

МІНІСТЕРСТВО ІНФРАСТРУКТУРИ УКРАЇНИ

Дніпропетровський національний університет залізничного
транспорту імені академіка В. Лазаряна

На правах рукопису

Губар Олексій Васильович

УДК 625.144.2:625.142.4:004.5

ОБҐРУНТУВАННЯ НОРМ УЛАШТУВАННЯ ТА УТРИМАННЯ КОЛІЇ
ДЛЯ КРИВИХ З РАДІУСАМИ МЕНШЕ 350 МЕТРІВ

Спеціальність 05.22.06 – Залізнична колія

Дисертація на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Науковий керівник:
Рибкін Віктор Васильович
доктор технічних наук, професор

Дніпропетровськ 2011

ЗМІСТ

	стор.
ВСТУП	5
1 СУЧАСНИЙ СТАН НОРМ УТРИМАННЯ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ У КРИВИХ ДІЛЯНКАХ І НАПРЯМКИ ВДОСКОНАЛЕННЯ	14
1.1 Огляд стану й коротка історична довідка робіт попередників з літературних джерел	14
1.2 Існуючі методи визначення параметрів взаємодії колії та рухомого складу в кривих ділянках колії	33
1.3 Сучасні підходи до вирішення проблеми проміжних скріплень для залізобетонних шпал	37
1.4 Мета та задачі дослідження	39
2 АНАЛІЗ МАТЕРІАЛІВ РОЗСЛІДУВАННЯ СХОДІВ РУХОМОГО СКЛАДУ У КРИВИХ ДІЛЯНКАХ КОЛІЇ РАДІУСОМ МЕНШЕ 350 М	41
2.1 Матеріали розслідування сходів рухомого складу у кривих ділянках колії радіусом менше 350 м	42
2.2 Розподіл сходів рухомого складу за факторами впливу	43
2.2.1 Розподіл сходів по залізницях	43
2.2.2 Розподіл сходів в залежності від радіусу кривих	43
2.2.3 Розподіл сходів в залежності від швидкості руху	44
2.2.4 Розподіл сходів за типами екіпажів	44
2.2.5 Розподіл сходів у залежності від причин	45
2.3 Аналіз стану колії у кривих ділянках за даними вагонів- колієвимірювачів	47
2.4 Висновки до розділу 2	51
3 ОБҐРУНТУВАННЯ НОРМ ШИРИНИ КОЛІЇ У КРИВИХ ДІЛЯНКАХ РАДІУСОМ МЕНШЕ 350 М	53
3.1 Мінімально допустима ширина колії	55
3.2 Максимально допустима ширина колії	61

3.3 Розрахункова ширина колії	65
3.4 Структура моделі	81
3.5 Порівняння результатів розрахунків за різними методиками	90
3.6 Стійкість проти вкочування гребеня колеса на головку рейки	93
3.7 Норми ширини колії для кривих ділянок колії з радіусами менше 350 м	97
3.8 Визначення фактору зносу гребенів коліс і рейок при їх взаємодії у кривих ділянках	100
3.9 Висновки до розділу 3	105
4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ КОЛІЇ У КРИВИХ ДІЛЯНКАХ РАДІУСОМ МЕНШЕ 350 М	108
4.1 Програма і методика проведення експериментальних досліджень	108
4.2 Результати експериментального дослідження впливу тепловоза М62 на колію в кривій ділянці радіусом 192 м	114
4.2.1 Аналіз напружень у кромках підшви рейок	114
4.2.2 Аналіз горизонтального впливу на колію	118
4.2.3 Аналіз віджимів головки рейки	123
4.2.4 Аналіз вертикального впливу на колію	126
4.3 Аналіз експериментальних досліджень впливу тепловоза М62 на колію	137
4.4 Порівняння теоретичних досліджень і результатів експерименту ..	146
4.5 Висновки до розділу 4	147
5 ОБҐРУНТУВАННЯ ОСНОВНИХ ВИМОГ ДО РОЗДІЛЬНИХ СКРІПЛЕНЬ ДЛЯ КРИВИХ ДІЛЯНОК КОЛІЇ РАДІУСОМ МЕНШЕ 350 М ТА РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЇ ЗІ СКЛАДАННЯ ТА ПОТОЧНОГО УТРИМАННЯ КОЛІЇ У ТАКИХ КРИВИХ	148
5.1 Основні вимоги до проміжних скріплень для кривих ділянок	150

