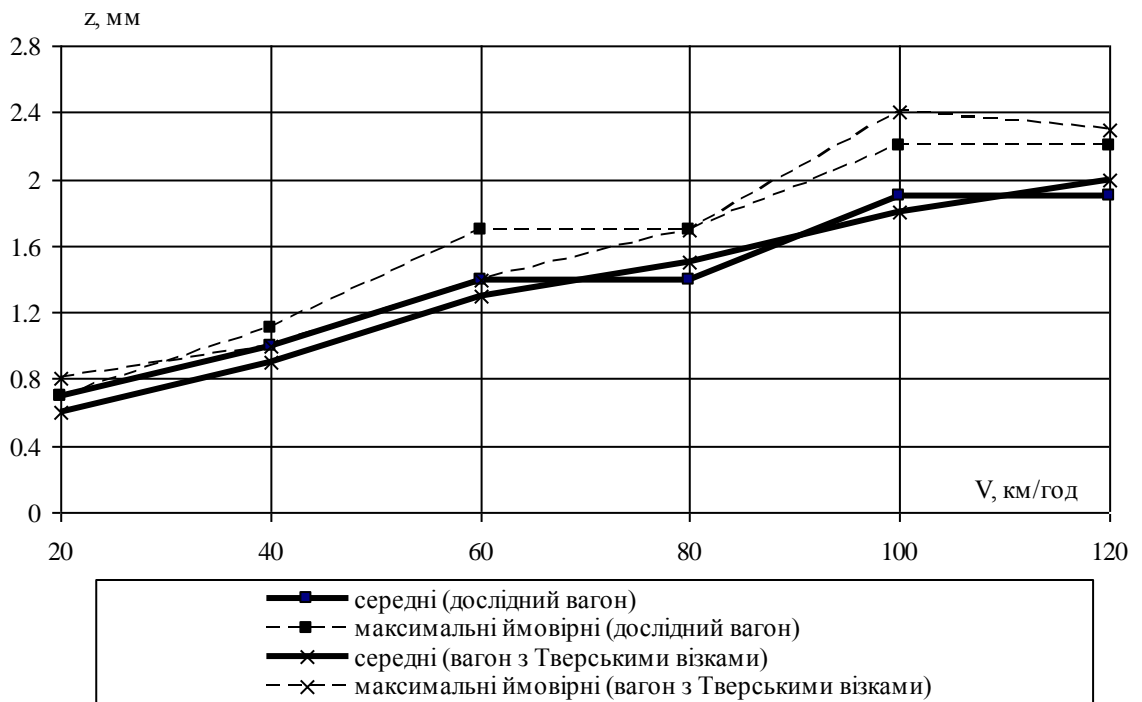


Рисунок 3.30 – Вертикальні переміщення внутрішньої рейки кривої під набігаючими осями навантажених вагонів

Аналіз крайкових напружень у підшві рейок

Напруження, виникаючі в кромках підшви рейок під дослідним вагоном (як порожньому, так і при навантаженому) не перевищували 90 МПа (таблиця 15 і 16), що значно менше допустиме значення 240 МПа.

Напруження в зовнішній рейки зростають з збільшенням швидкості руху, а в внутрішній навпаки знижуються (рисунки 3.31–3.32). Це пов'язано із збільшенням відцентрової сили, яка діє на кузов вагонів.

В зовнішній рейці напруження від набігаючих осей порожнього дослідного вагона були більші напружень від порожнього вагона з візками 68-4065 до 10 МПа (рисунок 31).

В внутрішній рейці під набігаючими осями напруження навпаки були більші під вагоном з візками 68-4065 (рисунок 32).

Це можливо пов'язано з особливостями вписування рухомого складу в криву.

Виникаючи напруження в крайці підшви рейки під впливом завантажених вагонів були значно більші по внутрішній рейці, тому напруження по зовнішній рейки в таблиці 15 не наведені.

В основному можна зробити висновок, що напруження в крайці підшви рейки, виникаючі за рахунок її згину і крутіння під дією вертикальних та горизонтальних сил від дослідного вагона відрізняються незначно від напружень виникаючих під вагоном з візками 68-4065.

Таблиця 15 – Середні ($\bar{\sigma}$), максимальні ймовірні ($\sigma_{\max}^{\text{ймов}}$) і максимальні що спостерігалися ($\sigma_{\max}^{\text{сп}}$) значення напружень в кривій R=1200 м

Позначки напружен ь	Вісі	Значення напружень у кромках підшви рейок σ (МПа) при швидкостях руху в км/г					
		20	40	60	80	100	120
1	2	3	4	5	6	7	8
Вагон з візками 68-4065 (порожній)							
$\bar{\sigma}$	1	34,4	30,1	30,9	33,4	38,7	41,4
		54,3	52,8	52,4	48,2	30,2	33,6
$\sigma_{\max}^{\text{ймов}}$		65,5	56,6	52,2	55,2	65,6	65,3

						0053–216511–ДП–2022-001	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата			59

		83,6	75,9	70,4	73,3	48,1	51,2
σ_{\max}^{cn}		65,2	50,7	40,5	54,6	70,5	59,6
		73,8	73,8	66,1	79,4	49,9	52,9
σ_{-}	2	39,8	35,7	35,7	37,6	38,3	42,8
		37,9	34,1	36,7	29,5	45,3	21,9
$\sigma_{\max}^{\text{ймов}}$	2	63,2	53,4	52,1	55,7	64,7	57,1
		59,2	45,5	50,5	46,5	58,1	38,0
σ_{\max}^{cn}	2	61,5	45,7	44,8	53,3	71,4	52,8
		58,9	42,9	44,7	51,5	57,3	38,8
Вагон-лабораторія (візки У-32)							
σ_{-}	1	38,4	35,7	37,9	44,4	47,1	47,3
		44,7	42,5	45,7	41,5	35,7	30,3
$\sigma_{\max}^{\text{ймов}}$	1	55,8	52,0	53,5	69,7	73,2	73,6
		68,6	63,3	56,9	64,9	60,0	46,5
σ_{\max}^{cn}	1	54,4	44,5	46,3	67,5	69,9	80,5
		64,1	54,9	50,0	68,9	58,3	45,1
σ_{-}	2	30,3	26,2	27,8	30,7	32,5	39,3
		28,2	26,7	27,1	25,3	44,8	20,5
$\sigma_{\max}^{\text{ймов}}$	2	49,0	41,8	44,1	51,6	63,6	71,7
		48,2	42,5	45,0	45,8	66,0	34,9
σ_{\max}^{cn}	2	50,3	34,9	37,1	60,8	70,9	69,2
		45,7	35,1	42,2	44,6	73,2	34,0
Вагон з візками 68-7007 (порожній)							
σ_{-}	1	37,5	34,2	34,7	42,1	44,0	45,7
		49,5	47,1	46,4	42,6	33,6	30,3
$\sigma_{\max}^{\text{ймов}}$	1	56,6	58,9	55,8	61,7	66,8	61,2
		72,1	74,1	63,1	64,1	49,9	43,6
σ_{\max}^{cn}	1	51,9	50,7	44,2	59,1	66,6	59,6
		62,1	61,7	59,6	62,0	47,2	41,6
σ_{-}	2	41,3	38,4	39,3	43,9	43,9	37,7
		39,7	36,2	38,5	34,9	44,1	19,7
$\sigma_{\max}^{\text{ймов}}$	2	62,8	63,1	62,9	69,5	65,5	50,5
		63,1	56,1	60,7	61,4	57,8	35,3
σ_{\max}^{cn}	2	64,0	61,5	53,5	67,5	60,9	47,9
		55,7	52,9	50,5	62,8	52,9	42,7

Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата

0053-216511-ДП-2022-001

Лист

60

Таблиця 16 – Середні ($\bar{\sigma}$), максимальні ймовірні ($\sigma_{\max}^{\text{ймов}}$) і максимальні що спостерігалися ($\sigma_{\max}^{\text{сн}}$) значення напружень в кривій R=1200 м

Позначки напружен ь	Вісі	Значення напружень у кромках підшви рейок σ (МПа) при швидкостях руху в км/г					
		20	40	60	80	100	120
1	2	3	4	5	6	7	8
Вагон з візками 68-4065 (навантажений)							
$\bar{\sigma}$	1	31,9	39,1	43,2	41,5	37,1	29,8
$\sigma_{\max}^{\text{ймов}}$		39,3	52,6	63,0	58,0	48,8	44,0
$\sigma_{\max}^{\text{сн}}$		35,0	53,1	59,7	53,4	43,7	38,9
$\bar{\sigma}$	2	22,8	24,8	26,9	25,4	23,4	17,8
$\sigma_{\max}^{\text{ймов}}$		28,4	37,1	40,8	33,4	39,6	31,5
$\sigma_{\max}^{\text{сн}}$		26,6	36,5	42,5	31,7	32,8	28,5
Вагон-лабораторія (візки У-32)							
$\bar{\sigma}$	1	30,3	36,7	40,2	41,6	36,7	29,3
$\sigma_{\max}^{\text{ймов}}$		37,3	52,0	58,3	57,9	52,9	47,5
$\sigma_{\max}^{\text{сн}}$		35,0	52,5	55,8	61,5	54,5	42,2
$\bar{\sigma}$	2	21,2	23,2	22,8	23,3	24,4	19,5
$\sigma_{\max}^{\text{ймов}}$		28,0	34,9	37,0	37,8	45,5	32,1
$\sigma_{\max}^{\text{сн}}$		26,9	34,4	34,1	39,6	38,9	28,2
Вагон з візками 68-7007 (навантажений)							
$\bar{\sigma}$	1	31,4	37,2	38,3	35,6	32,5	24,5
$\sigma_{\max}^{\text{ймов}}$		39,7	59,9	55,7	49,2	42,4	36,9
$\sigma_{\max}^{\text{сн}}$		37,6	58,2	50,4	48,3	41,9	33,1
$\bar{\sigma}$	2	22,9	25,6	26,3	24,7	26,1	17,3
$\sigma_{\max}^{\text{ймов}}$		31,4	39,6	42,2	42,8	44,6	29,6
$\sigma_{\max}^{\text{сн}}$		30,5	38,9	40,7	38,0	38,9	31,2

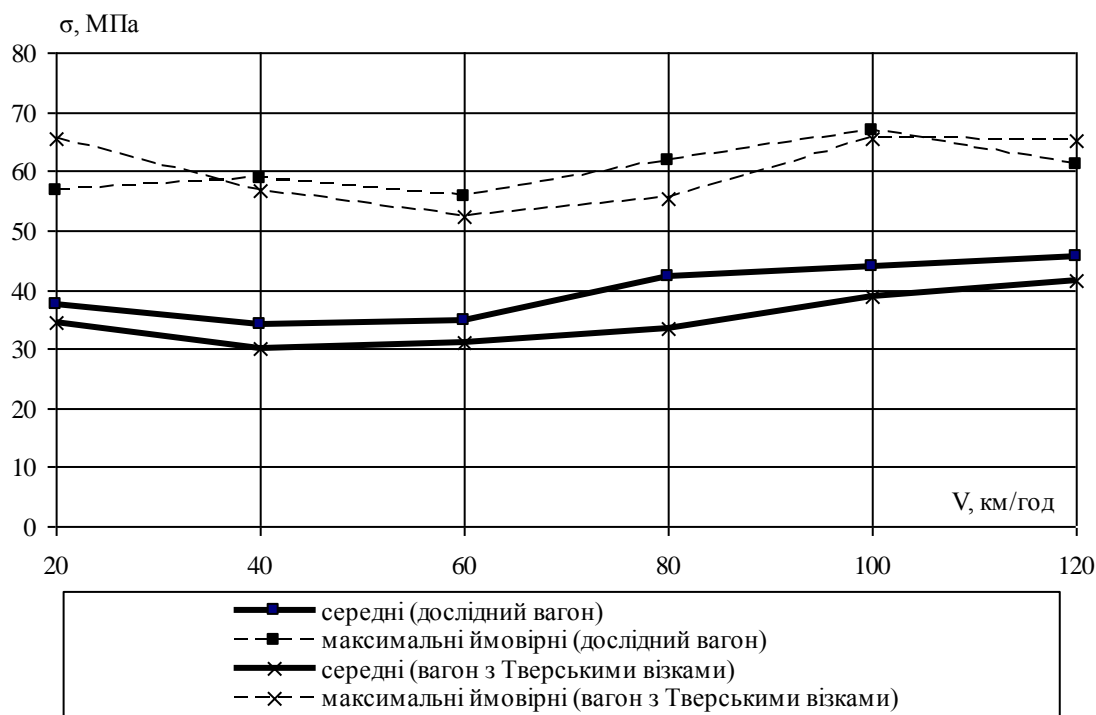


Рисунок 3.31 – Порівняння напружень, виникаючих у зовнішній рейці кривої під набігаючими осями порожніх вагонів та дослідного та вагона з візками 68-4065

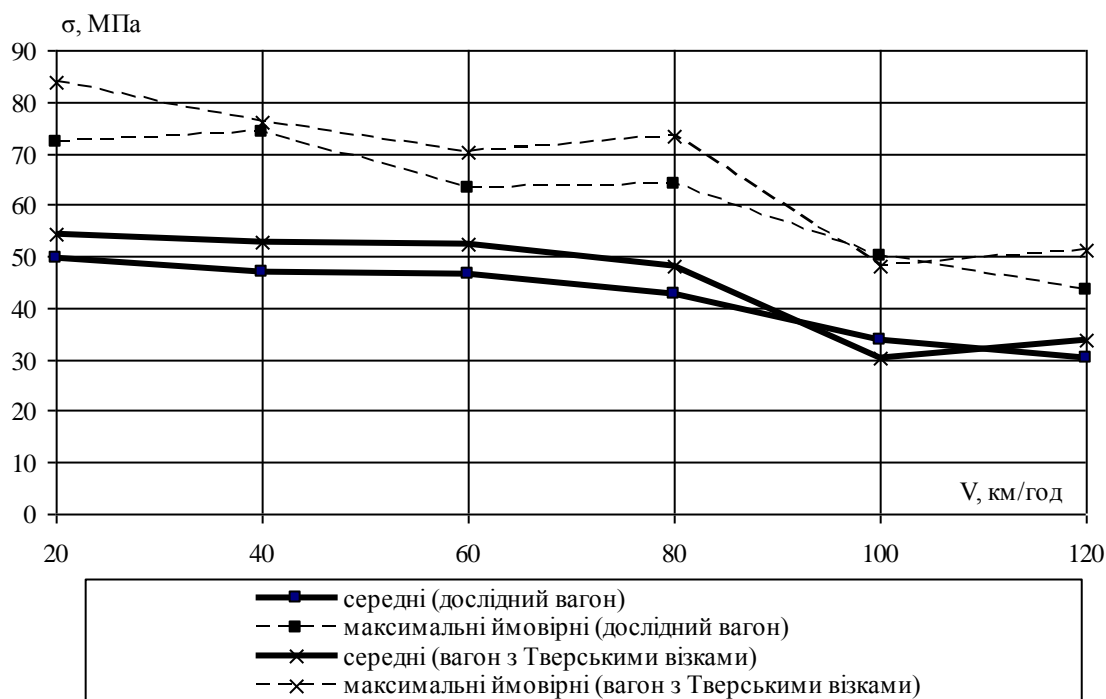


Рисунок 3.32 – Порівняння напруження, виникаючих у внутрішній рейці кривої під набігаючими осями порожніх вагонів та дослідного та вагона з візками 68-4065

Визначення бокових сил, що передаються від екіпажів на рейки, і бокових віджимань рейок

Горизонтальні сили в внутрішній рейки значно перевищували сили по зовнішній рейки, тому значення сил по зовнішній рейки в таблицях 17 і 18 не наведені.

Горизонтальні сили від впливу завантаженого вагона до 50 % більше сил виникаючих від вагона з візками 68-7007 (рисунок 33).

Найбільші бічні сили виникали у внутрішній рейці при швидкості 60 км/год.

Вагон з дослідними візками 68-7007:

- середні – 13,6 кН;
- максимальні ймовірні – 27,9 кН;
- максимальні, що спостерігалися – 20,4 кН.

Вагон з візками 68-4065:

- середні – 18,9 кН;
- максимальні ймовірні – 42,5 кН;
- максимальні, що спостерігалися – 32,4 кН.

Під порожніми вагонами горизонтальні сили були також більші від вагона з візками 68-4065 (рисунок 3.35):

Вагон з дослідними візками 68-7007:

- середні – 20,0 кН;
- максимальні ймовірні – 33,6 кН;
- максимальні, що спостерігалися – 28,7 кН.

Вагон з візками 68-4065:

- середні – 24,1 кН;
- максимальні ймовірні – 44,2 кН;
- максимальні, що спостерігалися – 38,1 кН.