5.2 Конструкція скріплення СКД65-Б і можливості його застосування	153
5.3 Визначення ділянки відводу розширення колії у межах перехідної кривої при застосуванні скріплень СКД65-Б	156
5.4 Технологія складання колії зі скріпленням СКД65-Б на ділянці відводу розширення колії	158
5.5 Регулювання ширини колії зі скріпленням СКД65-Б	161
5.6 Техніко-економічна ефективність	164
5.7 Висновки до розділу 5	166
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	169
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	175
ДОДАТОК А	189
ДОДАТОК Б	196
ДОДАТОК В	208
ДОДАТОК Г	224
ДОДАТОК Д	238
ДОДАТОК Е	239

ВСТУП

Залізничний транспорт є важливою частиною економіки України, оскільки забезпечує реалізацію приблизно 75 % вантажообігу і більше 40 % пасажирообігу від всіх транспортних перевезень країни. Інтеграція українських залізниць в міжнародну систему транспортних коридорів, що з'єднують Україну із Західною і Центральною Європою, Російською Федерацією та країнами Середньої Азії і Кавказу, зумовлюють потребу до подальшого підвищення швидкостей руху і вагової норми поїздів. Це можливо лише з розвитком і впровадженням на магістральних лініях технічного прогресу та модернізації колії, нових технологій колійного господарства, збільшенням протяжності безстикової колії, впровадженням залізобетонних шпал і брусів замість дерев'яних при безумовному дотриманні безпеки руху поїздів.

Нажаль, на залізницях України щороку відбуваються сходи рухомого складу з рейок. Значна частина сходів відбувається у кривих ділянках, переважно у кривих радіусом менше 350 м. Стан колії у кривих ділянках, є одним з основних факторів, що стримують впровадження високих швидкостей руху. Підвищення швидкостей змінює умови експлуатації як рухомого складу, так і колії. Головною вимогою до утримання колії в сучасних умовах є недопущення розвитку відхилень від норм до розмірів, що порушують плавність та безпеку руху.

Завданням даної дисертаційної роботи є дослідження процесів взаємодії рухомого складу і колії в кривих радіусом менше 350 метрів з урахуванням всіх факторів, що суттєво впливають на процес взаємодії, і з можливістю використання цих уточнень для обґрунтування норм улаштування та утримання колії у таких кривих.

Актуальність теми. Існуючі на сьогодні норми ширини колії у кривих ділянках розраховані виходячи з умов вписування жорсткої бази масового залізничного екіпажу. Розрахунки обґрунтування цих норм

розроблялися з урахуванням наявності на той час у вагонному парку довгобазних двовісних вагонів, вісі яких розташовані безпосередньо в головній рамі екіпажа, і вантажних вагонів з тривісними візками.

При масовому впровадженні залізобетонних шпал, що ґрунтувалися як на технічних, так і, в першу чергу, на економічних показниках (вартість дерев'яної шпали на 46 % перевищує вартість залізобетонної) норма ширини колії на прямих і кривих при радіусі 300 м і більше на залізобетонних шпалах встановлена однаковою, що дорівнює 1520 мм. Сфера застосування залізобетонних шпал обмежена величиною радіусу через необхідність обов'язкового розширення ширини колії у кривих ділянках менших радіусів.

На сьогоднішній день як на залізницях України, так і країн СНД відсутні обґрунтовані норми улаштування колії на залізобетонних шпалах у кривих ділянках колії з радіусами кругових кривих менше 350 м. Такі обґрунтування відсутні, насамперед, через те, що відсутні конструкції колії, що відповідали б вимогам для таких кривих, а саме, можливістю складання колії із заданою та обґрунтованою шириною колії в межах кругової кривої і забезпечення відводу розширення в межах перехідних кривих. Крім того, така конструкція повинна передбачати можливість регулювання ширини колії, що змінюється в процесі експлуатації.

Питанням можливості впровадження залізобетонних шпал у кривих ділянках з радіусами менше 350 м безупинно займалися ще з 70-тих років минулого сторіччя. Як результат - у кругових кривих з радіусами від 200 м до 450 м навіть було дозволено укладати спеціальні залізобетонні шпали (типу Ш-6) з нормою ширини колії 1535 мм, але досвід їх експлуатації виявився досить невдалим, через неможливість ані регулювання ширини колії, ані можливості створення відводу ширини колії у перехідних кривих.

Автором розроблена конструкція рейкових скріплень для типових залізобетонних шпал (Ш-1, Ш-6), що дає можливість складання та регулювання ширини колії у кривих ділянках будь-якого радіусу

як в межах кругових, так і перехідних кривих з шириною колії згідно діючих норм, встановлених для дерев'яних шпал.

Розроблена автором конструкція пройшла дослідну експлуатацію на мережі залізниць України і введена у постійну експлуатацію наказом Державної адміністрації залізничного транспорту України.

У теперішній час, при відсутності довгобазних двовісних вагонів і вагонів з тривісними візками у вагонному парку та наявністю розробленої автором конструкції, що дозволяє скласти колію шириною до 1535 мм (1540 мм зі шпалами типу Ш-6), з'явилась технічна можливість встановлення і регулювання ширини колії у кривих де необхідне її розширення. Це викликає необхідність обґрунтування норм улаштування та утримання колії для кривих з радіусами менше 350 м.

Про необхідність норм улаштування колії для залізобетонних шпал у кривих ділянках колії з радіусами менше 350 м свідчить кількість дерев'яних шпал, що лежать у колії і можуть бути замінені на залізобетонні шпали.

Так, на Львівській залізниці вкладено 4 млн. 554 тис. дерев'яних шпал, що складає 48 відсотків від загальної кількості шпал, а на решті залізниць частка дерев'яних шпал складає від 22 до 30 % їх загальної кількості. Найбільшу кількість дерев'яних шпал мають так звані гірські дистанції, де багато кривих радіусом менше 350 м. Крім того, фактичний термін служби залізобетонних шпал відповідає розрахунковому і складає біля 40 років, а фактичний термін служби дерев'яних шпал складає біля 7–7,5 років, що у 2–2,5 рази менше від розрахункового. Основна причина скорочення терміну служби пов'язана з механічними пошкодженнями деревини внаслідок частих перешивок рейкових ниток. З цієї причини 33 відсотки дерев'яних шпал непридатні для подальшого використання. Крім того, закупівлі дерев'яних шпал обмежені малим об'ємом пропозицій від постачальників, через що шпал катастрофічно не вистачає не тільки для проведення планових, але й поточних ремонтів.

Наведене вище вказує на актуальність розробки норм улаштування та утримання колії для кривих з радіусами менше 350 метрів на залізобетонних шпалах. Цим питанням і присвячена дисертація.

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

Тема дисертації пов'язана з планом виконання науково-дослідних робіт кафедри «Колія та колійне господарство» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна (ДНУЗТ) в галузі удосконалення технічних норм улаштування і утримання колії та розробки технічної документації. Автор дисертації брав участь в науково-дослідних роботах, що виконувались за завданням Головного управління колійного господарства Укрзалізниці: "Аналіз причин сходів рухомого складу в кривих ділянках колії радіусом до 350 м і розробка конструкцій з метою їх запобігання" (державний реєстраційний номер 0106U010229, договір №103/06-ЦТех-239/06-ЦЮ 53.180 від 21.07.2006 р.), "Дослідження експлуатаційних характеристик ділянок колії зі скріпленням типу АРС-4 та визначення напружено-деформованого стану колії" (державний реєстраційний номер 0107U006735, договір №062/07-ЦТех-766-ЦЮ 53.189 від 23.05.2007 р.), а також у розробці нормативно-технічного документа «Інструкція зі складання та поточного утримання колії зі скріпленнями типу СКД65» ЦП-0199, затвердженого наказом Укрзалізниці від 10.12.2008 р. № 534-Ц.

Мета роботи. Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності експлуатації та якості улаштування залізничної колії шляхом обґрунтування норм утримання колії для кривих з радіусами менше 350 метрів з розробкою, обґрунтуванням і впровадженням нових конструкцій рейкових скріплень, які дають можливість регулювати ширину колії.

Задачі досліджень.

1. Провести системний аналіз існуючих методів дослідження процесів взаємодії рухомого складу і колії та причин сходів рухомого складу, що мали місце на залізницях України; дослідити розподіл сходів за факторами впливу,

такими як: радіус кривої, швидкість руху рухомого складу, тип рухомого складу, що зійшов, та причини сходів.

2. Вибрати критерії для оцінки взаємодії рухомого складу і колії та розробити математичну модель і програмне забезпечення до ПЕОМ для комплексного аналізу основних показників взаємодії та обґрунтування норм утримання колії для кривих ділянок радіусом менше 350 м.

3. Розробити і обґрунтувати норми улаштування колії на залізобетонних шпалах у кривих ділянках колії з радіусами кругових кривих менше 350 м.

4. Виконати наукове обґрунтування технічних вимог і вибір раціональних конструкцій рейкових скріплень для кривих ділянок радіусом менше 350 м.

5. Розглянути аспекти впровадження нових конструкцій і технологій укладання та експлуатації верхньої будови колії для залізниць України.

6. Дати техніко-економічну оцінку використання нових конструкцій і технологій укладання та експлуатації колії у порівнянні із існуючими.

Об'єкт досліджень - процеси взаємодії залізничної колії та рухомого складу в кривих з радіусом менше 350 м.

Предмет досліджень – криві ділянки залізничної колії з радіусами менше 350 м.