Таблиця 17 – Середні (\bar{H}), максимальні ймовірні ($H_{\max}^{\text{ймов}}$) і максимальні що спостерігалися ($H_{\max}^{\text{сп}}$) значення горизонтальних сил (кН)

Позначки горизонтальних переміщень	Вісі	Значення бокових сил (H) при швидкостях руху в км/Г					
		20	40	60	80	100	120
1	2	3	4	5	6	7	8
Вагон з візками 68-4065 (порожній)							
\bar{H}	1	23,4	24,1	21,8	16,8	11,6	1,5
$H_{\max}^{\text{ймов}}$		40,6	44,2	42,3	42,6	31,0	19,1
$H_{\max}^{\text{сп}}$		37,9	38,1	35,1	38,3	24,8	16,2
\bar{H}	2	4,6	0,3	0,1	-4,3	-7,4	-7,6
$H_{\max}^{\text{ймов}}$		22,8	20,2	15,5	5,3	2,6	2,2
$H_{\max}^{\text{сп}}$		20,3	17,1	15,0	7,8	7,0	0,5
Вагон-лабораторія (візки Y-32)							
\bar{H}	1	16,3	11,8	11,6	7,4	1,8	-2,6
$H_{\max}^{\text{ймов}}$		25,7	30,5	28,9	25,8	15,5	3,8
$H_{\max}^{\text{сп}}$		22,7	23,7	23,3	31,0	18,5	1,5
\bar{H}	2	-3,4	-6,8	-6,4	-7,2	-7,7	-11,0
$H_{\max}^{\text{ймов}}$		10,1	-16,9	-15,9	5,7	5,2	2,9
$H_{\max}^{\text{сп}}$		12,4	-7,4	-14,1	6,1	5,2	1,7
Вагон з візками 68-7007 (порожній)							
\bar{H}	1	20,0	17,6	15,6	11,0	3,6	-1,7
$H_{\max}^{\text{ймов}}$		33,6	40,0	31,5	30,3	19,0	5,7
$H_{\max}^{\text{сп}}$		28,7	26,6	21,9	28,6	15,9	7,8
\bar{H}	2	3,5	-0,6	2,1	-2,5	-5,1	-9,2
$H_{\max}^{\text{ймов}}$		19,3	15,8	21,5	10,3	1,8	-1,8
$H_{\max}^{\text{сп}}$		17,8	14,7	15,2	9,9	-1,0	-2,9

Таблиця 18 – Середні (\bar{H}), максимальні ймовірні ($H_{\max}^{\text{ймов}}$) і максимальні що спостерігалися ($H_{\max}^{\text{сп}}$) значення горизонтальних сил (кН)

Позначки горизонтальних переміщень	Вісі	Значення бокових сил (H) при швидкостях руху в км/Г					
		20	40	60	80	100	120
1	2	3	4	5	6	7	8
Вагон з візками 68-4065 (навантажений)							

\bar{H}	1	11,1	15,9	18,9	12,8	17,1	2,2
$H_{\max}^{i\text{мов}}$		19,9	31,1	42,5	41,3	28,6	25,3
H_{\max}^{cn}		16,4	30,1	32,4	30,6	23,4	20,3
Вагон-лабораторія (візки У-32)							
\bar{H}	1	6,5	6,6	11,0	5,8	9,7	-5,9
$H_{\max}^{i\text{мов}}$		14,0	21,4	28,9	21,1	27,1	10,4
H_{\max}^{cn}		11,3	14,6	25,3	19,3	16,6	9,9
Вагон з візками 68-7007 (навантажений)							
\bar{H}	1	11,5	11,5	13,6	8,7	10,7	-4,5
$H_{\max}^{i\text{мов}}$		14,6	17,5	27,9	22,6	21,1	4,7
H_{\max}^{cn}		5,4	14,6	20,4	17,6	15,9	9,3

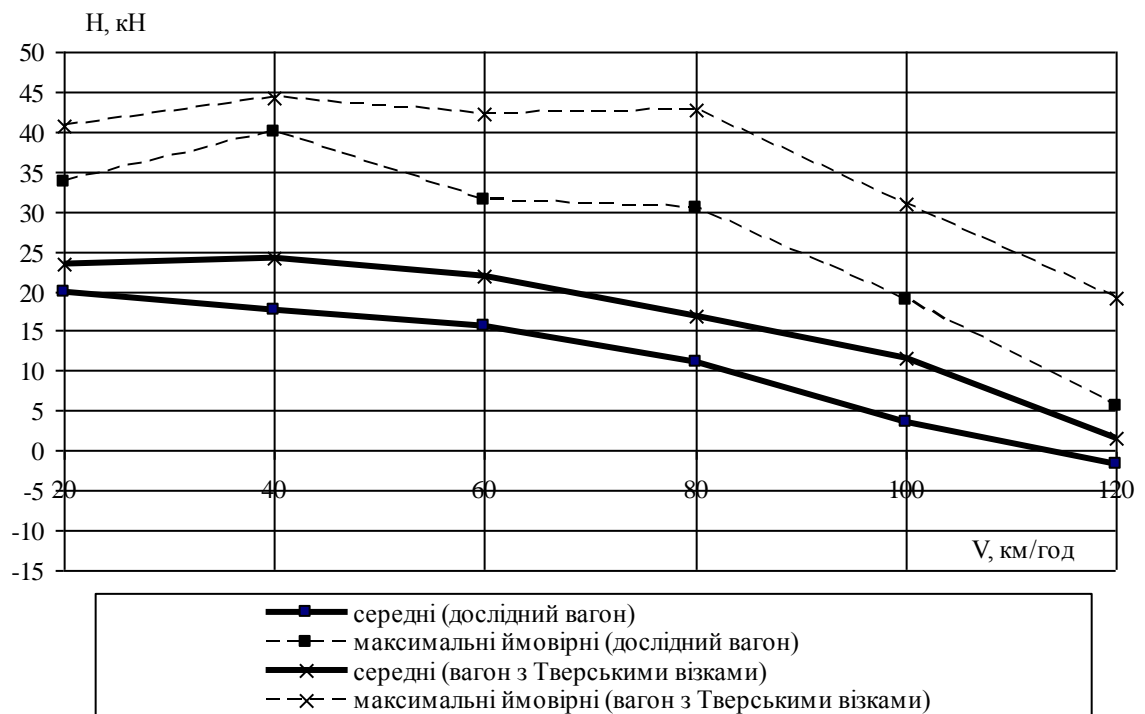


Рисунок 3.33 – Порівняння горизонтальних сил, виникаючих у внутрішній рейки кривої під набігаючими осями порожніх вагонів: дослідного та вагона з візками 68-4065

Таблиця 19 – Середні (\bar{y}), максимальні ймовірні ($y_{\max}^{i\text{мов}}$) і максимальні що спостерігалися (y_{\max}^{cn}) значення горизонтальних переміщень рейок (мм)

Позначки горизонтальних переміщень	Вісі	Значення горизонтальних переміщень рейок y (мм) при швидкостях руху в км/г					
		20	40	60	80	100	120
1	2	3	4	5	6	7	8

Вагон з візками 68-4065 (порожній)							
\bar{y}	1	1,1	1,1	1,0	0,9	0,7	0,5
$y_{\max}^{i\text{мов}}$		1,8	1,7	1,4	1,5	1,3	1,0
$y_{\max}^{сн}$		1,6	1,6	1,2	1,4	1,2	0,7
\bar{y}	2	0,5	0,4	0,3	0,3	0,1	0,1
$y_{\max}^{i\text{мов}}$		0,9	0,8	0,9	0,6	0,5	0,6
$y_{\max}^{сн}$		0,8	0,7	0,7	0,6	0,5	0,4
Вагон-лабораторія (візки Y-32)							
\bar{y}	1	0,9	0,9	0,8	0,8	0,6	0,3
$y_{\max}^{i\text{мов}}$		1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	0,7
$y_{\max}^{сн}$		1,1	1,0	1,1	1,2	1,3	0,5
\bar{y}	2	0,2	0,1	0,0	0,1	-0,1	-0,2
$y_{\max}^{i\text{мов}}$		0,5	0,5	0,8	0,5	0,5	0,8
$y_{\max}^{сн}$		0,4	0,3	0,4	0,4	0,3	0,3
Вагон з візками 68-7007 (порожній)							
\bar{y}	1	1,0	0,9	0,7	0,7	0,5	0,3
$y_{\max}^{i\text{мов}}$		1,6	1,5	1,2	1,2	1,0	0,7
$y_{\max}^{сн}$		1,3	1,2	1,0	1,1	0,9	0,6
\bar{y}	2	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	-0,1
$y_{\max}^{i\text{мов}}$		1,0	0,8	0,8	0,7	0,5	0,3
$y_{\max}^{сн}$		0,9	0,7	0,6	0,6	0,3	0,1

Таблиця 20 – Середні (\bar{y}), максимальні ймовірні ($y_{\max}^{i\text{мов}}$) і максимальні що спостерігалися ($y_{\max}^{сн}$) значення горизонтальних переміщень рейок (мм)

Позначки горизонтальних переміщень	Вісі	Значення горизонтальних переміщень рейок y (мм) при швидкостях руху в км/год					
		20	40	60	80	100	120
		3	4	5	6	7	8
1	2						
Вагон з візками 68-4065 (навантажений)							
\bar{y}	1	0,4	0,4	0,6	0,4	0,3	0,2
$y_{\max}^{i\text{мов}}$		0,6	0,9	1,2	0,9	0,6	0,7
$y_{\max}^{сн}$		0,5	0,8	1,0	0,8	0,7	0,5
\bar{y}	2	0,1	0,1	0,1	-0,02	-0,13	-0,21
$y_{\max}^{e\text{i}\hat{a}}$		0,3	0,3	0,3	0,2	0,03	0,04

$y_{\max}^{\bar{n}i}$		0,2	0,2	0,3	0,2	0,02	0,01
Вагон-лабораторія (візки У-32)							
\bar{y}	1	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2	0,1
$y_{\max}^{\hat{e}i\hat{a}}$		0,1	0,5	0,7	0,7	0,4	0,3
$y_{\max}^{\bar{n}i}$		0,4	0,5	0,7	0,6	0,3	0,2
\bar{y}	2	-0,01	-0,05	-0,12	-0,2	-0,2	-0,4
$y_{\max}^{\hat{e}i\hat{a}}$		0,1	0,1	0,1	0,3	0,2	0,2
$y_{\max}^{\bar{n}i}$		0,03	0,0	0,01	0,1	0,04	-0,1
Вагон з візками 68-7007 (навантажений)							
\bar{y}	1	0,3	0,4	0,4	0,3	0,2	0,02
$y_{\max}^{\hat{e}i\hat{a}}$		0,5	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3
$y_{\max}^{\bar{n}i}$		0,5	0,6	0,6	0,5	0,3	0,2
\bar{y}	2	0,1	-0,01	-0,03	-0,09	-0,1	-0,21
$y_{\max}^{\hat{e}i\hat{a}}$		0,2	0,15	0,2	0,1	0,1	0,08
$y_{\max}^{\bar{n}i}$		0,2	0,12	0,1	0,1	0,1	0,04

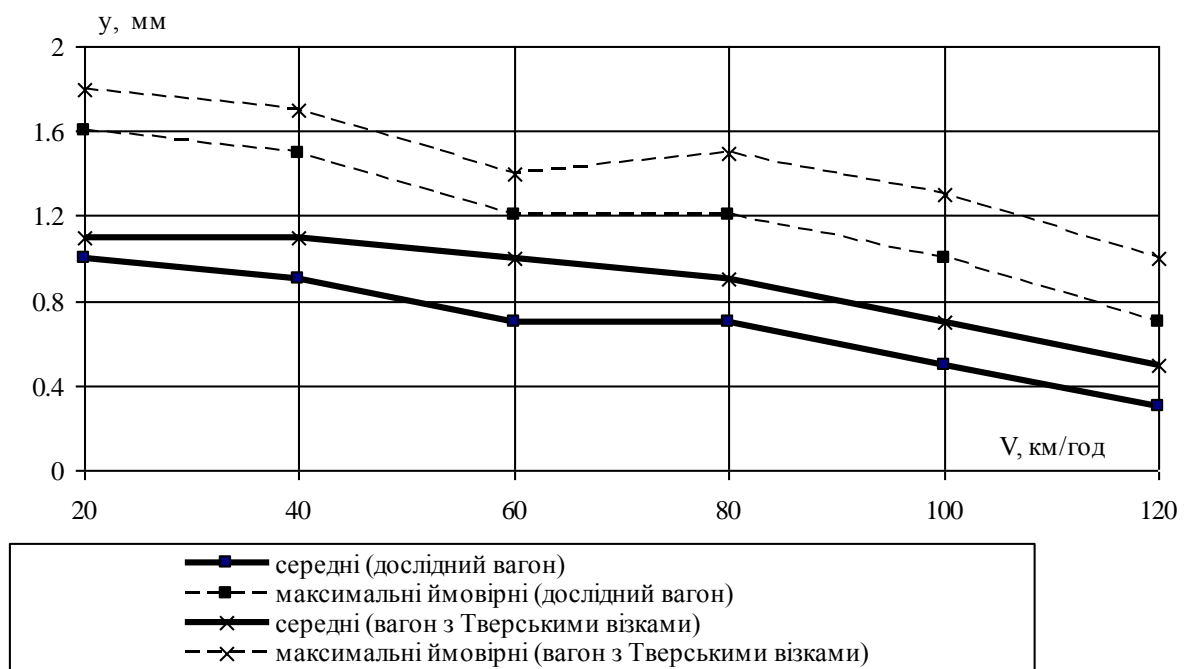


Рисунок 3.34 – Порівняння горизонтальних переміщень, виникаючих у внутрішній рейки кривої під набігаючими осями порожніх вагонів: дослідного та вагона з візками 68-4065

Аналізуючи отримані результати можна зробити наступний висновок: горизонтальні сили були відносно невеликі (не перевищували значення 50 кН, а це значно менше рекомендованого значення – 100 кН).

Аналізуючи отримані дані горизонтальних переміщень можна зробити висновок, що вони були більші при русі вагона з візками 68-4065, чим Крюковського вагона (рисунок 3.34). Переміщення рейок під ненабігаючими осями були менше чим під набігаючими. Це стосується, як при завантаженому так і незавантаженому стані вагонів (таблиця 19 і 20).

Віджимання рейок на колії зі скріпленням КБ не перевищували 2 мм, тому можна зробити висновок, що вони були незначні. Це пов'язано з тим, що горизонтальні сили були до 50 кН.

Горизонтальні переміщення під порожніми вагонами були наступні:

Вагон з дослідними візками 68-7007:

- середні – 1,0 мм;
- максимальні ймовірні – 1,6 мм;
- максимальні, що спостерігалися – 1,3 мм.

Вагон з візками 68-4065:

- середні – 1,1 мм;
- максимальні ймовірні – 1,8 мм;
- максимальні, що спостерігалися – 1,6 мм.

Під завантаженими вагонами були наступні:

Вагон з дослідними візками 68-7007:

- середні – 1,0 мм;
- максимальні ймовірні – 1,6 мм;
- максимальні, що спостерігалися – 1,3 мм.

Вагон з візками 68-4065:

- середні – 0,4 мм;
- максимальні ймовірні – 0,7 мм;
- максимальні, що спостерігалися – 0,6 мм.

Аналіз напружень та деформацій, що виникали у кривій ділянці R=600 м

Аналіз вертикальних сил, що передаються від екіпажів на рейки, і вертикальних прогинів рейок

Вертикальні сили, передані від коліс на рейки, вимірялися за допомогою тензодатчиків, наклеєних на шейках рейок у зоні нейтральної осі, а деформації рейок у вертикальному перерізі реєструвалися вертикальними прогиномірами.

Зібрані схеми реєстрації сил було протароване шляхом прокатування коліс дослідного складу в режимі вибігу зі швидкістю до 5 км/год.

У результаті обробки даних, отриманих у ході експерименту, на ЕОМ були отримані середні, максимальні ймовірні і максимальні що спостерігалися значення сил і деформацій колії від впливу дослідного складу.

Попередній аналіз показав, що одержувані в різних перетинах колії дані, можуть бути об'єднані у вибірки по кожній рухомій одиниці дослідного складу для кожної швидкості в залежності від номера осі (набігаючі і відомі осі). Результати угруповання значень вертикальних сил зведені в таблиці 21, 22 і побудовані графіки залежності вертикальних сил від швидкості, які приведені на рисунках 3.35, 3.36.

Діапазон вертикальних сил, що вимірювалися тензодатчиками Ш1 – Ш12 для навантажених вагонів варіювався за середнім значенням для вагона на візках моделі 68-4065 – від 75,88 кН до 97,28 кН, по максимально спостереженим – від 91,62 кН до 133,80 кН, для вагона на візках моделі 68-7007 – відповідно, від 76,71 кН до 97,43 кН та від 98,96 кН до 131,50 кН. В умовних позначках тут і далі P_{cp} позначає середні значення (математичне чекання), P_{ms} – максимальне ймовірне значення, P_{mi} – максимальне спостережене значення, P_m – для вагона на візках моделі 68-4065, P_o – для вагона з візками моделі 68-7007.

					0053-216511-ДП-2022-001	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		69

Таблиця 21 – Середні (\bar{P}), максимальні ймовірні (P_{max}^e) і максимальні що спостерігалися (P_{max}^H) значення вертикальних сил (кН) у кривій ділянці колії R=600 м на зовнішній нитці для навантажених вагонів

	Швидкості, км/год			
	5	25	50	60
вагон на візках моделі 68-4065				
\bar{P}	<u>80,78</u>	<u>91,91</u>	<u>88,50</u>	<u>91,07</u>
	85,12	97,14	97,28	95,75
P_{max}^e	<u>124,50</u>	<u>118,20</u>	<u>116,60</u>	<u>122,10</u>
	129,70	122,30	131,40	132,90
P_{max}^H	<u>107,90</u>	<u>115,20</u>	<u>122,90</u>	<u>133,10</u>
	125,10	120,60	133,80	123,60
вагон з візками моделі 68-7007				
\bar{P}	<u>69,55</u>	<u>77,51</u>	<u>78,22</u>	<u>79,87</u>
	80,48	88,49	88,21	92,50
P_{max}^e	<u>106,70</u>	<u>102,20</u>	<u>103,50</u>	<u>105,20</u>
	116,90	110,20	108,70	119,60
P_{max}^H	<u>102,40</u>	<u>104,40</u>	<u>100,60</u>	<u>108,60</u>
	114,50	107,70	107,90	123,60

Примітки: тут і далі в чисельнику – значення для набігаючих осей, в знаменнику – значення для ведомих осей

Таблиця 22 – Середні (\bar{P}), максимальні ймовірні (P_{max}^e) і максимальні що спостерігалися (P_{max}^H) значення вертикальних сил (кН) у кривій ділянці колії R=600 м на внутрішній нитці для навантажених вагонів

	Швидкості, км/год			
	5	25	50	60
вагон на візках моделі 68-4065				
\bar{P}	<u>87,70</u>	<u>88,32</u>	<u>83,69</u>	<u>78,09</u>
	89,02	92,14	84,20	75,88
P_{max}^e	<u>124,80</u>	<u>107,40</u>	<u>106,70</u>	<u>96,67</u>
	133,30	119,20	112,30	98,12
P_{max}^H	<u>120,40</u>	<u>106,30</u>	<u>107,40</u>	<u>91,62</u>
	121,20	114,00	104,20	95,85
вагон з візками моделі 68-7007				
\bar{P}	<u>92,83</u>	<u>96,52</u>	<u>88,91</u>	<u>80,84</u>
	96,90	97,43	88,61	76,71
P_{max}^e	<u>125,20</u>	<u>124,90</u>	<u>115,60</u>	<u>104,30</u>
	139,30	126,00	122,50	102,50
P_{max}^H	<u>113,80</u>	<u>131,50</u>	<u>113,10</u>	<u>103,90</u>
	117,80	122,40	115,20	98,96

Діапазон вертикальних сил, що вимірювалися тензодатчиками Ш1 – Ш12 для порожніх вагонів варіювався за середнім значенням для вагона на візках моделі 68-4065 – від 64,36 кН до 95,46 кН, по максимально спостереженим – від 81,40 кН до 147,1 кН, для вагона на візках моделі 68-7007 – відповідно, від 53,35 кН до 86,57 кН та від 76,41 кН до 120,2 кН. Результат вибірки наведено у таблицях 23, 24.