Методи досліджень. В роботі використано комплексний метод досліджень, який включає аналітичну і експериментальну частини. Для аналітичних досліджень застосовано метод математичного моделювання. Обробку експериментальних даних проведено на ПЕОМ із застосуванням методів математичної статистики для визначення горизонтальних та вертикальних сил, що діють на колію. Для цього за допомогою вимірювальних приладів, активним елементом яких є тензорезистори, вимірювали напруження в рейках та їх деформації за прийнятою в Колієвипробувальній ГНДЛ методикою.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в такому.

1. Розроблено математичну модель комплексного аналізу показників силової взаємодії рухомого складу і колії, комфортабельності їзди і безпеки руху, а також для факторного аналізу основних показників взаємодії екіпажа й колії в залежності від різних факторів, як то швидкість, параметри кривої ділянки тощо, яка відрізняється від існуючих моделей врахуванням ширини колії та розподілом вертикальних сил, що передаються від рухомого складу на колію: як між колісними парами, так і між колесами у парі, що дозволяє більш точно розв'язувати задачі обґрунтування норм улаштування та утримання колії в кривих ділянках колії з радіусами менше 350 м.

2. Встановлено аналітичні залежності між шириною колії і силами взаємодії рухомого складу і колії, які відрізняються від існуючих залежностей врахуванням розподілу вертикальних сил, що передаються від рухомого складу на колію: як між колісними парами, так і між колесами у парі та розроблено програмний комплекс для визначення розрахункових значень полюсної відстані при вписуванні візка екіпажа, використання програмного комплексу дозволило розв'язати задачу оптимального устрою залізничної колії.

3. Обґрунтовано теоретичні підходи до параметрів проміжних рейкових скріплень для залізобетонних шпал, які відрізняються від існуючих додатковими конструктивними вимогами, що дозволило розширити сферу застосування залізобетонних шпал і обґрунтувати відсутні на теперішній день норми улаштування ширини колії для кривих з радіусами менше 350 м, враховуючи відсутність довгобазних двовісних вагонів і вагонів з тривісними візками у вагонному парку.

4. Вперше для умов українських залізниць розв'язана наукова задача щодо можливості і доцільності введення нової технології зі складання та поточного утримання колії з рейковими скріпленнями на залізобетонних шпалах з можливістю регулювання ширини колії у кривих ділянках, що дозволило розширити сферу застосування залізобетонних шпал, яка була

обмежена величиною радіусу через необхідність обов'язкового розширення ширини колії у кривих ділянках з радіусами менше 350 м.

Практичне значення отриманих результатів.

1. Отримані в дисертації висновки та результати використано у науково-дослідних розробках кафедри «Колія та колійне господарство» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна за напрямками дослідження експлуатаційних характеристик ділянок колії із новими скріпленнями та визначення напружено-деформованого стану колії та аналізу причин сходів рухомого складу в кривих ділянках колії радіусом до 350 м і розробка конструкцій з метою їх запобігання, що виконувалися за завданням Укрзалізниці.

2. Використання інженерної методики розрахунку ширини колії у кривих ділянках колії дозволяє залежно від радіусу кривої ділянки і конструктивних особливостей екіпажів, які обертаються на даній ділянці, встановити оптимальну ширину колії, що дозволило розробити конструктивні вимоги до рейкових скріплень для сучасних умов експлуатації у кривих ділянках колії, де необхідно розширення колії, які використані при розробці конструкції рейкових скріплень на залізобетонних шпалах з можливістю регулювання ширини колії.

3. На основі теоретичних розрахунків і дослідної експлуатації розробленої автором конструкції рейкових скріплень видано рекомендації Головному управлінню колійного господарства Укрзалізниці по використанню скріплень типу СКД65 на мережі залізниць України.

4. Розроблені методики суцільного та локального регулювання ширини колії використані при розробці нормативно-технічного документа Укрзалізниці «Інструкція зі складання та поточного утримання колії зі скріпленнями типу СКД65» ЦП-0199.

5. Встановлені в роботі нові наукові положення є базою для вирішення важливої задачі – підвищення ефективності експлуатації залізничної колії при дотриманні нормативів її устрою і утримання.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій підтверджується адекватно обраним математичним апаратом, проведенням експериментальних досліджень з достатнім збігом одержаних теоретичних та практичних результатів, позитивними результатами використання розробок на діючій залізничній колії.

Особистий внесок здобувача. Усі наукові положення, розробки й результати досліджень, що виносяться на захист, отримані особисто автором. У наукових працях, що опубліковані у співавторстві, особистий внесок автора такий: у роботах [1, 9] – аналіз матеріалів розслідування сходів рухомого складу у кривих ділянках колії радіусом менше 350 м, методика проведення експериментальних досліджень, обробка і аналіз результатів експериментального дослідження дії тепловоза М62 на колію в кривій ділянці радіусом 192 м, висновки; у роботах [2, 10] – обробка і аналіз результатів експериментального дослідження експлуатаційних характеристик ділянок колії зі скріпленням типу АРС-4; у патентах [4 – 7] та тезах [13, 14] – ідея і розробка конструкції проміжного рейкового скріплення для залізобетонних шпал; у роботах [8] – ідея і розробка технології суцільного і локального регулювання ширини колії зі скріпленнями типу СКД65-Б, розробка і написання тексту звіту, визначення ділянки відводу розширення колії у межах перехідної кривої при застосуванні скріплень типу СКД65; у роботах [3, 11, 12] – визначення витрат пов'язаних з утриманням верхньої будови колії. Робота [15] написана автором одноосібно.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати дисертації доповідалися на: Міжнародній науково-практичній конференції з митної політики та актуальних проблем економічної та митної безпеки України на сучасному етапі (Дніпропетровськ, листопад, 2007 р.); 12-ій Міжнародній конференції з проблем механіки залізничного транспорту (Дніпропетровськ, травень, 2008 р.); 8-ій Міжнародній науковій конференції з проблеми економіки транспорту (Дніпропетровськ, квітень, 2009 р.);

67, 69, 70, 71-й Міжнародних науково-практичних конференціях з проблем та перспектив розвитку залізничного транспорту (Дніпропетровськ, травень, 2007 р., травень, 2009 р., квітень, 2010 р., квітень, 2011 р.).

Повністю дисертаційна робота доповідалась на міжкафедральному науковому семінарі кафедр «Колія та колійне господарство», «Проектування і будівництво доріг», «Тунелі, основи і фундаменти» та Колієвипробувальної галузевої науково-дослідної лабораторії Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна 24 травня 2011 р.

Публікації. Основні положення дисертації опубліковані в 14-ти наукових працях у тому числі: 3 – у фахових виданнях, 7 – у матеріалах конференцій, 1 – патент на винахід та 3 – патенти на корисну модель.

Структура дисертації. Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел і 6 додатків. Повний обсяг складає 240 сторінки друкованого тексту, в тому числі: 60 рисунків на 52 сторінках, 62 таблиці на 50 сторінках, список літератури з 133 найменувань на 14 сторінках, та 6 додатків на 52 сторінках.

РОЗДІЛ 1

СУЧАСНИЙ СТАН НОРМ УТРИМАННЯ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ У КРИВИХ ДІЛЯНКАХ І НАПРЯМКИ ВДОСКОНАЛЕННЯ

1.1 Огляд стану й коротка історична довідка робіт попередників з літературних джерел

Залізнична колія є інженерною спорудою, що виконує важку роботу в складних умовах. Питання взаємодії колії і рухомого складу є однією з основних наукових технічних дисциплін залізничного транспорту, що мають важливе значення. Рух по кривих ділянках колії часто є найбільш несприятливим режимом взаємодії. Тому при проектуванні і модернізації як залізничної колії, так і рухомого складу, значна роль відводиться методам дослідження взаємодії колії і рухомого складу саме у кривих ділянках.

Питання взаємодії колії і рухомого складу у кривих ділянках, насамперед, розглядають з позиції вписування у криві залізничних екіпажів з визначеною жорсткою базою. Задачі по вписуванню розглядаються як в літературі локомотивного, так і колійного господарства.

У літературі, що відноситься до локомотивного господарства, дослідження по вписуванню спрямовані на визначення мінімально допустимих радіусів кривих, при яких можливе вписування даного типу рухомого складу, визначення бокових зусиль, діючих між колесами і рейками у процесі вписування, визначення і вибір конструктивних особливостей ходових частин рухомого складу (а саме, вибір колісних формул екіпажа, вибір повертаючих пристроїв, і саме повертаючих сил, проектування поперечних розбігів вісей екіпажів і т.д.

У колійній літературі, як правило, вписування розглядається у зв'язку з розрахунком необхідної ширини колії у кривих та визначення поперечних сил, що діють на колію при русі екіпажа по кривих.

Залежно від співвідношення розмірів рейкової й колісної колії і сил, прикладених до жорсткої бази екіпажа, що залежать від улаштування колії, радіуса кривої і швидкості руху, можуть бути різні схеми вписування (установки) екіпажа в кривих; їх розділяють на заклинені й вільні (по геометричних співвідношеннях) і на хордові й перекісні (залежно від співвідношення діючих сил).