Таблиця 23 – Середні (\bar{P}), максимальні ймовірні (P_{max}^e) і максимальні що спостерігалися (P_{max}^H) значення вертикальних сил (кН) у кривій ділянці колії R=600 м на зовнішній нитці для порожніх вагонів

	Швидкості, км/год			
	5	25	50	60
вагон на візках моделі 68-4065				
\bar{P}	$\frac{72,00}{79,21}$	$\frac{71,87}{79,32}$	$\frac{83,72}{89,12}$	$\frac{88,02}{95,46}$
P_{max}^e	$\frac{102,20}{107,70}$	$\frac{105,70}{111,00}$	$\frac{116,40}{117,40}$	$\frac{126,10}{135,30}$
P_{max}^H	$\frac{91,98}{102,00}$	$\frac{131,70}{122,40}$	$\frac{118,10}{123,30}$	$\frac{147,10}{141,30}$
вагон з візками моделі 68-7007				
\bar{P}	$\frac{54,33}{67,32}$	$\frac{53,35}{68,30}$	$\frac{69,03}{79,24}$	$\frac{74,89}{86,57}$
P_{max}^e	$\frac{82,60}{94,46}$	$\frac{78,28}{96,97}$	$\frac{102,00}{105,40}$	$\frac{108,30}{119,10}$
P_{max}^H	$\frac{76,41}{87,91}$	$\frac{92,65}{120,20}$	$\frac{117,30}{117,30}$	$\frac{106,80}{119,10}$

Таблиця 24 – Середні (\bar{P}), максимальні ймовірні (P_{max}^e) і максимальні що спостерігалися (P_{max}^H) значення вертикальних сил (кН) у кривій ділянці колії R=600 м на внутрішній нитці для порожніх вагонів

	Швидкості, км/год			
	5	25	50	60
вагон на візках моделі 68-4065				
\bar{P}	$\frac{82,80}{83,18}$	$\frac{75,69}{75,91}$	$\frac{70,42}{68,92}$	$\frac{65,66}{64,36}$
P_{max}^e	$\frac{100,70}{100,60}$	$\frac{96,15}{97,07}$	$\frac{92,89}{93,29}$	$\frac{84,22}{85,37}$
P_{max}^H	$\frac{107,70}{97,02}$	$\frac{98,20}{91,67}$	$\frac{94,13}{87,86}$	$\frac{81,40}{84,14}$

вагон з візками моделі 68-7007				
\bar{P}	$\frac{77,17}{79,83}$	$\frac{74,17}{74,19}$	$\frac{64,51}{65,35}$	$\frac{58,24}{58,38}$
P_{max}^e	$\frac{101,70}{98,56}$	$\frac{101,90}{97,06}$	$\frac{87,97}{86,26}$	$\frac{81,35}{78,87}$
P_{max}^H	$\frac{96,43}{95,84}$	$\frac{107,70}{99,19}$	$\frac{87,66}{84,14}$	$\frac{78,09}{81,59}$

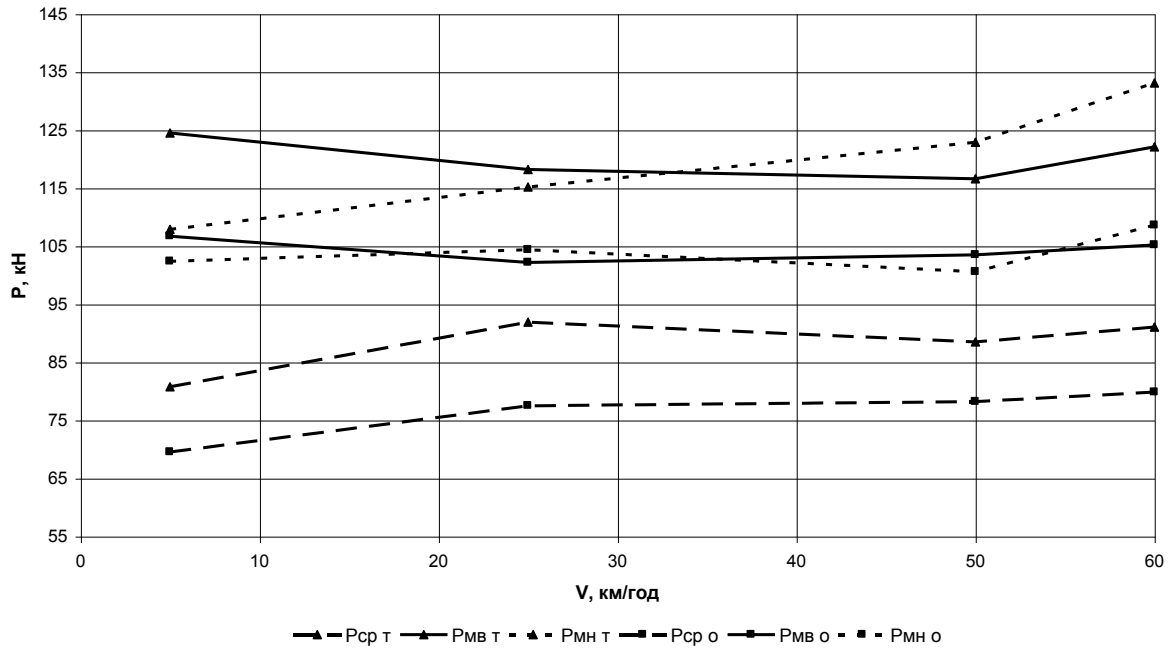


Рисунок 3.35 – Залежність вертикальних сил від швидкості руху дослідного складу для набігаючих осей навантажених вагонів на зовнішньої рейкової нитки

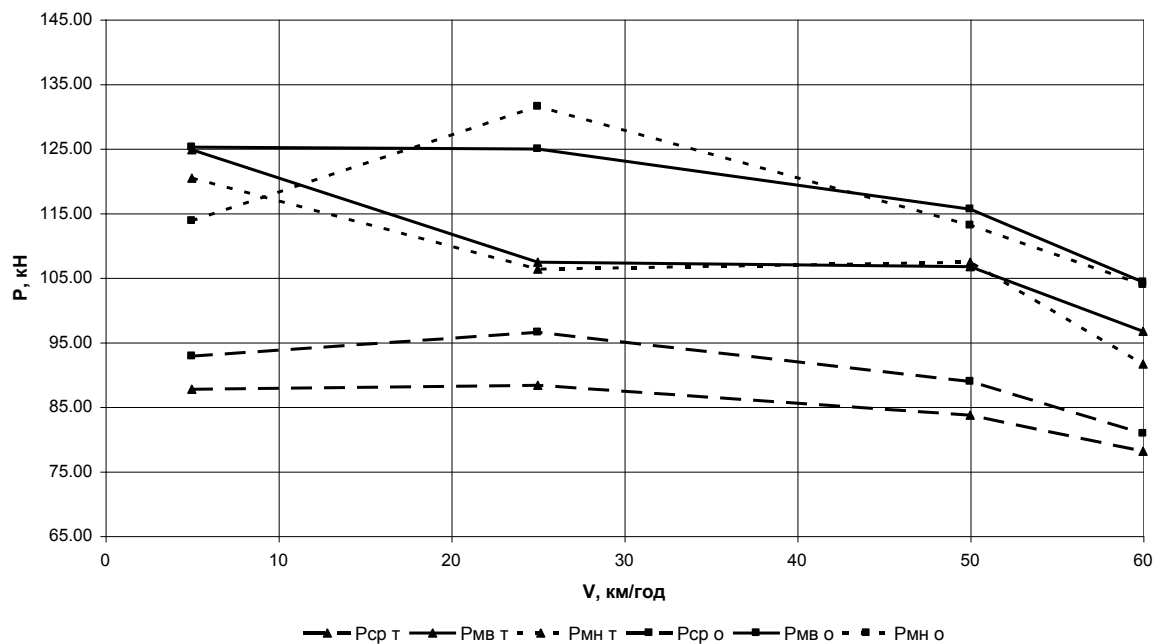


Рисунок 3.36 – Залежність вертикальних сил від швидкості руху дослідного складу від набігаючих осей навантажених вагонів на внутрішню рейкову нитку

Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата
------	------	----------	---------	------

0053-216511-ДП-2022-001

Лист

72

Діапазон вертикальних прогинів, обмірюваних прогиномірами ПВ1 – ПВ4 (дивись рисунок 37) для навантажених вагонів варіювався за середнім значенням для вагона на візках моделі 68-4065 – від 3,41 мм до 4,12 мм, по максимально спостереженим – від 3,93 мм до 4,55 мм, для вагона на візках моделі 68-7007 – відповідно, від 3,36 мм до 4,03 мм та від 3,81 мм до 4,54 мм. Тому, з огляду на такий малий діапазон прогинів, було вирішено звести їх в одну вибірку по кожній рухомій одиниці дослідного складу для набігаючих і відомих осей для кожної нитки колії. Результат вибірки наведено у таблиці 25 і на рисунку 3.37. В умовних позначках тут і далі Z_{cp} позначає середні значення (математичне чекання), Z_{me} – максимальне ймовірне значення, Z_{mi} – максимальне спостережене значення, Z_m – для вагона на візках моделі 68-4065, Z_o – для вагона з візками моделі 68-7007.

Таблиця 25 – Середні (\bar{z}), максимальні ймовірні (z_{max}^e) і максимальні що спостерігалися (z_{max}^h) значення вертикальних прогинів рейок (мм) у кривій ділянці колії R=600 м на зовнішній нитці для навантажених вагонів

	Швидкості, км/год			
	5	25	50	60
вагон на візках моделі 68-4065				
\bar{z}	<u>3,65</u> 3,89	<u>3,57</u> 3,74	<u>3,82</u> 4,05	<u>3,90</u> 4,12
z_{max}^e	<u>4,31</u> 4,64	<u>4,04</u> 4,28	<u>4,18</u> 4,59	<u>4,30</u> 4,50
z_{max}^h	<u>4,06</u> 4,41	<u>3,93</u> 4,18	<u>4,07</u> 4,49	<u>4,23</u> 4,37
вагон з візками моделі 68-7007				
\bar{z}	<u>3,45</u> 3,68	<u>3,36</u> 3,56	<u>3,67</u> 3,96	<u>3,72</u> 4,03
z_{max}^e	<u>3,99</u> 4,30	<u>3,82</u> 4,09	<u>4,02</u> 4,31	<u>4,02</u> 4,34
z_{max}^h	<u>4,06</u> 4,02	<u>3,81</u> 4,02	<u>4,15</u> 4,36	<u>3,95</u> 4,25

Діапазон вертикальних прогинів, обмірюваних прогиномірами ПВ1 – ПВ4 для порожніх вагонів варіювався за середнім значенням для вагона на візках

					0053–216511–ДП–2022-001	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		73

моделі 68-4065 – від 3,3 мм до 3,95 мм, по максимально спостереженим – від 3,42 мм до 4,44 мм, для вагона на візках моделі 68-7007 – відповідно, від 3,07 мм до 3,83 мм та від 3,36 мм до 4,66 мм. Тому, з огляду на такий малий діапазон прогинів, було вирішено звести їх в одну вибірку по кожній рухомій одиниці дослідного складу для набігаючих і відомих осей. Результат вибірки наведено у таблиці 26.

Аналізуючи результати виміру вертикальних прогинів і вертикальних сил, можна зробити наступні висновки:

– не спостерігається значного впливу швидкості на середні значення вертикальних сил і вертикальних прогинів;

– вертикальні сили, що виникають під навантаженими вагонами, приблизно однакові, але коли вагони порожні – у вагона на візках моделі 68-4065 вертикальні сили більше 10%, чим у вагона моделі 68-7007. По вертикальним прогинам спостережується теж, але в межах точності вимірювання;

– вертикальні сили та вертикальні прогини у обох вагонів з ростом швидкості на зовнішній нитці кривої ділянки колії зростають, а на внутрішній – навпаки.

Таблиця 26 – Середні (\bar{z}), максимальні ймовірні (z_{max}^e) і максимальні що спостерігалися (z_{max}^h) значення вертикальних прогинів рейок (мм) у кривій ділянці колії R=600 м на зовнішній нитці для порожніх вагонів

	Швидкості, км/год			
	5	25	50	60
вагон на візках моделі 68-4065				
\bar{z}	<u>3,30</u> 3,54	<u>3,37</u> 3,55	<u>3,58</u> 3,72	<u>3,79</u> 3,95
z_{max}^e	<u>3,46</u> 3,72	<u>4,08</u> 4,23	<u>4,32</u> 4,42	<u>4,46</u> 4,63
z_{max}^h	<u>3,42</u> 3,61	<u>3,98</u> 4,15	<u>4,23</u> 4,21	<u>4,29</u> 4,40
вагон з візками моделі 68-7007				
\bar{z}	<u>3,07</u> 3,32	<u>3,15</u> 3,38	<u>3,39</u> 3,59	<u>3,61</u> 3,83
z_{max}^e	<u>3,48</u> 3,70	<u>3,91</u> 4,06	<u>4,07</u> 4,22	<u>4,28</u> 4,44
z_{max}^h	<u>3,36</u> 3,59	<u>3,63</u> 3,78	<u>3,94</u> 4,00	<u>4,09</u> 4,23

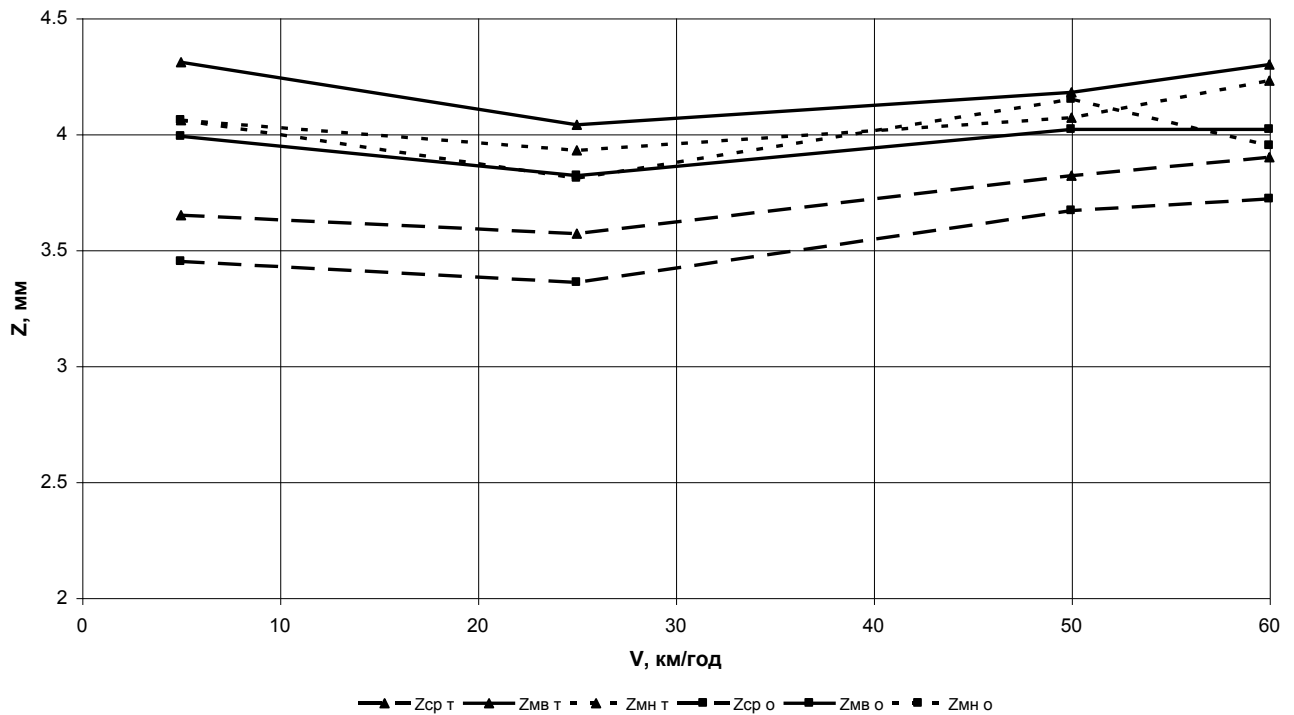


Рисунок 3.37 – Залежність вертикальних прогинів зовнішньої рейкової нитки від швидкості руху дослідного складу для набігаючих осей навантажених вагонів

Визначення бокових сил, що передаються від екіпажів на рейки, і бокових віджимань рейок.

Горизонтальний вплив експериментального поїзду на колію оцінювалося по величинах бокових сил, що передаються від рухомого складу на рейки, і по величинах горизонтального віджимання головки рейок.

Крива ділянка колії $R=600$ м була обладнана горизонтальними прогиномірами головки рейки (ПГ1–ПГ12). Схема розташування прогиномірів на криволінійній ділянці показана на рисунку Д.3

На підставі експериментальних даних проводилася вибірка даних для можливого об'єднання чисельних значень по осях рухомого складу, по рейкових нитках і по прогиномірах:

- набігаючі і відомі осі для кожного з вагонів поєднувалися між собою;
- віджимання були об'єднані в окремі вибірки для кожного вагонів по зовнішній і по внутрішній рейковим ниткам.

По приведеним вище схемах вибірок було зроблене об'єднання за допомогою ЕОМ.

З аналізу даних був зроблений висновок, що рейки деформуються під кожним екіпажем і по кожній нитці по різному і тому співвідношення віджимань головки і подошви рейки в кожному січенні змінюється у великих межах незалежно від швидкості руху екіпажів. Віджимання головки знаходяться в межах від 1 до 4 мм.

Середні віджимання головки рейки для навантажених вагонів були: для вагона на візках моделі 68-4065 – від 0,1 мм до 1,0 мм, для вагона з візками моделі 68-7007 – від -0,1 мм до 1,3 мм. Максимальні спостережені віджимання головки рейки: для вагона на візках моделі 68-4065 – від 0,7 мм до 2,4 мм, для вагона з візками моделі 68-7007 – від 0,6 мм до 2,1 мм. Динаміка зміни віджимання головки рейки для навантажених вагонів наведена в таблицях 27-28 та рисунках 3.38–3.39. В умовних позначках тут і далі Y_{cp} позначає середні значення (математичне чекання), Y_{ms} – максимальне ймовірне значення, $Y_{ли}$ – максимальне спостережене значення, Y_m – для вагона на візках моделі 68-4065, Y_o – для вагона з візками моделі 68-7007.

Середні віджимання головки рейки для порожніх вагонів були: для вагона на візках моделі 68-4065 – від -0,8 мм до 1,0 мм, для вагона з візками моделі 68-7007 – від -0,3 мм до 1,5 мм. Максимальні спостережені віджимання головки рейки: для вагона на візках моделі 68-4065 – від -0,5 мм до 2,5 мм, для вагона з візками моделі 68-7007 – від 0,01 мм до 2,1 мм.

Таблиця 27 – Середні (\bar{Y}), максимальні ймовірні (Y_{max}^e) і максимальні що спостерігалися (Y_{max}'') значення віджимань головки рейки (мм) у кривій ділянці колії R=600 м на зовнішній нитці для навантажених вагонів

	Швидкості, км/год			
	5	25	50	60
вагон на візках моделі 68-4065				
\bar{Y}	0,6 / 0,4	1,0 / 0,4	1,0 / 0,6	0,8 / 0,6
Y_{max}^e	2,1 / 1,4	2,5 / 1,3	2,6 / 1,2	2,5 / 1,6
Y_{max}''	1,7 / 1,0	2,1 / 1,3	2,4 / 1,3	2,1 / 1,3
вагон з візками моделі 68-7007				
\bar{Y}	0,9 / 0,6	0,9 / 0,4	0,8 / 0,6	0,7 / 0,7
Y_{max}^e	1,8 / 1,0	1,9 / 1,0	1,9 / 1,5	1,8 / 1,8
Y_{max}''	1,4 / 0,9	1,7 / 0,8	1,6 / 1,2	1,4 / 1,6

Таблиця 28 – Середні (\bar{Y}), максимальні ймовірні (Y_{\max}^e) і максимальні що спостерігалися (Y_{\max}^n) значення віджимань головки рейки (мм) у кривій ділянці колії R=600 м на внутрішній нитці для навантажених вагонів

	Швидкості, км/год			
	5	25	50	60
вагон на візках моделі 68-4065				
\bar{Y}	0,8 / 0,5	1,0 / 0,6	0,7 / 0,3	0,4 / 0,1
Y_{\max}^e	1,6 / 1,0	1,6 / 1,2	1,4 / 1,2	1,2 / 0,7
Y_{\max}^n	1,4 / 0,8	1,4 / 1,2	1,1 / 1,1	1,0 / 0,7
вагон з візками моделі 68-7007				
\bar{Y}	1,5 / 0,5	1,3 / 0,5	1,1 / 0,2	1,1 / -0,1
Y_{\max}^e	2,2 / 0,9	1,9 / 1,0	1,7 / 1,0	1,8 / 0,8
Y_{\max}^n	2,1 / 0,7	2,0 / 0,9	1,7 / 0,7	1,6 / 0,6

Бокові сили визначалися за методикою Єршкова. На кривій ділянці R=600 м середні бокові сили на головку рейки для навантажених вагонів змінювали свої значення: вагон на візках моделі 68-4065 від 1,0 до 26,1 кН і вагон на візках моделі 68-7007 – від -0,2 до 36,1 кН. Максимальні спостережені значення бокових сил: вагон на візках моделі 68-4065 від 11,9 до 42,8 кН і вагон на візках моделі 68-7007 – від 9,2 до 55,6 кН. Динаміка зміни бокових сил для навантажених вагонів наведена в таблицях 29, 30 та рисунках 3.40, 3.41. В умовних позначках тут і далі H_{cp} позначає середні значення (математичне чекання), H_{me} – максимальне ймовірне значення, H_{mn} – максимальне спостережене значення, H_m – для вагона на візках моделі 68-4065, H_o – для вагона з візками моделі 68-7007.

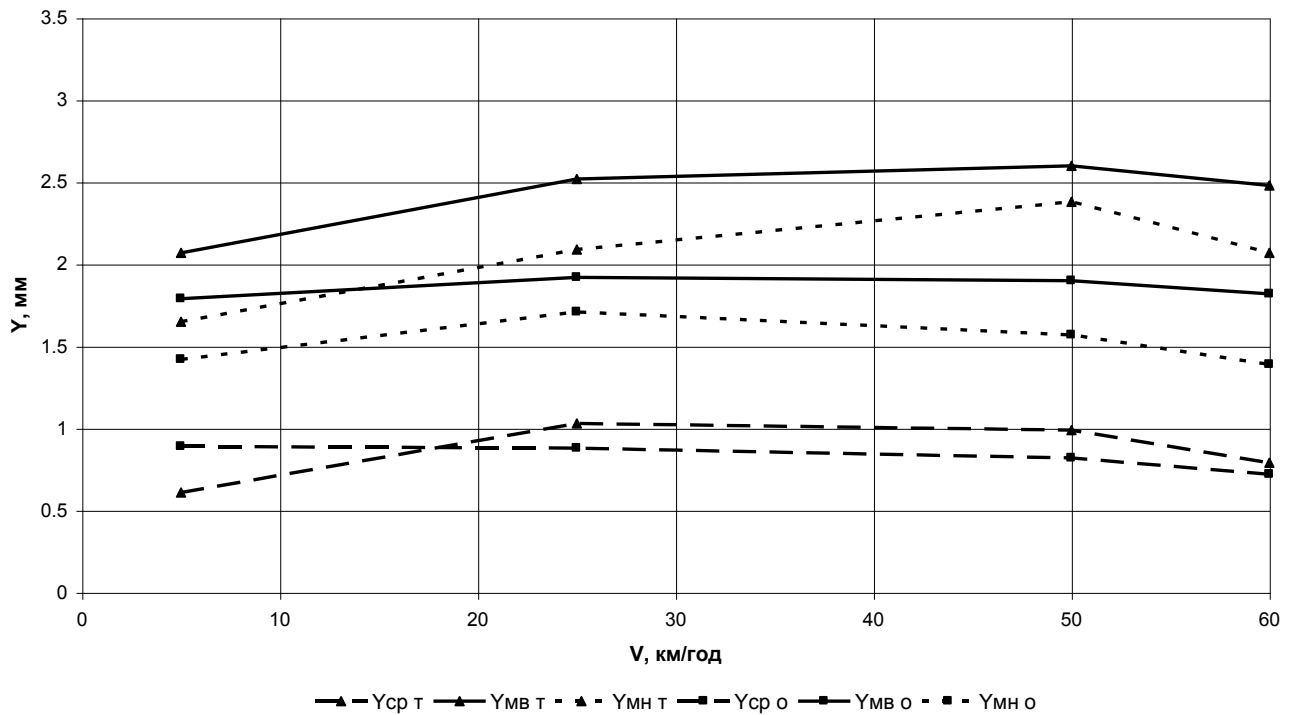


Рисунок 3.38 – Залежність віджимань головки рейки зовнішньої рейкової нитки від швидкості руху дослідного складу для набігаючих осей для навантажених вагонів

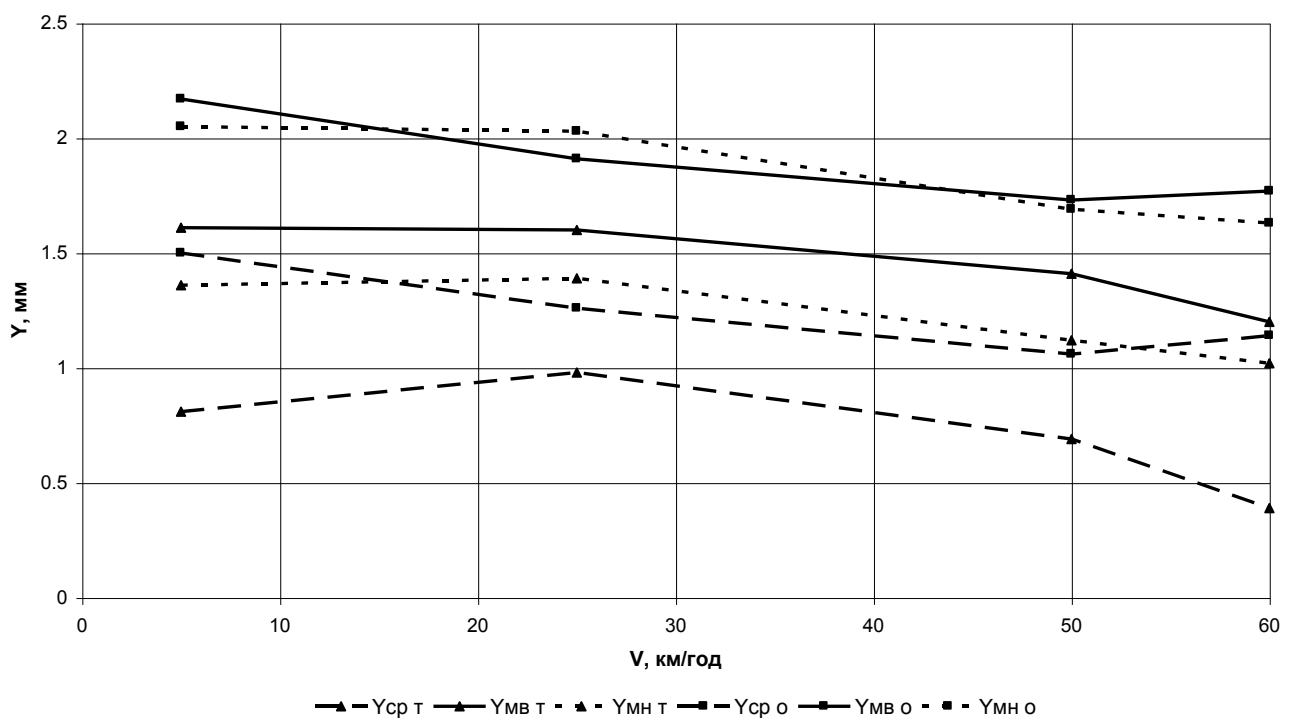


Рисунок 3.39 – Залежність віджимань головки рейки внутрішньої рейкової нитки від швидкості руху дослідного складу для набігаючих осей для навантажених вагонів

Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата

Таблиця 29 – Середні (\bar{H}), максимальні ймовірні (H_{\max}^e) і максимальні що спостерігалися (H_{\max}'') значення бокових сил (кН) у кривій ділянці колії R=600 м на зовнішній нитці для навантажених вагонів

	Швидкості, км/год			
	5	25	50	60
вагон на візках моделі 68-4065				
\bar{H}	<u>12,61</u> 1,00	<u>15,08</u> 2,76	<u>17,94</u> 6,81	<u>12,06</u> 4,45
H_{\max}^e	<u>24,62</u> 14,89	<u>27,75</u> 18,68	<u>30,86</u> 19,76	<u>29,25</u> 22,73
H_{\max}''	<u>25,50</u> 11,89	<u>26,04</u> 15,61	<u>28,68</u> 20,10	<u>24,19</u> 17,07
вагон з візками моделі 68-7007				
\bar{H}	<u>14,69</u> -0,22	<u>15,06</u> 1,13	<u>16,05</u> 4,04	<u>15,92</u> 6,29
H_{\max}^e	<u>28,09</u> 13,81	<u>32,30</u> 15,23	<u>28,47</u> 17,31	<u>31,94</u> 25,41
H_{\max}''	<u>24,07</u> 15,34	<u>27,23</u> 9,22	<u>26,13</u> 13,71	<u>25,08</u> 18,91

Таблиця 30 – Середні (\bar{H}), максимальні ймовірні (H_{\max}^e) і максимальні що спостерігалися (H_{\max}'') значення бокових сил (кН) в кривій ділянці колії R=600 м на внутрішній нитці для навантажених вагонів

	Швидкості, км/год			
	5	25	50	60
вагон на візках моделі 68-4065				
\bar{H}	<u>24,28</u> 14,65	<u>26,07</u> 14,16	<u>21,30</u> 10,07	<u>14,65</u> 3,76
H_{\max}^e	<u>45,75</u> 34,90	<u>39,57</u> 37,29	<u>39,39</u> 32,46	<u>32,20</u> 21,26
H_{\max}''	<u>42,81</u> 30,20	<u>39,84</u> 37,53	<u>38,80</u> 31,05	<u>28,88</u> 25,57
вагон з візками моделі 68-7007				
\bar{H}	<u>36,11</u> 10,69	<u>32,37</u> 9,83	<u>28,96</u> 7,01	<u>31,31</u> 2,76
H_{\max}^e	<u>52,66</u> 28,62	<u>48,14</u> 25,41	<u>46,66</u> 23,52	<u>48,88</u> 15,64
H_{\max}''	<u>55,55</u> 24,01	<u>46,74</u> 22,68	<u>46,80</u> 23,57	<u>49,44</u> 14,90

Середні бокові сили на головку рейки для порожніх вагонів змінювали свої значення: вагон на візках моделі 68-4065 від -2,53 до 19,70 кН і вагон на візках моделі 68-7007 – від -1,13 до 35,80 кН. Максимальні спостережені значення бокових сил: вагон на візках моделі 68-4065 від 8,48 до 36,06 кН і вагон на візках моделі 68-7007 – від 12,19 до 55,13 кН. Динаміка зміни бокових сил для порожніх вагонів наведена в таблицях 31–32.

Таблиця 31 – Середні (\bar{H}), максимальні ймовірні (H_{\max}^e) і максимальні що спостерігалися (H_{\max}'') значення бокових сил (кН) у кривій ділянці колії R=600 м на зовнішній нитці для порожніх вагонів

	Швидкості, км/год			
	5	25	50	60
вагон на візках моделі 68-4065				
\bar{H}	<u>11,28</u> -2,53	<u>11,05</u> 1,38	<u>11,54</u> 2,97	<u>14,10</u> 3,49
H_{\max}^e	<u>25,99</u> 11,15	<u>22,15</u> 14,51	<u>25,19</u> 16,46	<u>29,83</u> 19,22
H_{\max}''	<u>19,24</u> 8,48	<u>24,40</u> 15,53	<u>21,87</u> 15,45	<u>33,05</u> 17,61
вагон з візками моделі 68-7007				
\bar{H}	<u>19,07</u> -1,13	<u>16,63</u> 1,39	<u>13,08</u> 3,35	<u>16,20</u> 3,79
H_{\max}^e	<u>35,50</u> 14,46	<u>30,72</u> 16,43	<u>28,22</u> 17,80	<u>34,73</u> 21,04
H_{\max}''	<u>32,65</u> 12,19	<u>30,81</u> 14,51	<u>25,17</u> 15,79	<u>39,91</u> 19,04

Таблиця 32 – Середні (\bar{H}), максимальні ймовірні (H_{\max}^e) і максимальні що спостерігалися (H_{\max}'') значення бокових сил (кН) у кривій ділянці колії R=600 м на внутрішній нитці для порожніх вагонів

	Швидкості, км/год			
	5	25	50	60
вагон на візках моделі 68-4065				
\bar{H}	<u>19,70</u> 4,86	<u>19,20</u> 7,64	<u>14,61</u> 4,12	<u>16,55</u> 3,14
H_{\max}^e	<u>36,91</u> 22,04	<u>35,26</u> 24,64	<u>28,45</u> 20,28	<u>29,46</u> 17,88
H_{\max}''	<u>30,03</u> 16,51	<u>36,06</u> 22,04	<u>28,44</u> 25,47	<u>34,17</u> 20,81
вагон з візками моделі 68-7007				

\bar{H}	$\frac{35,80}{4,18}$	$\frac{35,27}{4,50}$	$\frac{27,36}{2,42}$	$\frac{27,36}{1,68}$
H_{\max}^s	$\frac{58,87}{17,25}$	$\frac{55,56}{17,36}$	$\frac{47,60}{16,80}$	$\frac{47,00}{14,40}$
H_{\max}^n	$\frac{55,13}{16,04}$	$\frac{51,12}{19,77}$	$\frac{49,56}{15,45}$	$\frac{46,44}{15,17}$

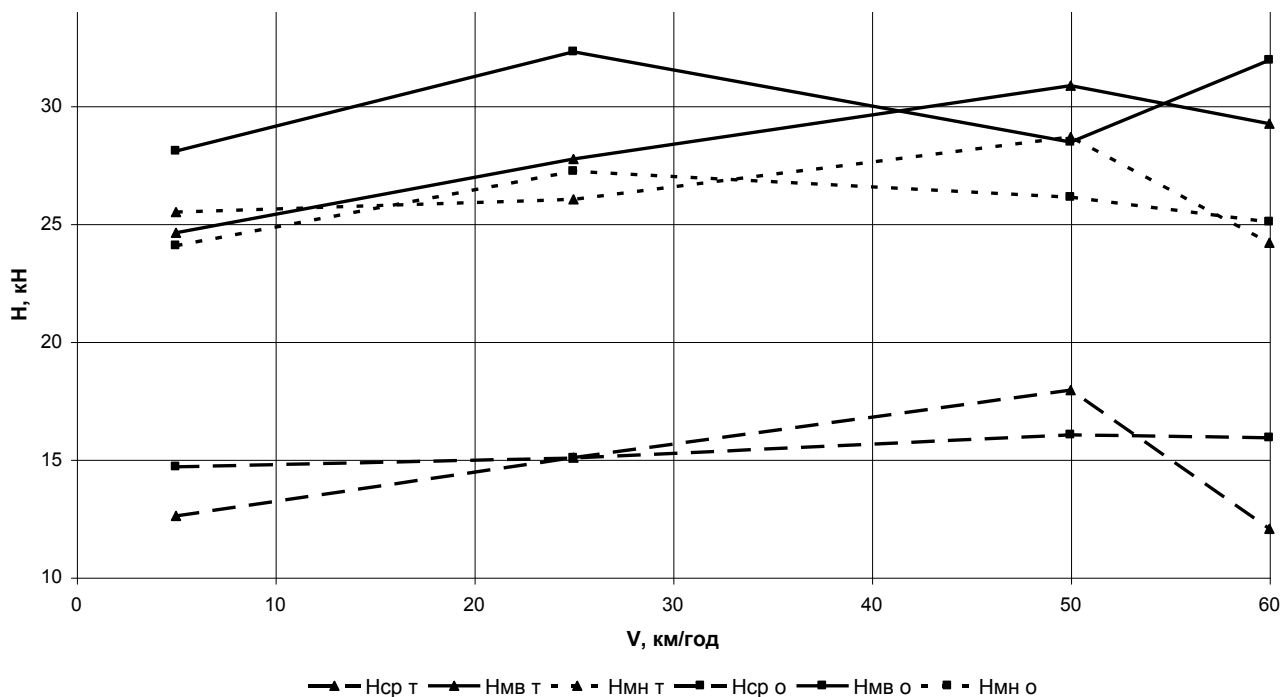


Рисунок 3.40 – Залежність бокових сил, що виникають на зовнішньої рейкової нитки від швидкості руху дослідного складу для набігаючих осей для навантажених вагонів

Аналіз таблиць 27 – 32 і графіків (рис 3.38–3.41) показав, що на дослідних ділянках спостерігається залежність величин бокових сил і горизонтальних віджимань головки рейок від швидкості руху рухомого складу. По зовнішній нитці бокові сили, що передаються на колію, збільшуються з ростом швидкості, а по внутрішній нитці їх величина з ростом швидкості зменшується. Теж відбувається з величинами горизонтальних віджимань головки рейок кривої ділянки колії. Бокові сили, що виникають у порожнього вагона з візками моделі 68-7007, більше ніж у вагона на візках моделі 68-4065. Це підтверджує і горизонтальні віджимання голівки рейок. Але в навантаженому становищі у

вагонів приблизно однакові і бокові сили і горизонтальні віджимання голівки рейок.