Теоретичні основи досліджень руху рухомого складу було закладено ще у XIX сторіччі. Тоді застосовувались розрахунки по вписуванню рухомого складу у криві ділянки. При цьому визначали умови вільного проходження багатовісними екіпажами кривих ділянок колії без заклинення коліс у рейковій колії або без порушення заданих габаритів рухомого складу і колії, тобто розглядалось геометричне вписування екіпажів. Необхідність в таких розрахунках обумовлена особливостями конструктивних схем екіпажів, що характеризуються у першу чергу відсутністю візків, внаслідок чого могли виникати заклинення колісних пар у рейковій колії та порушення допустимих габаритів у кривих ділянках колії малого радіусу. Для розрахунків використовувались способи, розроблені Роєм (1884 р.) і Пуші (1896 р.), а також способи Юбілакера (1903 р.), Вілле і Вантца (1919 р.), Фогеля (1926 р.), Местра (1929 р.), Плясе (1931 р.), Холла (1931 р.), Портера (1935 р.), Якобі (1936 р.), Кармінського (1945 р.), що були удосконалені В.В. Моничем, К.П. Корольовим, А.В. Солом'янським, В.М. Панським, П.А. Сліткіовим, І.І. Ніколаєвим та ін.

При проектуванні нових локомотивів виникла необхідність в оцінці завантаженості колісних пар і рейкових ниток. Для цього використовувались розрахунки для визначення сил взаємодії коліс з рейками, що відповідають рівновазі екіпажів у кривих під дією сил.

У 1895 р. проф. Петербургського інституту інженерів шляхів сполучень С.Н. Смирнов вперше сформулював доказ найважливішого в теорії вписування правила про визначення положення центру повороту екіпажа, що знаходиться на перетині його поздовжньої вісі і перпендикуляра,

опущеного з центра кривої [16]. Пізніше, у 1898 р. проф. А.А. Холодецький використав методи найменшого опору повороту екіпажа у кривих [17]. Він розробив достатньо струнку, для того часу, теорію вписування екіпажів у криві і запропонував формули для визначення тиску гребенів бандажів на рейку. К.Ю. Цеглинським і Г. Юбелакером ця теорія була поліпшена [18, 19]. К.Ю. Цеглинський враховував пружність колії у поперечному напрямку і відмічав можливість вкочування колеса на рейку і втрати стійкості колеса. Г. Юбелакер розглядав колію як абсолютно жорстку і припускав тільки можливість вкочування коліс екіпажа на рейки.

У подальшому почали використовувати розрахунки по вписуванню рейкових екіпажів у криві за допомогою графічних методів [20, 21]. Серед них слід виділити метод, запропонований у 1913 р. німецьким професором Х. Хейманом, роботи якого слід розглядати як значний крок на шляху розвитку теорії вписування рейкових екіпажів. У них знайшли свій розвиток положення теорії, запропонованої А.А. Холодецьким, при таких самих вихідних передумовах, як і у К.Ю. Цеглинського. Найбільш суттєві з них наступні:

- 1) просторова система сил замінюється плоскою;
- 2) не враховується тертя між гребенями коліс і боковими поверхнями головок рейок (поверхні гребенів прийняті вертикальними);
- 3) поверхні кочення коліс вважаються циліндричними;
- 4) не враховуються пружні властивості конструктивних елементів екіпажу і рейкових ниток;
- 5) навантаження, що передаються на зовнішню і внутрішню рейкові нитки, як і коефіцієнти тертя кочення між колесом і рейками, прийняті однаковими.

Після досліджень А.Е. Раєвського 1910 р. [22] значну увагу стали приділяти визначенню сил, що виникають при рухові рухомого складу у кривих. Досить істотні уточнення в загальну теорію руху екіпажів у кривих внесли роботи багатьох інших вчених [23–29, 35–37].

Х. Мелік-Асланов [30] і Н.Т. Мітюшин [31] розглядали загальні питання взаємодії рухомого складу і колії у кривих, прийоми визначення бічних сил та були зроблені спроби визначити напруження у рейках, що виникають під дією цих сил.

У 1931 р. А.М. Годицьким-Цвірко [32] було видано монографію, у якій головна увага приділяється питанням розрахунку динамічних сил взаємодії колії та рухомого складу. У 1933 р. виходить у світ російською мовою монографія французького вченого Г. Марьє [33], присвячена взаємодії колії і рухомого складу з детальними дослідженнями коливального процесу рухомого складу.

У дослідженнях С.А. Стьопкіна [34] та Д.Г. Голованова були розглянуті взаємна дія на рейку бічної сили і крутного моменту. Отримані ними результати, досить громіздкі в практичному застосуванні і не перевірені шляхом співставлення результатів теоретичних розрахунків з дослідними даними.

Заслужовують на увагу також дослідження з широким використанням можливостей аналітичної геометрії, запропоновані у 1954 р. проф. В.Б. Меделем [38] і проф. С.М. Куценко [39, 40], та рекомендації з улаштування і утримання залізничних колії у кривих з малими радіусами, розроблені у 1959 р. проф. І.П. Граве [41].

Із закордонних робіт, що розглядають вписування екіпажів у криві з урахуванням ряду динамічних факторів, слід згадати роботу проф. Т. Мюллера [42].

Докт. техн. наук О.П. Єршковим у 1961–1966 рр. було розроблено узагальнюючий графо-аналітичний спосіб розрахунків вписування [43–45]. При розрахунках за цим способом будуються графічні залежності направляючих, бокових і рамних сил від величини непогашеного поперечного прискорення, названі О.П. Єршковим графіками-паспортами, що знайшли найбільш широке розповсюдження у практичних розрахунках. Теоретичні і експериментальні дослідження, проведені О.П. Єршковим [46]

дозволили розробити простий у практичному використанні метод розрахунку рейки на горизонтальний згин і кручення. Розроблений метод заснований на так званому напівроздільному способі розв'язання системи диференціальних рівнянь і дозволяє визначити величину напружень у різних точках рейки, що виникають при дії на рейку зосереджених сил і моментів заданої величини, кут закручування і величину горизонтального прогину рейки, поперечні реакції шпали ін.

Розвитком метода О.П. Єршкова стали роботи доц. В.В. Циганенко та доц. М.І. Уманова [47–50], що враховували вплив поздовжніх сил при русі поїздів. Так, В.В. Циганенко помітив, що зміну бокового впливу, яка пов'язана з дією поздовжніх сил у поїзді, можливо прирівняти до еквівалентної їй зміни, визваної рухом екіпажу з додатковим непогашеним поперечним прискоренням. М.І. Уманов показав, що для екіпажів з незчленованими візками вказане додаткове непогашене прискорення можливо визначити аналітично. Ці методики дозволяють з достатньою точністю визначати величини сил, що вишукуються, та менш трудомісткі, ніж інші [38–40].

Значним кроком, що узагальнює питання взаємодії колії та рухомого складу стала праця колективу авторів М.Ф. Вериги, В.Н. Данилова, Е.М. Бромберга, М.А. Фрішмана [51].

Технічний розвиток залізничного транспорту привів до поглибленого розвитку досліджень взаємодії колії і рухомого складу. Великий внесок у теорію і експериментальні дослідження в цій області внесли вчені ВНИИЖТу і транспортних вузів, насамперед ДИИТу, ЛИИЖТу, МИИТу, ДЕТУТу [52–67]. При цьому широко застосовувалися електронні обчислювальні машини, сучасне, на той час, лабораторне устаткування й випробувальна апаратура, що дозволяла досліджувати складні динамічні процеси взаємодії колії та рухомого складу.

У 1986 р. вийшло фундаментальне дослідження М.Ф. Вериги та А.Я. Когана «Взаимодействие пути и подвижного состава» [68]. В цій

роботі викладені методи дослідження і розв'язання основних задач по визначенню динамічних сил взаємодії колії і рухомого складу в інженерній постановці з розчленовуванням кожної такої сили на окремі складові і в повній постановці – на основі теорії спільних коливань колії й екіпажа. Розглянуто процеси уgonу колії, що виникають при русі по ній рухомого складу. Приведено необхідні програми для ЕОМ.

Значним кроком, що узагальнює питання взаємодії колії та рухомого складу при криволінійному русі рейкових транспортних засобів стала праця д.т.н. М.О. Радченко [69] видана у 1988 р.

У монографії А.Я. Когана [70] висвітлені основні положення, що стосуються коливань і стійкості колії у вертикальній, горизонтальній та поперечних площинах під впливом динамічних навантажень, що рухаються, методом частотних характеристик з приведенням до лінійних диференціальних рівнянь. Розглянуто питання поздовжніх коливань рейок під поїздом, що рухається, та при впливі температури. Приведені також основні принципи формування динамічної системи, що поєднує в єдине ціле колію, що коливається, як систему з розподіленими параметрами й екіпаж, як систему з багатьма ступенями свободи.

Основи теорії про рух колеса по ізольованих нерівностях колії і виникаючих при цьому силах були закладені російськими вченими: акад. Н.П. Петровим [71–74] і проф. А.А. Холодецьким [75]. Надалі ця теорія була розвинута в працях професорів Н.Т. Мітюшина [76], В.Б. Медея [35] М.М. Філоненка-Бородича [77] і, особливо, в працях професорів Г.М. Шахунянца [78], К.М. Міщенка [79] і А.А. Попова [80]. У подальшому значні дослідження з питання про рух по нерівності колії і колеса з нерівністю були виконані проф. К.П. Корольовим [27] і В.Н. Даниловим [51] при розв'язанні питання про норми місцевого прокату бандажів.

Як відомо, рейкова колія у кривих ділянках має ряд істотних особливостей, що відрізняють її від рейкової колії у прямих. Цими

основними відмінними рисами є розширення колії у кривих та улаштування підвищення зовнішньої рейки.