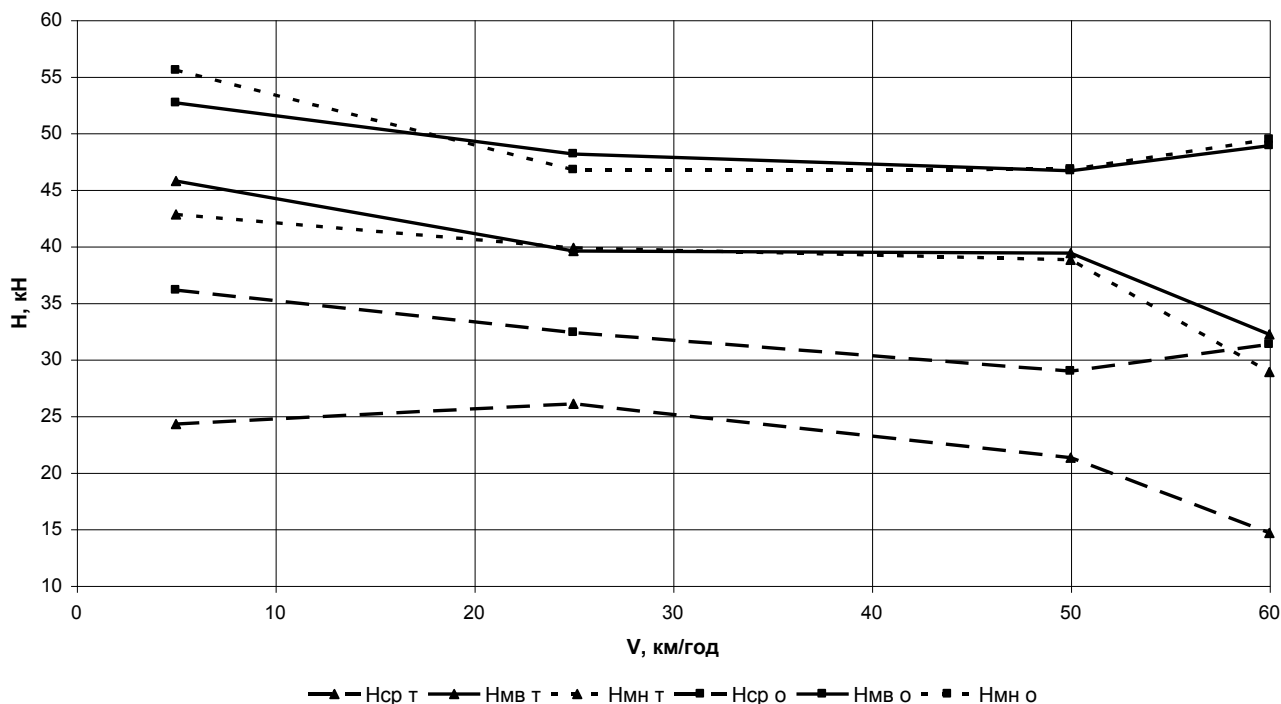


Рисунок 3.41 – Залежність бокових сил, що виникають на внутрішньої рейкової нитки від швидкості руху дослідного складу для набігаючих осей для навантажених вагонів

Аналіз крайкових напружень у підшві рейок

Динамічні напруження в підшві рейки є одним з основних показників впливу рухомого складу, як критерій міцності колії і безпеки руху рухомого складу по колії з різними конструкціями верхньої будови. Нормована величина цих напружень (240 МПа) визначає допустимі швидкості руху рухомого складу за умовами міцності рейок на вигин і крутіння.

Розташування датчиків на дослідній ділянці приведено на рисунку Д.3.

Обмірювані в результаті випробувань напруження в рейках були згруповані у варіаційні ряди спостережень в залежності від осі для кожного вагона і для кожної швидкості руху. У кривій окремо поєднувалися точки по зовнішній і внутрішній рейкових нитках У кожній групі визначалися середні значення напружень, максимальні ймовірні і максимальні спостережені.

На кривій ділянці середні напруження в крайках підшви рейки для навантажених вагонів змінювали свої значення: вагон на візках моделі 68-4065

від 38,5 до 75,0 МПа і вагон на візках моделі 68-7007 – від 35,7 до 91,3 МПа. Максимальні спостережені значення напружень в крайках підшви рейки: вагон на візках моделі 68-4065 від 59,9 до 102,4 МПа і вагон на візках моделі 68-7007 – від 55,3 до 138,2 МПа. Динаміка зміни напружень в крайках підшви рейки для навантажених вагонів наведена в таблицях 33, 34 та рисунках 3.42, 3.43. В умовних позначках тут і далі σ_{cp} позначає середні значення (математичне чекання), σ_{ms} – максимальне ймовірне значення, σ_{mi} – максимальне спостережене значення, σ_m – для вагона на візках моделі 68-4065, σ_o – для вагона з візками моделі 68-7007.

Середні напруження в крайках підшви рейки для порожніх вагонів змінювали свої значення: вагон на візках моделі 68-4065 від 31,1 до 64,6 МПа і вагон на візках моделі 68-7007 – від 28,4 до 76,6 МПа. Максимальні спостережені значення напружень у крайках підшви рейки: вагон на візках моделі 68-4065 від 41,1 до 102,3 МПа і вагон на візках моделі 68-7007 – від 42,1 до 115,6 МПа. Динаміка зміни напружень у крайках підшви рейки для порожніх вагонів наведена в таблицях 35–36.

Таблиця 33 – Середні ($\bar{\sigma}$), максимальні ймовірні (σ_{max}^e) і максимальні що спостерігалися (σ_{max}^H) значення напружень у крайках підшви рейки (МПа) у кривій ділянці колії R=600 м на зовнішній нитці для навантажених вагонів

	Швидкості, км/год			
	5	25	50	60
вагон на візках моделі 68-4065				
$\bar{\sigma}$	<u>48,76</u>	<u>56,83</u>	<u>61,31</u>	<u>55,85</u>
	38,46	42,62	47,58	46,76
σ_{max}^e	<u>71,18</u>	<u>84,05</u>	<u>89,62</u>	<u>79,95</u>
	61,73	65,52	67,68	72,78
σ_{max}^H	<u>76,14</u>	<u>96,73</u>	<u>95,36</u>	<u>88,68</u>
	59,89	74,29	71,97	70,80
вагон з візками моделі 68-7007				
$\bar{\sigma}$	<u>50,52</u>	<u>56,65</u>	<u>60,43</u>	<u>58,38</u>
	35,72	41,37	45,91	50,26
σ_{max}^e	<u>66,87</u>	<u>79,97</u>	<u>77,69</u>	<u>80,95</u>
	57,37	64,41	63,87	72,99
σ_{max}^H	<u>70,57</u>	<u>81,14</u>	<u>74,75</u>	<u>75,68</u>
	55,25	67,32	63,26	72,43

Таблиця 34 – Середні ($\bar{\sigma}$), максимальні ймовірні (σ_{\max}^e) і максимальні що спостерігалися (σ_{\max}^H) значення напружень у крайках підшви рейки (МПа) у кривій ділянці колії R=600 м на внутрішній нитці для навантажених вагонів

	Швидкості, км/год			
	5	25	50	60
вагон на візках моделі 68-4065				
$\bar{\sigma}$	<u>75,00</u> 65,88	<u>73,60</u> 64,37	<u>65,86</u> 57,22	<u>60,83</u> 50,28
σ_{\max}^e	<u>104,30</u> 96,52	<u>95,01</u> 92,09	<u>93,52</u> 87,34	<u>86,88</u> 77,78
σ_{\max}^H	<u>99,43</u> 87,46	<u>94,37</u> 102,40	<u>100,60</u> 83,82	<u>85,10</u> 80,82
вагон з візками моделі 68-7007				
$\bar{\sigma}$	<u>91,29</u> 66,81	<u>85,75</u> 64,43	<u>78,07</u> 57,40	<u>79,36</u> 50,37
σ_{\max}^e	<u>128,10</u> 96,65	<u>113,18</u> 83,68	<u>111,50</u> 80,71	<u>114,90</u> 74,55
σ_{\max}^H	<u>138,20</u> 90,44	<u>115,70</u> 91,60	<u>113,20</u> 80,82	<u>109,60</u> 75,43

Таблиця 35 – Середні ($\bar{\sigma}$), максимальні ймовірні (σ_{\max}^e) і максимальні що спостерігалися (σ_{\max}^H) значення напружень у крайках підшви рейки (МПа) у кривій ділянці колії R=600 м на зовнішній нитці для порожніх вагонів

	Швидкості, км/год			
	5	25	50	60
вагон на візках моделі 68-4065				
$\bar{\sigma}$	<u>39,34</u> 31,09	<u>44,44</u> 35,05	<u>47,65</u> 37,57	<u>49,53</u> 47,70
σ_{\max}^e	<u>67,84</u> 55,52	<u>75,81</u> 61,66	<u>87,71</u> 65,59	<u>84,47</u> 70,09
σ_{\max}^H	<u>56,31</u> 47,12	<u>83,03</u> 66,26	<u>102,30</u> 67,10	<u>86,43</u> 63,75
вагон з візками моделі 68-7007				
$\bar{\sigma}$	<u>46,82</u> 28,42	<u>50,24</u> 34,26	<u>49,57</u> 39,51	<u>52,91</u> 42,09
σ_{\max}^e	<u>72,76</u> 49,59	<u>77,93</u> 61,40	<u>79,67</u> 72,77	<u>85,10</u> 68,73
σ_{\max}^H	<u>65,39</u> 42,07	<u>89,74</u> 72,97	<u>94,77</u> 78,00	<u>98,85</u> 65,59

Таблиця 36 – Середні ($\bar{\sigma}$), максимальні ймовірні (σ_{\max}^e) і максимальні що спостерігалися (σ_{\max}^H) значення напружень у крайках підшви рейки (МПа) у кривій ділянці колії R=600 м на внутрішній нитці для порожніх вагонів

	Швидкості, км/год			
	5	25	50	60
вагон на візках моделі 68-4065				
$\bar{\sigma}$	<u>64,58</u>	<u>59,35</u>	<u>51,19</u>	<u>49,11</u>
	51,01	48,44	42,68	37,46
σ_{\max}^e	<u>94,88</u>	<u>92,04</u>	<u>82,32</u>	<u>85,82</u>
	82,36	79,10	74,80	67,65
σ_{\max}^H	<u>87,76</u>	<u>84,79</u>	<u>75,18</u>	<u>72,72</u>
	75,55	72,37	68,96	68,36
вагон з візками моделі 68-7007				
$\bar{\sigma}$	<u>79,30</u>	<u>76,69</u>	<u>63,87</u>	<u>60,37</u>
	50,22	46,19	39,16	34,30
σ_{\max}^e	<u>124,80</u>	<u>121,20</u>	<u>106,20</u>	<u>103,90</u>
	83,16	80,65	69,77	63,81
σ_{\max}^H	<u>115,60</u>	<u>109,70</u>	<u>96,71</u>	<u>95,79</u>
	80,89	80,71	66,14	62,98

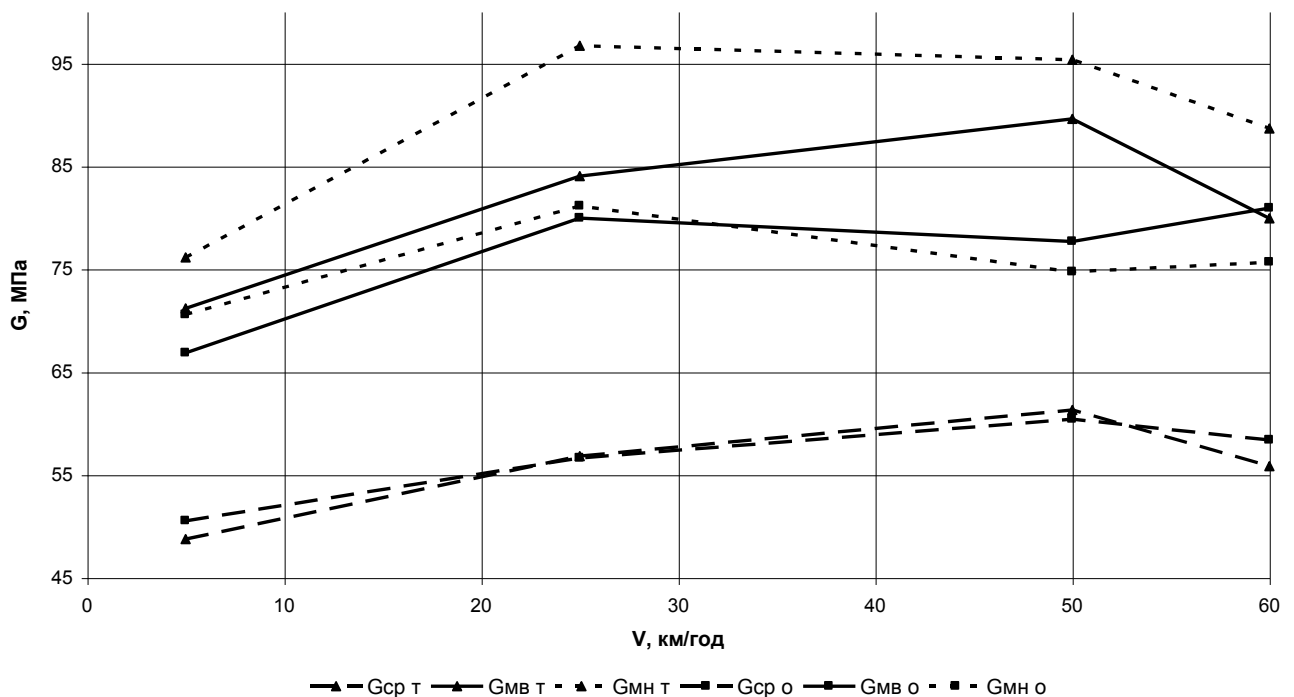


Рисунок 3.42 – Залежність напружень в крайках підшви рейки, що виникають на зовнішній рейковій нитці від швидкості руху дослідного складу для набігаючих осей для навантажених вагонів

У результаті аналізу можна зробити наступні висновки:

Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата
------	------	----------	---------	------

– значення напружень, отримані в результаті всієї серії випробувань, не перевищили граничне допустиме значення 240 МПа;

– у обох вагонів незалежно від того навантажені чи порожні середні значення напружень у кромках підшви рейок приблизно однакові.

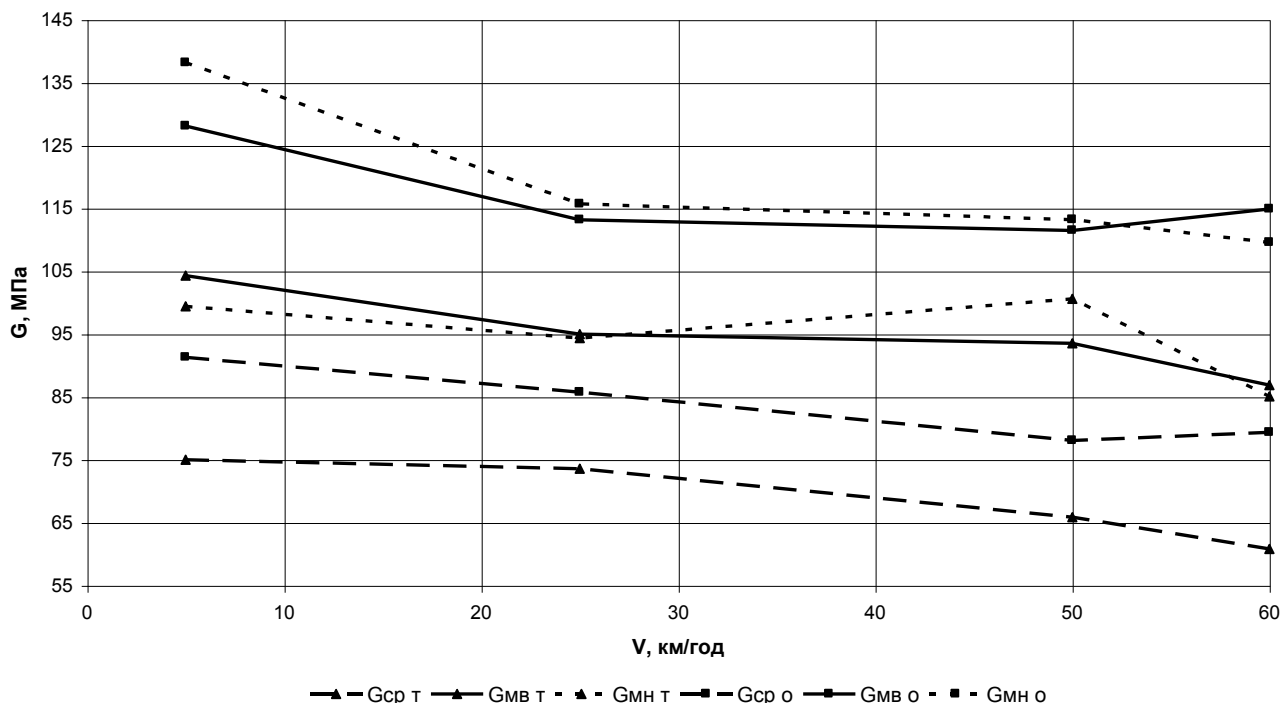


Рисунок 3.43 – Залежність напружень у кромках підшви рейки, що виникають на внутрішньої рейкової нитки від швидкості руху дослідного складу для набігаючих осей для навантажених вагонів

Аналіз напружень та деформацій стрілочного переводу типу Р65 марки 1/11 під впливом дослідних вагонів

Випробування пасажирського вагона з дослідними візками 68-7007 проводились на стрілочному переводі типу Р65 М1/11 на залізобетонних брусах.

Для визначення показників динаміки дослідних вагонів був сформований состав з двох електровозів, пасажирського вагона на візках 68-7007, вагон з візками 68-4065 і вагона-лабораторії УкрНДІВ з французькими візками Y-32.

Перевід був обладнаний тензометричними приладами для виміру напружень у кромках підшви гостряків, рамних рейок і рейок перевідної кривої (по зовнішній і внутрішній кромках), вертикальних і бічних сил, а також приладами для вимірювань вертикальних й горизонтальних переміщень рейок.

Процес взаємодії рухомого складу та стрілочного переводу при пошерстном і протишерстном русі состава різний, а значить в них створюються різні напруження і реакції, тому при аналізуванні отриманих експериментальних даних стрілочний перевід був умовно розділений на чотири частини:

- рамні рейки;
- гостряк;
- зовнішня нитка перевідної кривої;
- внутрішня нитка перевідної кривої.

Аналіз крайкових напружень у подошві рейок

Найбільші напруження в рамних рейках були зафіксовані від набігаючи (набігаючих) коліс, в зовнішніх кромках при пошерстном русі екіпажа (таблиця 37).

Вагон з візками 68-4065:

- середні – 126,8 МПа;
- максимальні ймовірні – 151,0 МПа;
- максимальні що спостерігалися – 145,4 МПа.

Вагон-лабораторія (візки У-32):

- середні – 118,7 МПа;
- максимальні ймовірні – 157,6 МПа;
- максимальні що спостерігалися – 150,6 МПа.

Дослідний вагон:

- середні – 119,3 МПа;
- максимальні ймовірні – 150,4 МПа;
- максимальні що спостерігалися – 145,2 МПа.

При протишерстном напрямку напруження в рамних рейках були фактично однакові як від впливу набігаючих так і ненабігаючих коліс усіх вагонів, і не перевищували 105 МПа (рисунок 3.44).

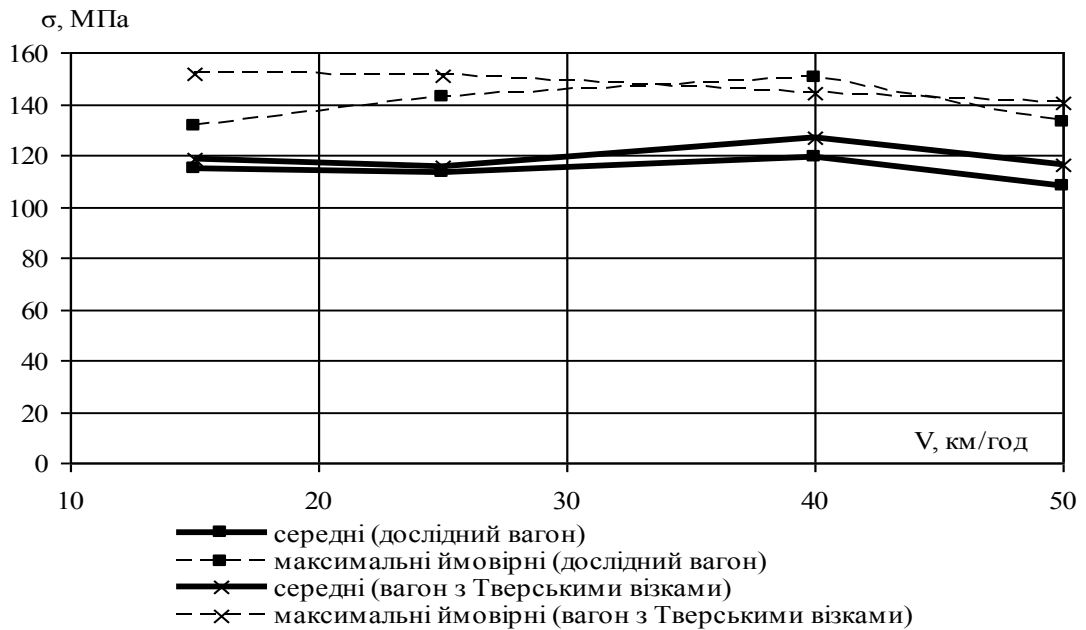


Рисунок 3.44 – Значення напружень, виникаючих у зовнішній кромці рамних рейок

У гостряку крайкові напруження, виникаючі під впливом набігаючих коліс вагона на візках 68-7007 були до 35 % більші чим від впливу інших вагонів дослідного состава (рисунок 3.45):

- середні – 88,1 МПа;
- максимальні ймовірні – 134,9 МПа;
- максимальні що спостерігалися – 113,5 МПа.

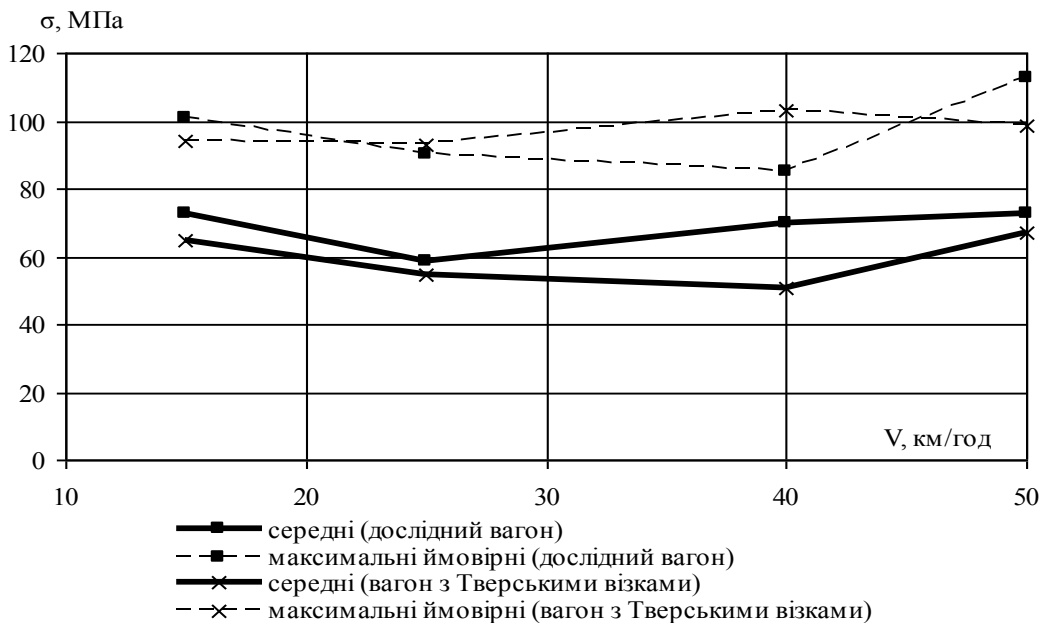


Рисунок 3.45 – Значення напружень, виникаючих у кромці криволінійного гостряка

Напруження, виникаючі в кромках гостряка від коліс, що ненабігають, були фактично однакові по усіх вагонах і не перевищували 60 МПа (таблиця 37).

Таблиця 37 – Середні ($\bar{\sigma}$), максимальні ймовірні ($\sigma_{\max}^{\text{ймов}}$) і максимальні що спостерігалися ($\sigma_{\max}^{\text{сп}}$) значення в елементах стрілочного переводу типу Р65 М 1/11

№№ вагонів ¹⁾	Вісі ²⁾	Значення напружень у кромках підшви рейок σ (МПа) при швидкостях руху в км/год											
		15			25			40			50		
		$\bar{\sigma}$	$\sigma_{\max}^{\text{ймов}}$	$\sigma_{\max}^{\text{сп}}$	$\bar{\sigma}$	$\sigma_{\max}^{\text{ймов}}$	$\sigma_{\max}^{\text{сп}}$	$\bar{\sigma}$	$\sigma_{\max}^{\text{ймов}}$	$\sigma_{\max}^{\text{сп}}$	$\bar{\sigma}$	$\sigma_{\max}^{\text{ймов}}$	$\sigma_{\max}^{\text{сп}}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Рамні рейки ³⁾													
№ 14977	1	63,5	82,8	79,6	58,2	69,4	63,7	60,8	81,2	74,0	56,3	80,4	68,0
		118,2	151,5	140,6	115,5	151,0	145,4	126,8	144,1	138,1	115,9	140,5	134,4
	2	68,7	94,6	101,9	70,4	99,1	93,4	67,3	98,8	86,1	63,2	93,5	86,8
		67,3	87,3	87,0	71,0	94,7	84,9	73,1	96,7	91,5	70,4	91,2	84,0
№ 72066	1	64,3	79,8	75,4	61,0	80,4	82,2	67,0	95,0	95,5	57,0	80,0	71,2
		108,4	124,8	120,4	110,7	135,9	129,4	118,7	157,6	150,6	108,7	134,6	132,0
	2	66,4	92,4	101,9	67,4	89,4	86,5	71,5	95,1	95,5	64,5	86,5	79,2
		65,4	80,2	74,8	69,6	92,9	86,9	71,2	93,5	84,0	68,8	92,7	86,7
№ 12725	1	70,0	96,5	102,4	71,7	94,8	89,1	75,1	94,8	91,0	67,1	86,3	80,4
		114,6	131,1	125,3	113,3	142,4	131,1	119,3	150,4	145,2	108,1	133,0	115,3
	2	63,9	76,3	74,8	65,6	78,8	76,4	71,3	92,2	93,7	65,3	87,3	80,0
		62,6	74,4	70,0	67,5	85,0	79,7	76,0	99,7	92,3	72,9	91,6	90,4
Гостряк													
№ 14977	1	64,8	94,2	85,7	54,7	92,8	74,7	50,6	103,0	82,2	66,9	98,5	82,3
		72,6	93,6	86,5	67,2	87,5	82,3	62,1	75,6	71,4	63,8	90,8	81,9
	2	29,2	42,4	38,2	24,5	44,0	40,7	16,8	35,0	25,4	26,0	51,2	37,4
		33,9	44,0	40,1	30,9	45,8	42,2	17,2	39,8	27,1	20,9	39,3	30,7
№ 72066	1	64,0	84,7	77,0	53,8	76,5	64,2	33,5	53,0	51,5	52,4	85,8	75,9
		79,2	113,3	99,8	74,9	108,4	95,44	73,4	89,8	85,1	74,9	99,5	96,6
	2	38,4	52,8	50,2	31,9	49,0	46,5	19,6	34,2	29,0	32,2	53,4	41,2
		40,3	52,4	53,7	36,2	44,6	40,7	20,7	44,2	39,2	29,4	42,5	37,4
№ 12725	1	72,6	100,9	85,7	58,8	90,2	81,4	70,0	85,3	80,6	72,4	112,7	93,8
		88,1	134,9	113,5	81,6	123,5	108,1	70,0	86,0	80,9	77,9	105,9	98,5
	2	37,3	52,2	50,9	29,4	45,8	35,5	18,3	32,0	31,8	33,3	57,2	45,9
		38,0	45,4	43,6	34,7	42,8	39,3	21,8	37,9	32,7	27,01	39,7	32,8

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
З'єднувальна частина													
№ 14977	1	95,4	141,9	149,4	87,9	113,8	105,4	160,7	193,1	187,6	163,3	191,9	184,2
		93,0	115,6	116,3	91,0	116,5	108,8	148,0	183,1	173,1	153,9	180,8	173,8
	2	65,4	103,4	106,7	59,3	82,4	72,8	109,3	128,7	123,8	120,4	136,4	132,3
		55,5	75,4	71,8	60,5	73,9	69,8	103,3	129,9	119,9	108,5	125,1	118,7
№ 72066	1	90,9	130,6	131,2	86,6	109,9	100,0	144,9	179,0	168,6	146,3	195,0	194,5
		92,4	120,1	115,4	88,3	120,4	106,3	139,7	181,8	166,9	144,3	175,9	170,4
	2	69,5	109,5	110,2	60,0	90,7	77,0	109,0	131,1	123,8	116,1	133,3	126,4
		63,5	91,1	82,3	61,3	102,2	87,0	110,2	152,4	134,7	120,7	175,3	156,0
№ 12725	1	102,0	148,8	150,2	98,5	122,0	114,2	155,4	176,6	171,6	154,1	170,6	165,2
		100,1	119,6	113,2	95,1	121,6	105,9	150,5	175,2	169,5	163,8	182,5	178,5
	2	67,1	109,4	108,3	61,8	87,4	84,1	124,1	150,8	146,2	128,2	145,5	138,0
		66,6	88,7	77,1	62,8	92,9	76,1	115,1	138,4	135,9	127,0	145,5	138,0

Примітки:

1 № 14977 – вагон з візками 68-4065; № 72066 – вагон-лабораторія з французькими візками Y-32; № 12725 – дослідний вагон

2 Цифрою 1 позначаються набігаючі осі вагона, цифрою 2 – ненабігаючі

3 У чисельнику протишерстний напрямок, у знаменнику – по шерстний

При визначенні напружень у кромках подошви рейок перевідної кривої окремо розглядалась зовнішня рейка від внутрішньої.

Експериментальні напруження від впливу вагонів наступні (зовнішня рейка):

вагон з візками 68-4065:

- середні – 160,7 МПа;
- максимальні ймовірні – 193,1 МПа;
- максимальні що спостерігалися – 187,6 МПа;

вагон-лабораторія (візки Y-32):

- середні – 146,3 МПа;
- максимальні ймовірні – 195,0 МПа;
- максимальні що спостерігалися – 194,5 МПа;

дослідний вагон:

- середні – 163,8 МПа;

					0053-216511-ДП-2022-001	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		
					90	

- максимальні ймовірні – 182,5 МПа;
- максимальні що спостерігалися – 178,5 МПа.

У кромках підшви внутрішньої рейки виникаючі напруження в кілька разів менше.

Визначення бокових сил, що передаються від екіпажів на рейки, і бокових віджимань рейок.

Крім напружень у рамних рейках і в перевідній кривій вимірялися горизонтальні сили й горизонтальні переміщення рейки. Бічні сили розраховувалися за методом Єршкова О.П.

Найбільші значення горизонтальних сил у рамних рейках були зафіксовані під набігаючими колесами вагонів у пошерстном напрямку (таблиця 38).

Вагон з візками 68-4065:

- середні – 51,3 кН;
- максимальні ймовірні – 70,6 кН;
- максимальні що спостерігалися – 64,3 кН.

Вагон-лабораторія (візки У-32):

- середні – 46,9 кН;
- максимальні ймовірні – 70,2 кН;
- максимальні що спостерігалися – 65,8 кН.

Дослідний вагон:

- середні – 57,0 кН;
- максимальні ймовірні – 78,0 кН;
- максимальні що спостерігалися – 67,9 кН.

Аналізуючи отримані результати горизонтальних сил в передньому вильоті стрілочного переводу (таблиця 38) можна зробити висновок, що вони не перевищували значення, що рекомендується, а саме 100 кН.

Аналогічний висновок можна зробити при розгляді горизонтальних сил виникаючих у з'єднувальній частині переводу (рисунок 3.47).

Від впливу ненабігаючих осей горизонтальні сили складали 10...30% від дії набігаючих.

					0053-216511-ДП-2022-001	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		91

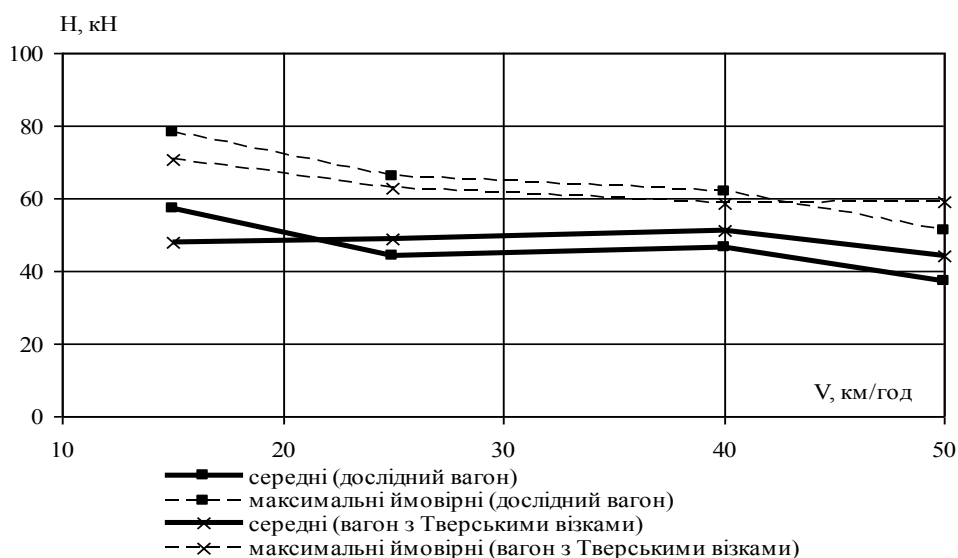


Рисунок 3.46 – Значення горизонтальних сил, виникаючих під набігаючими осями в рамних рейках стрілочного переводу (пошерстний напрямок)

Таблиця 38 – Середні (\bar{H}), максимальні ймовірні ($H_{\max}^{\text{ймов}}$) і максимальні що спостерігалися ($H_{\max}^{\text{сп}}$) значення горизонтальних сил (кН) в елементах стрілочного переводу типу Р65 марки 1/11 від набігаючих осей

№№ вагонів ¹⁾	Значення бокових сил (H) при швидкостях руху в км/год											
	15			25			40			50		
	\bar{H}	$H_{\max}^{\text{ймов}}$	$H_{\max}^{\text{сп}}$	\bar{H}	$H_{\max}^{\text{ймов}}$	$H_{\max}^{\text{сп}}$	\bar{H}	$H_{\max}^{\text{ймов}}$	$H_{\max}^{\text{сп}}$	\bar{H}	$H_{\max}^{\text{ймов}}$	$H_{\max}^{\text{сп}}$
Рамні рейки (пошерстний напрямок)												
№ 14977	47,8	70,6	64,3	48,7	62,7	59,1	51,3	58,4	59,9	44,4	59,3	49,4
№ 72066	44,0	64,9	51,1	44,0	66,0	53,3	46,9	70,2	65,8	40,9	57,2	55,4
№ 12725	57,0	78,0	67,9	44,0	66,0	53,3	46,6	62,0	57,8	37,3	51,2	45,7
З'єднувальна частина ²⁾												
№ 14977	45,2	64,9	61,2	39,4	60,8	56,9	61,8	77,3	74,2	54,5	85,1	71,8
	34,4	52,7	45,9	35,5	64,1	56,3	53,6	78,4	69,4	49,5	81,0	70,6
№ 72066	37,4	57,5	49,2	38,7	56,8	52,8	50,4	76,6	69,8	48,2	83,4	74,6
	32,8	68,1	54,2	28,9	59,4	50,0	44,2	77,0	66,0	41,5	76,3	66,3
№ 12725	52,1	83,7	71,2	44,8	59,1	53,4	54,6	64,8	60,9	50,5	68,6	61,3
	45,9	59,7	57,4	36,6	53,5	48,7	50,5	60,9	58,1	50,8	79,0	62,2

Примітки:

1 № 14977 – вагон з візками 68-4065; № 72066 – вагон-лабораторія з французькими візками У-32; № 12725 – дослідний вагон

2 У чисельнику протишерстний напрямок, у знаменнику – по шерстний

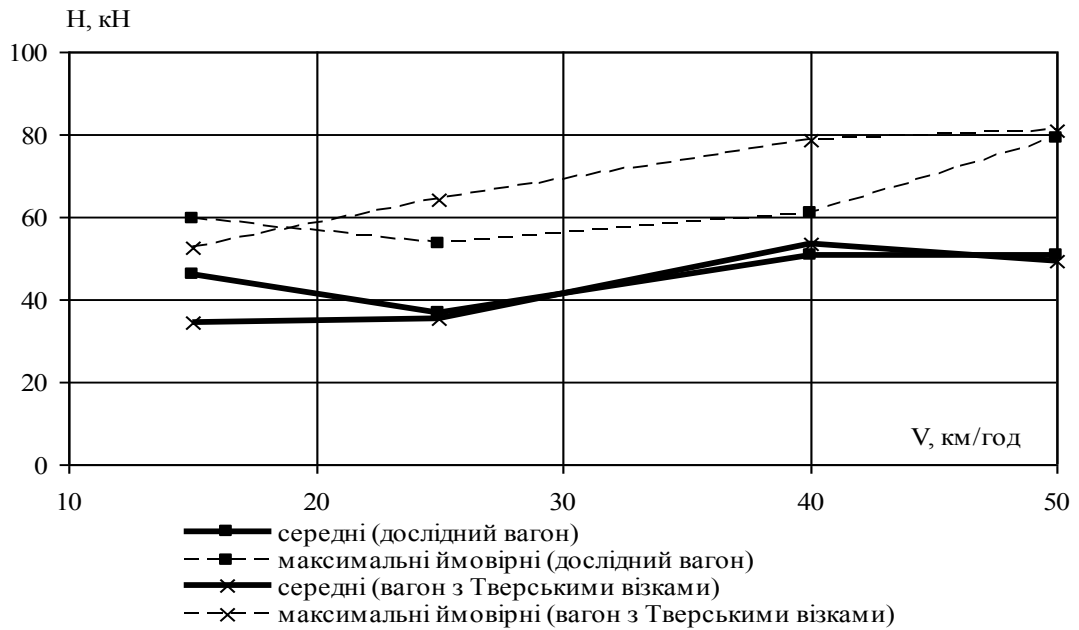


Рисунок 3.47 – Значення горизонтальних сил виникаючих під набігаючими осями в з'єднувальній частині стрілочного перевалу

Горизонтальні переміщення рейок під вагонами з різними візками при пошерстному і протишерстному напрямках були фактично однакові і не перевищували 4 мм.

Аналіз вертикальних сил, що передаються від екіпажів на рейки, і вертикальних прогинів рейок

Також у рамних рейках і в рейках перевідної кривої вимірялися вертикальні сили і прогини рейок (таблиця 39 і 40).

Найбільші зафіксовані динамічні вертикальні сили виникаючі в стрілочному переводі від впливу вагонів були наступними.

Вагон з візками 68-4065:

- середні – 101,7 кН;
- максимальні ймовірні – 130,3 кН;
- максимальні що спостерігалися – 129,6 кН.

Вагон-лабораторія (візки У-32):

- середні – 97,6 кН;
- максимальні ймовірні – 129,9 кН;
- максимальні що спостерігалися – 117,5 кН.

Дослідний вагон:

- середні – 103,6 кН;
- максимальні ймовірні – 121,4 кН;
- максимальні що спостерігалися – 126,6 кН.

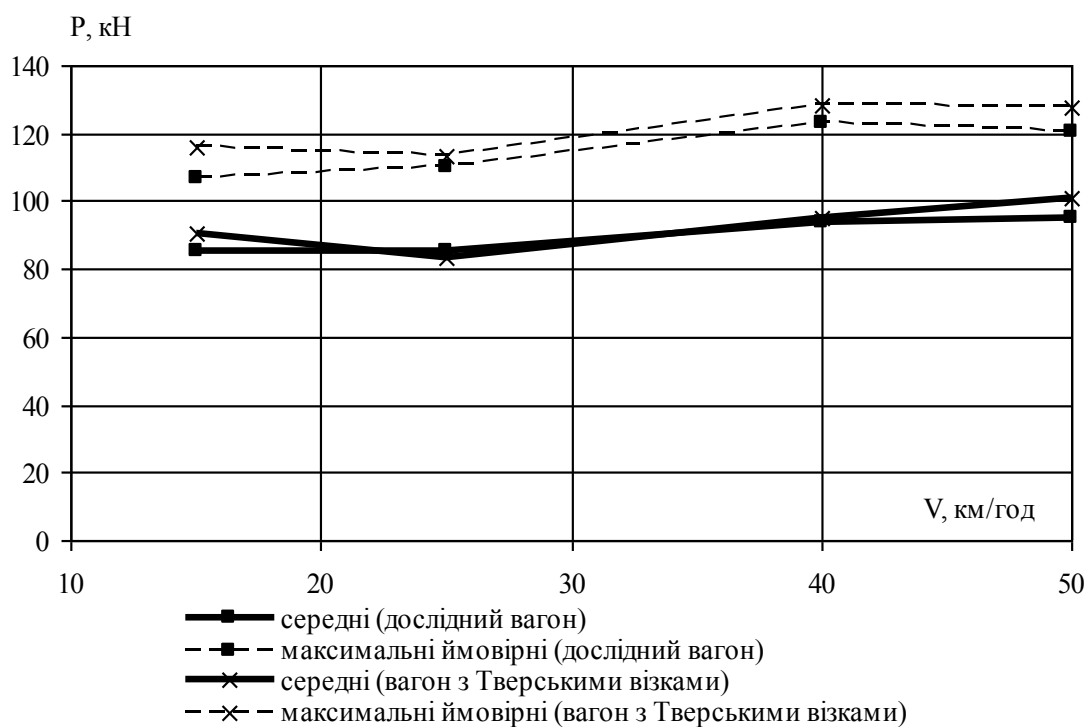


Рисунок 3.48 – Значення вертикальних сил, виникаючих під набігаючими колесами в з'єднувальній частині стрілочного переходу

Таблиця 39 – Середні (\bar{P}), максимальні ймовірні ($P_{\max}^{\text{ймов}}$) і максимальні що спостерігалися ($P_{\max}^{\text{сп}}$) значення вертикальних сил (кН) в елементах стрілочного переходу типу Р65 марки 1/11

№№ вагонів ¹⁾	Вісі ²⁾	Значення вертикальних сил (P) при швидкостях руху в км/год												
		15			25			40			50			
		\bar{P}	$P_{\max}^{\text{ймов}}$	$P_{\max}^{\text{сп}}$	\bar{P}	$P_{\max}^{\text{ймов}}$	$P_{\max}^{\text{сп}}$	\bar{P}	$P_{\max}^{\text{ймов}}$	$P_{\max}^{\text{сп}}$	\bar{P}	$P_{\max}^{\text{ймов}}$	$P_{\max}^{\text{сп}}$	
Рамні рейки ³⁾														
№ 1497	1	86,8	112,0	113,3	90,6	120,9	111,1	80,0	110,3	100,4	82,0	117,6	108,0	
		80,5	116,0	103,8	85,4	117,3	109,7	90,1	117,5	114,4	100,7	123,1	112,2	
	7	2	88,6	107,7	106,2	85,4	119,5	120,1	86,8	105,6	99,1	82,1	105,0	104,6
			79,1	111,3	102,5	83,2	113,8	111,3	84,3	117,7	107,3	94,3	126,4	115,0
№ 7206	1	76,3	100,4	96,7	83,2	112,7	105,5	73,1	102,3	91,2	73,1	100,5	92,9	
		79,3	114,5	101,9	70,8	91,8	87,3	81,6	105,0	100,3	88,2	113,5	103,8	
	6	2	74,6	100,9	96,1	81,1	111,0	103,4	69,3	91,3	89,7	71,0	92,0	87,7

		72,1	103,2	92,4	72,5	92,0	88,0	77,1	103,9	99,6	87,4	129,9	113,8
№ 1272	1	83,8	112,1	104,5	92,8	121,6	118,6	88,1	112,8	113,6	88,8	117,4	109,4
		81,9	118,4	101,2	86,1	108,0	107,3	92,9	118,0	111,3	98,8	125,5	117,3
5	2	85,3	100,9	97,7	86,9	120,9	116,6	78,3	91,8	88,0	84,8	114,9	106,6
		78,3	110,7	98,1	78,3	100,5	94,0	91,8	123,0	117,9	99,3	125,7	119,4
З'єднувальна частина													
№ 1497	1	90,4	116,1	109,9	83,4	113,6	108,5	95,2	128,4	117,2	101,2	127,7	120,3
		84,3	105,7	106,3	74,8	93,0	89,4	86,3	106,8	100,2	85,8	101,4	95,6
7	2	90,1	120,1	119,1	82,8	103,8	99,2	91,3	130,3	129,6	93,2	107,2	105,9
		88,6	122,1	111,4	91,4	111,7	104,9	97,0	125,4	120,7	101,7	120,9	115,6
№ 7206	1	75,0	94,3	90,5	70,7	96,6	88,5	79,5	99,8	99,5	82,7	117,5	117,7
		77,1	101,2	91,2	71,2	88,8	88,1	76,1	101,7	93,9	80,5	106,7	111,0
6	2	87,1	113,1	105,1	79,9	100,6	92,3	83,0	102,1	102,2	90,4	112,1	106,6
		78,1	103,2	99,2	79,6	105,2	97,7	97,6	112,0	100,9	84,5	115,1	117,5
№ 1272	1	85,2	106,5	105,1	85,6	109,8	107,5	93,5	122,9	116,5	94,9	120,4	112,6
		76,6	96,6	85,8	77,9	96,6	91,4	88,2	108,1	101,6	93,5	105,0	101,8
5	2	92,0	120,3	116,5	91,1	113,9	106,8	100,6	123,5	114,3	103,6	126,6	121,4
		84,3	109,8	99,8	90,2	116,0	110,4	94,9	111,7	108,0	98,2	112,8	113,0

Примітки:

- 1 № 14977 – вагон з візками 68-4065; № 72066 – вагон-лабораторія з французькими візками Y-32; № 12725 – дослідний вагон
- 2 Цифрою 1 позначаються набігаючі осі вагона, цифрою 2 – ненабігаючі
- 3 У чисельнику протишерстний рух, у знаменнику – пошерстний

Вертикальні прогини рейкових ниток перевідної кривої були однакові як від впливу набігаючих осей, так і від ненабігаючих осей усіх вагонів. Вони не перевищували 6 мм (таблиця 40).

Таблиця 40 – Середні (\bar{z}), максимальні ймовірні ($z_{\max}^{\text{ймов}}$) і максимальні що спостерігалися ($z_{\max}^{\text{сп}}$) значення вертикальних прогинів рейок (мм) в елементах стрілочного переводу типу Р65 марки 1/11

№№ вагонів ¹⁾	Вісі ²⁾	Значення вертикальних прогинів (z) при швидкостях руху в км/Г											
		15			25			40			50		
		\bar{z}	$z_{\max}^{\text{ймов}}$	$z_{\max}^{\text{сп}}$	\bar{z}	$z_{\max}^{\text{ймов}}$	$z_{\max}^{\text{сп}}$	\bar{z}	$z_{\max}^{\text{ймов}}$	$z_{\max}^{\text{сп}}$	\bar{z}	$z_{\max}^{\text{ймов}}$	$z_{\max}^{\text{сп}}$
Рамні рейки ³⁾													
№ 14977	1	3,8	4,1	4,0	3,6	4,1	4,0	3,8	4,3	4,2	3,7	5,3	4,1
		3,8	4,0	4,0	3,4	5,2	3,9	4,0	4,3	4,2	4,0	4,6	4,4
	2	4,0	4,3	4,2	3,7	4,2	4,1	3,9	4,4	4,3	3,7	5,3	4,3
		4,0	4,4	4,2	3,6	5,5	4,1	4,2	4,6	4,5	4,2	4,8	4,6
№ 72066	1	3,8	4,1	4,1	3,5	4,0	3,9	4,0	4,5	4,3	3,7	5,5	4,2
		3,8	4,1	4,1	3,5	4,9	3,8	3,9	4,3	4,2	3,8	4,3	4,1
	2	3,9	4,3	4,1	3,6	4,1	4,1	3,9	4,4	4,3	3,7	5,4	4,3
		3,9	4,4	4,2	3,7	5,2	4,2	4,1	4,6	4,6	4,0	4,6	4,4
№ 12725	1	4,0	4,3	4,2	3,7	4,3	4,2	4,2	4,8	4,5	3,9	5,8	4,5
		3,7	4,1	3,9	3,7	4,1	3,9	4,0	4,5	4,4	3,9	4,5	4,3
	2	4,0	4,3	4,2	3,7	4,3	4,1	4,1	4,6	4,4	3,9	5,6	4,5
		4,0	4,4	4,3	3,9	4,3	4,2	4,3	4,8	4,7	4,1	4,8	4,5
З'єднувальна частина													
№ 14977	1	2,9	3,2	3,2	3,0	3,4	3,2	2,9	3,3	3,2	2,9	3,3	3,2
		2,5	2,8	2,8	2,5	2,8	2,8	2,5	2,8	2,8	2,6	2,9	2,9
	2	2,7	2,8	2,8	2,8	3,0	2,9	2,7	2,9	2,9	2,8	3,0	3,0
		2,9	3,3	3,3	2,9	3,2	3,1	2,8	3,1	3,1	2,8	3,1	3,0
№ 72066	1	2,7	2,9	2,9	2,7	3,0	2,5	2,7	2,9	2,9	2,8	3,0	2,9
		2,3	2,6	2,6	2,3	2,6	2,5	2,4	2,7	2,7	2,5	2,7	2,7
	2	2,6	2,8	2,7	2,7	2,9	2,8	2,6	2,8	2,8	2,7	2,8	2,8
		2,7	2,9	2,9	2,6	2,9	2,8	2,6	2,9	2,9	2,8	3,0	3,0
№ 12725	1	2,8	3,2	3,1	2,8	3,2	3,1	2,8	3,1	3,0	2,9	3,2	3,1
		2,5	2,8	2,7	2,5	2,8	2,8	2,5	2,8	2,8	2,6	2,7	2,7
	2	2,7	3,0	3,0	2,8	3,1	3,0	2,7	3,0	2,9	2,8	3,1	3,1
		2,8	3,0	3,0	2,8	3,1	3,0	2,8	3,1	3,1	2,9	3,1	3,1

Примітки:

- 1 № 14977 – вагон з візками 68-4065; № 72066 – вагон-лабораторія з французькими візками У-32; № 12725 – дослідний вагон
- 2 Цифрою 1 позначаються набігаючі осі вагона, цифрою 2 – ненабігаючі
- 3 У чисельнику протишерстний напрямок, у знаменнику – по шерстний

Також були зафіксовані наступні напруження в контрейкових болтах стрілочного переводу.

					0053-216511-ДП-2022-001	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		96

Вагон з візками 68-4065:

- максимальні ймовірні – 35,5 кН;
- максимальні що спостерігалися – 24,7 кН;

Вагон-лабораторія (візки У-32):

- максимальні ймовірні – 54,8 кН;
- максимальні що спостерігалися – 44,8 кН;

Дослідний вагон:

- максимальні ймовірні – 42,2 кН.
- максимальні що спостерігалися – 32,9 кН.

Отримані результати не перевищували розрахункове значення – 140 кН.

Аналізуючи виміри, отримані в результаті дослідження динамічного впливу на стрілочний перевід Р65 М1/11 можна зробити наступні висновки:

- напруження в рейках в передньому вильоті і з'єднувальній частині стрілочного переводу виникаючі під колесами дослідного вагона перевищували напруження виникаючі під колесами вагона з візками 68-4065 до 20 %;
- під дослідним вагоном напруження у крайках криволінійного гостряка були до 30 % більші, чим вагона з візками 68-4065;
- напруження в кромках подошви рейки від впливу дослідного составу не перевищували допустимі значення для рамних рейок та перевідної кривої – 240 МПа; для гостряка – 270 МПа;
- горизонтальні сили виникаючі під впливом вагонів не перевищували значення, що рекомендується, а саме 100 кН;
- горизонтальні переміщення рейок під вагонами з різними візками при пошерстном і протишерстном напрямках були фактично однакові і не перевищували 4 мм;
- вертикальні сили під колесами Крюковського вагону не перевищували 130 кН;
- вертикальні прогини під вагоном з візками 68-4065 і дослідним не перевищували 6 мм;

					0053–216511–ДП–2022-001	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		97

- зусилля в контрейкових болтах не перевищували розрахункове значення – 140 кН.

Отже, французькі візки Y-32 мають покращенні динамічні показники та показники напружено-деформованого стану колії. Тому для збільшення швидкості оцінки геометрії колії пропонується використовувати саме візки Y-32.

4. ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ КОЛІЄВИМІРЮВАЛЬНИХ ВАГОНІВ

У результаті виконаних експериментальних досліджень було встановлено:

1 Максимальні значення вертикальних сил від дії коліс вагонів з дослідними візками на рейки в прямих і кривих ділянках з рейками Р65 не перевищували 155 кН, максимальні ймовірні – 140 кН, середні – 108 кН. Зі зростанням швидкості максимальні вертикальні сили, що діють на колію, збільшуються. За цим показником вагони з дослідними візками практично не відрізняються від вагонів з типовими візками.

2 Динаміка зміни вертикальних прогинів рейок під дослідним рухомих складом в залежності від швидкості аналогічна змінам вертикальних сил, а їх максимальна величина не перевищувала 2 мм на колії з залізобетонними шпалами і 4,4 мм з дерев'яними шпалами. Величина вертикальних прогинів рейок Р65 на колії з залізобетонними шпалами зі скріпленням КПП та КБ під впливом вагону з дослідними візками були однаковими. За цим показником вагони з дослідними візками також практично не відрізняються від вагонів з типовими візками.

3 Горизонтальні віджимання головки рейок під впливом вагону з дослідними візками на колії з залізобетонними шпалами не перевищували 1,2 мм і 2,1 мм з дерев'яними, а під дією вагонів з типовими візками відповідно 1,5 та 2,4 мм. Ці віджимання не перевищують рекомендованих для рейок Р65 значень – 6 мм.

4 Сили бокової дії на рейки вагону з дослідними візками на колії з залізобетонними шпалами не перевищували 20,4 кН і 56 кН з дерев'яними

					0053-216511-ДП-2022-001	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		98

шпалами, а під дією вагонів з типовими візками відповідно 32 та 46 кН. Ці значення не перевищують допустимі 100 кН.

5 Напруження в рейках колії з залізобетонними шпалами під дією вагону з дослідними візками не перевищували 103 МПа (швидкість 160 км/год), а з дерев'яними шпалами 110 МПа (швидкість 60 км/год). Під дією вагонів з типовими візками відповідно 106 (швидкість 120 км/год) та 100 МПа (швидкість 50 км/год). Ці значення не перевищують допустимі 240 МПа.

Всебічний аналіз результатів проведених досліджень та результатів раніше виконаних досліджень дозволяють зробити наступні висновки та рекомендації:

1 Вертикальні сили і прогини, горизонтальні бокові сили та прогини, а також крайкові напруження в рейках Р65 під дією пасажирського вагону з дослідними візками при швидкостях руху до 160 км/год. приймають значення приблизно такі ж як і під дією пасажирського вагону з типовими візками. Відхилення в межах точності вимірів.

2 Горизонтальні віджимання головки рейок та їх вертикальний прогин на колії зі скріпленням КПП під дією пасажирських вагонів практично не відрізняються від відповідних параметрів на колії зі скріпленням КБ .

3 За результатами експериментальних досліджень та теоретичних розрахунків за умовами безпеки руху, міцності та стійкості рух пасажирських вагонів з візками 68-7007 по колії, що утримується в межах встановлених норм, з залізобетонними шпалами, рейками типу Р50, UIC60, Р65 та скріпленням КБ і КПП може здійснюватися зі швидкістю до 160 км/год (включно).

Отже, французькі візки Y-32 мають покращенні динамічні показники та показники напружено-деформованого стану колії. Тому для збільшення швидкості оцінки геометрії колії пропонується використовувати саме візки Y-32.

					0053–216511–ДП–2022-001	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		99

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Таким чином, до парку засобів діагностики колії України входить 13 колієвимірювальних вагонів: 3 колієвимірювальних вагони системи ЦНП-2, 1975-1979 років випуску та 10 колієвимірювальних вагонів КВЛ-П виробництва ВАТ «НВЦ ІНФОТРАНС», які були введені в експлуатацію протягом 2003 – 2008 років. Сьогодні парк колієвимірювальних вагонів потребує ремонту, вдосконалення та планового оновлення.

Вимірювання геометричних параметрів колії на ЦНП-2 і КВЛ-П виконується однаково, за допомогою гіросистеми, роликів і тросів. Різниця полягає у фіксації та оцінці відхилень. На КВЛ-П лінійні відхилення за допомогою спеціалізованих датчиків «сельсинів» перетворюються на електричні сигнали, які обробляються бортовою автоматизованою системою (БАС), яка автоматично розшифровує та оцінює відхилення та надає графічну діаграму кілометра з вісьмома вже оціненими відхиленнями колії. А на ЦНП-2 запис проходить механічним способом, і за допомогою стрижнів нерівності відображаються на стрічці, а розшифровуються записи інженером вагона.

Колієвимірювальні вагони системи ЦНП-2 сьогодні вже не відповідають сучасним вимогам до систем моніторингу колії, але експлуатуються, бо не вистачає колієвимірювальної техніки.

Технічний стан колієвимірювальних вагонів КВЛ-П дещо кращий. Але з 10 вагонів КВЛ-П лише два обладнані датчиками для вимірювання температури рейки, коротких нерівностей та ухилу поздовжнього профілю. А на чотирьох вагонах КВЛ-П програмне забезпечення, що контролює роботу бортової автоматизованої системи, досі працює на застарілій операційній системі "MS DOS".

Отже, половина колієвимірювальних вагонів АТ «Укрзалізниця» не відповідає вимогам європейських стандартів та принципам інтероперабельності.

Для вирішення даної проблеми в роботі було проаналізовано досвід європейських країн. Розв'язання питань інтероперабельності в області

					0053-216511-ДП-2022-001	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		100

моніторингу колії потребує перегляду параметрів контролю, методології їх оцінки, та способів їх реєстрації. Тому важливим питанням сьогодення у сфері взаємосумісності систем моніторингу стану колії вітчизняних та європейських залізниць є вдосконалення колієвимірювальних вагонів типу КВЛ-П.

Встановлено, що колієвимірювальні вагони типу КВЛ-П побудовані базі пасажирських вагонів і працюють на швидкості 60 км/год, європейські ж системи контролю типу «СПРИНТЕР» - самохідні працюють на швидкості 140 км/год. Для збільшення швидкості оцінки стану колії вітчизняними колієвимірювальними вагонами було досліджено динаміку пасажирського вагону з метою вибору більш стабільної конструкції візка.

Було проведено порівняльні випробування пасажирських вагонів на візках моделей 68-7007 (68-7012), 68-4065 (68-4066) та Y-32 за критерієм дії на колію та стрілочні переводи. Мета роботи - визначення експериментальним та розрахунковим шляхом напружено-деформованого стану залізничної колії під впливом пасажирських вагони на візках 68-7007 (68-7012), 68-4065 (68-4066) та Y-32 при різних швидкостях руху поїздів.

Випробовування проводились на ділянках колії Придніпровської та Південно-Західної залізниці: у прямій, у кривій з радіусом 1200 м, у кривій з радіусом 600 м, на стрілочному переводі типу Р65 марки 1/11. Дослідний склад для випробувань на ділянках 1-4 формувався з двох електровозів (ЧС2 або ЧС7) та трьох пасажирських вагонів (на візках 68-7007, на візках КВЗ-ЦНП та на візках Y-32) у порожньому стані та з імітаційним вантажем. Швидкості, з якими реалізувалися поїздки, сягали 140 км/год і більше.

Горизонтальні прогини вимірювалися за допомогою прогиномірів (ПГ), які кріпилися до штирів, що забивалися у баласт безпосередньо біля рейки. Прогиноміри включалися у ланцюг таким чином, що горизонтальному віджиманню рейки усередину колії на осцилограмі відповідає переміщення лінії запису вниз, а віджиманню назовні колії – нагору щодо нульової лінії, що зображує ненавантажене положення рейок.

					0053-216511-ДП-2022-001	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		101

Вертикальні сили, що діють від коліс на рейки, вимірялися за допомогою тензодатчиків (Ш), що наклеювалися вертикально в зоні нейтральної осі по обидва боки шийки рейки і включалися в спільну роботу. Показання цих датчиків записувалися через підсилювачі.

Для визначення бокових сил, що діють від рухомого складу на колію, прилади розташовувалися групами. Вимір напружень у зовнішній і внутрішній крайках підшви рейок здійснювалося за допомогою дровових датчиків з базою 20 мм і опором 200 Ом. Датчики наклеювалися практично біля самої крайки підшви по її нижній поверхні. У тих поперечних перерізах рейок, де розміщалися датчики крайкових напружень, вимірялися напруження в зовнішній грані головки рейок (Г) за допомогою аналогічних датчиків, що наклеювалися приблизно по середині головки.

У результаті виконаних експериментальних досліджень було встановлено:

1 Максимальні значення вертикальних сил від дії коліс вагонів з дослідними візками на рейки в прямих і кривих ділянках з рейками Р65 не перевищували 155 кН, максимальні ймовірні – 140 кН, середні – 108 кН. Зі зростанням швидкості максимальні вертикальні сили, що діють на колію, збільшуються. За цим показником вагони з дослідними візками практично не відрізняються від вагонів з типовими візками.

2 Динаміка зміни вертикальних прогинів рейок під дослідним рухомим складом в залежності від швидкості аналогічна змінам вертикальних сил, а їх максимальна величина не перевищувала 2 мм на колії з залізобетонними шпалами і 4,4 мм з дерев'яними шпалами. Величина вертикальних прогинів рейок Р65 на колії з залізобетонними шпалами зі скріпленням КПП та КБ під впливом вагону з дослідними візками були однаковими. За цим показником вагони з дослідними візками також практично не відрізняються від вагонів з типовими візками.

3 Горизонтальні віджимання головки рейок під впливом вагону з дослідними візками на колії з залізобетонними шпалами не перевищували 1,2 мм і 2,1 мм з дерев'яними, а під дією вагонів з типовими візками відповідно 1,5 та

					0053–216511–ДП–2022-001	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		102

2,4 мм. Ці віджимання не перевищують рекомендованих для рейок Р65 значень – 6 мм.

4 Сили бокової дії на рейки вагону з дослідними візками на колії з залізобетонними шпалами не перевищували 20,4 кН і 56 кН з дерев'яними шпалами, а під дією вагонів з типовими візками відповідно 32 та 46 кН. Ці значення не перевищують допустимі 100 кН.

5 Напруження в рейках колії з залізобетонними шпалами під дією вагону з дослідними візками не перевищували 103 МПа (швидкість 160 км/год), а з дерев'яними шпалами 110 МПа (швидкість 60 км/год). Під дією вагонів з типовими візками відповідно 106 (швидкість 120 км/год) та 100 МПа (швидкість 50 км/год). Ці значення не перевищують допустимі 240 МПа.

Отже, французькі візки Y-32 мають покращенні динамічні показники та показники напружено-деформованого стану колії. Тому для збільшення швидкості оцінки геометрії колії пропонується використовувати в конструкції колієвимірювальних вагонів саме візки Y-32, а для розширення технічних параметрів моніторингу та контролю динаміки вагону необхідно ввести в бортову систему вимірювання акселерометри, які зможуть контролювати горизонтальні прискорення та сили.

					0053–216511–ДП–2022-001	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		103

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Технічні вказівки щодо оцінки стану рейкової колії за показниками колієвимірювальних вагонів та забезпечення безпеки руху поїздів при відступах від норм утримання рейкової колії. ЦП-0267 № 033-Ц 01.05.2012 р.
2. <https://tvema.ru/>
3. Положення про організацію роботи колієвимірювальних візків. ЦП-0265. Затв.; наказ Укрзалізниці від 31.01.2012 № 032-Ц / М-во інфраструктури України, Держадміністрація залізничного транспорту України, Укрзалізниця, Головне управління колійного господарства, Державне підприємство Науково-конструкторське технологічне бюро колійного господарства. - К. : Поліграфсервіс, 2012. - 31 с.
4. Потапов Д.О., Сторчай В.Т. Засоби рейкової дефектоскопії для перспективних ділянок впровадження швидкісного руху на залізницях України <http://znp.kart.edu.ua>
5. M. Wanek. Railway Track & Structures, 2004, № 2, p. 22.
6. Положення про систему організації роботи, ремонту та обслуговування засобів дефектоскопії в колійному господарстві. ЦП-0264. Затв.; наказ Укрзалізниці від 11.01.2012 № 001-Ц / М-во інфраструктури України, Держадміністрація залізничного транспорту України, Укрзалізниця, Державне підприємство "Науково-конструкторське технологічне бюро колійного господарства". - К. : ТОВ НВП Поліграфсервіс, 2012. - 87 с.
7. Даніленко Е. І. Залізнична колія. Улаштування, проєктування і розрахунки, взаємодія з рухомим складом : підруч. для вищ. навч. закл. : у 2 т. / Е. І. Даніленко. – Київ: Інпрес, 2010.
8. Правила визначення підвищення зовнішньої рейки і встановлення допустимих швидкостей в кривих ділянках колії. ЦП-0236. Затверджено наказом від 14.12.2010 р. № 778-Ц.
9. Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України. ЦП-0269. – Київ, 2012. – 456 с.
10. СТП 01-005:2016. Рух пасажирських поїздів прискорений. Вимоги до інфраструктури та рухомого складу. Затверджено наказом ПАТ «Укрзалізниця» від 29.04. 2016 р. № 343. Київ. – С. 87.

					0053–216511–ДП–2022-001	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		104

ДОДАТОК 1

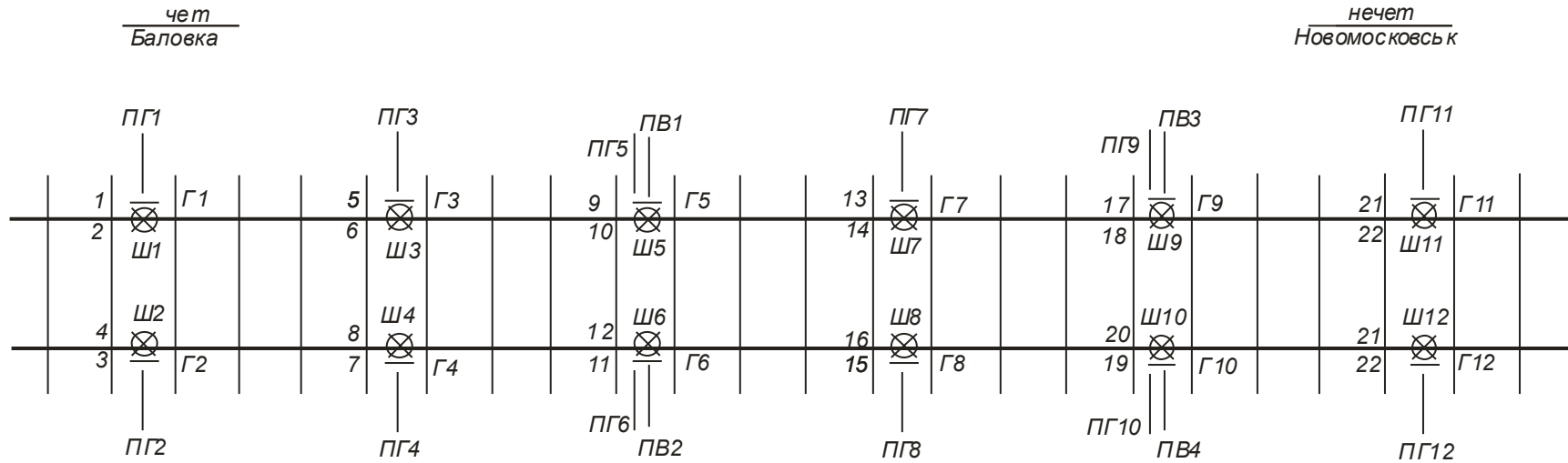


Рисунок Д.1 – Схема установки вимірювальних приладів на дослідній ділянці №1 (пряма Принд. Зал.)

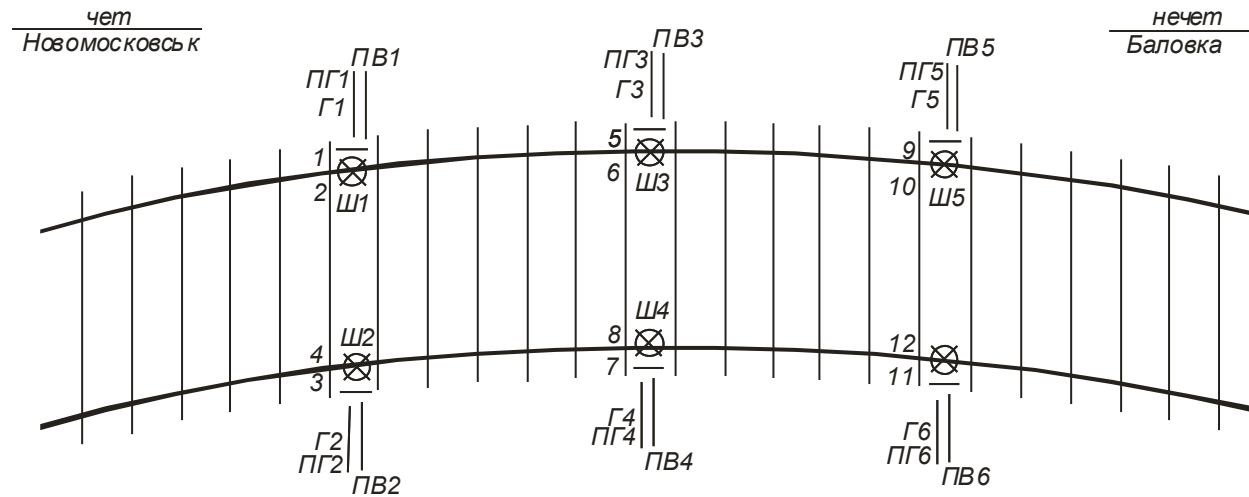


Рисунок Д.2 – Схема установки вимірювальних приладів на дослідній ділянці №2 (крива 1200 м)

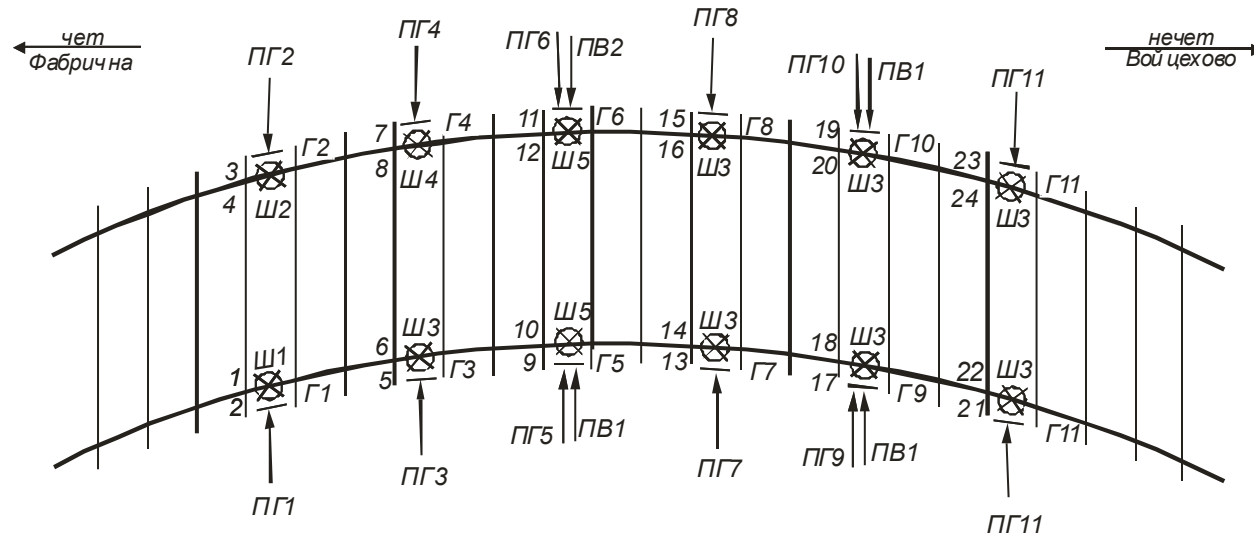


Рисунок Д.3 - Схема установки вимірювальних приладів на дослідній ділянці №3 (крива 600 м)

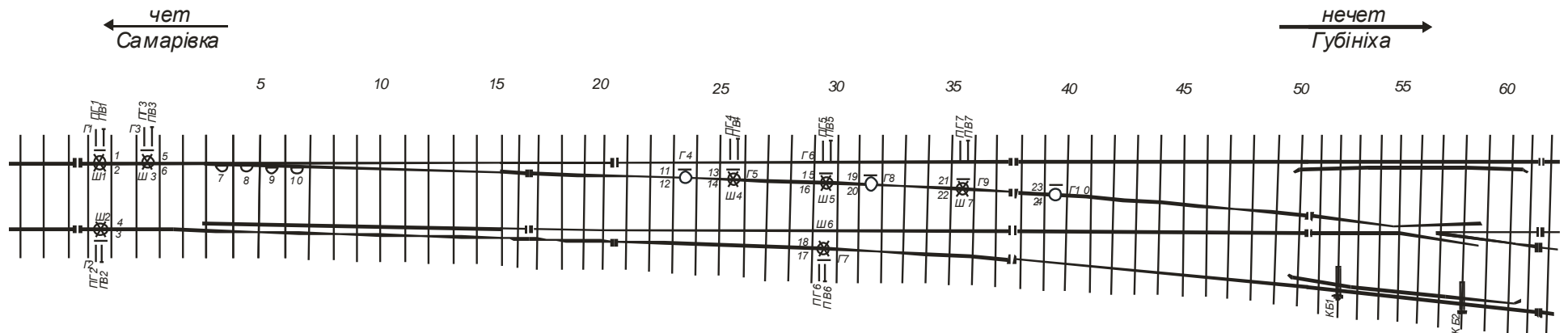


Рисунок Д.4 - Схема установки вимірювальних приладів на дослідній ділянці №4 (СП 1/11)

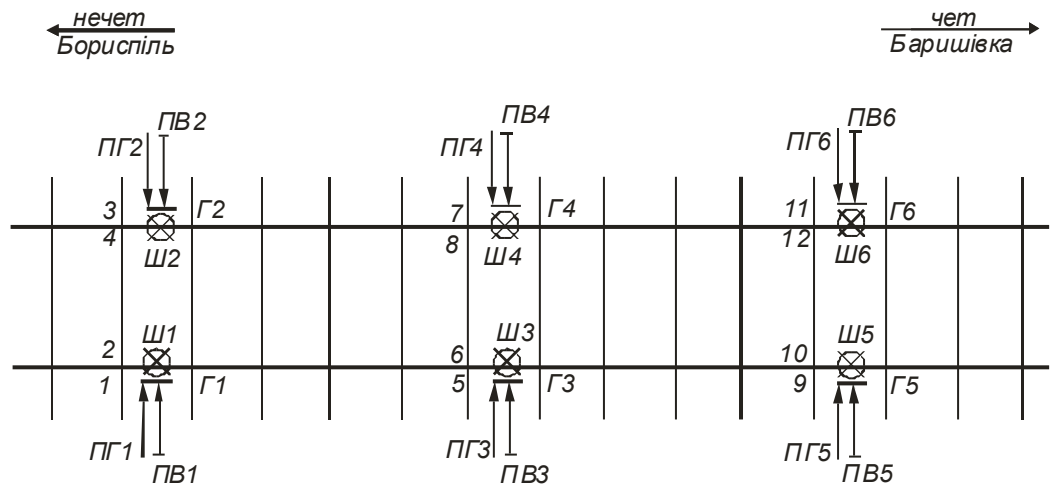


Рисунок Д.5 - Схема установки вимірювальних приладів на дослідній ділянці №5,6