Розширення колії у кривих пов'язано з необхідністю забезпечити вписування екіпажів у криві, при якому можливе розміщення усередині колії тієї чи іншої жорсткої бази.

Улаштування підвищення зовнішньої рейки у кривих пов'язане з необхідністю зменшити шкідливий, а іноді й небезпечний вплив відцентрових сил, які викликають нерівномірний знос рейок, а при несприятливих умовах - можуть викликати сходи екіпажів.

Таким чином, основні норми улаштування рейкової колії, тобто ширина колії і взаємне положення рейкових ниток за рівнем - впливають із розгляду ряду завдань в області взаємодії колії й рухомого складу. Неважко зрозуміти, що прийняті норми улаштування рейкової колії у кривих багато в чому визначають питання безпеки руху поїздів, строки зношування елементів колії й рухомого складу, питання вдосконалення конструкції елементів колії, швидкості руху й ін. Зараз ці питання набувають особливу актуальність у зв'язку з неухильною тенденцією до значного підвищення швидкостей руху поїздів на залізничному транспорті. У зазначеному зв'язку норми улаштування рейкової колії у кривих потребують серйозного наукового обґрунтування.

Не менш істотним є питання й про норми утримання рейкової колії. Дуже часто під нормами утримання розуміють допуски в улаштуванні рейкової колії. Важливість обґрунтування раціональних допусків улаштування колії диктується тими ж міркуваннями, що й обґрунтування їх норм улаштування.

За час існування залізниць неодноразово мінялися як методи підходу до обґрунтування норм і допусків, так і їхні абсолютні значення. У цих змінах, однак, можна прослідити лише одну досить стійку тенденцію, яка полягає у тому, що ширина колії у кривих постійно звужувалася.

Цікаво відзначити, що на залізницях США також з'являлися пропозиції про зменшення ширини колії навіть у прямих ділянках колії, що пояснюється прагненням домогтися більше спокійного ходу екіпажів. У статті С.Ф. Drawbridge [81] і статті Т.А. Blair [82] пропонується прийняти замість ширини колії $56\frac{1}{2}$ дюймів (1435 мм) – колія на $\frac{1}{4}$ дюйма (тобто ~ 6 мм) менше.

У минулому сторіччі формули, що пропонувалися для розрахунку ширини колії у кривих, носили в основному напівемпіричний характер. Довгий час на російських залізницях [83] користувалися для розрахунку розширення U колії у кривих формулою

$$U = 0,03(1000 - R), \quad (1.1)$$

де R - радіус кривої, м.

На XVI з'їзді інженерів служби колії (1898 р.) була прийнята формула, запропонована проф. А.Л. Васютинським

$$U = \frac{(1000 - R)^2}{20\,000}, \quad (1.2)$$

де: U - розширення колії у кривій у порівнянні із прямою, мм;

R - радіус кривої, м.

У цей же період на південно-західних залізницях користувалися формулою інж. А.А. Холодецького

$$U = \frac{(N + 2a)^2}{8R} - \frac{\sigma}{2}, \quad (1.3)$$

де: N - довжина жорсткої бази екіпажа, м;

R - радіус кривої, м;

$$a = \sqrt{(2r - z)z}$$

r - радіус колеса екіпажа, мм;

z - висота гребеня бандажа (25–34 мм);

σ - значення зазору між гребенем колеса й рейкою в прямих, при нормальних значеннях ширини насадки коліс на вісі й ширини колії.

У 1904 році (на XXII з'їзді інженерів служби колії) проф. К.Ю. Цеглинським була запропонована формула

$$U = \frac{8000}{R} - 15, \quad (1.4)$$

з умови проходження по кривій звичайного двовісного вагона з радіальним положенням задньої вісі [18]. Із цієї формули видно, що проф. К.Ю. Цеглинський рекомендував розширити колію у кривих у порівнянні із прямими, лише при радіусі $R \leq 533$ м.

Не зупиняючись на докладному викладі історії питання, зазначимо лише, що, наприклад, до 1931 року на наших залізницях застосовувалися норми, наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1.

Норми розширення ширини колії у кривих до 1931 року

Радіус кривої, м	Розширення, мм
1100 і більше	0
1100 – 800	5
700 – 600	10
500 – 400	15
350 – 250	20

У 1931 р. циркулярним розпорядженням Міністерства шляхів сполучення (МПС) була встановлена, у порядку досліду, нова шкала розширення колії у кривих, наведена у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2.

Норми розширення ширини колії у кривих після 1931 року

Радіус кривої, м	Розширення, мм
450 і більше	0
450 – 400	5
399 – 350	10
349 – 250	15
249 і менше	20

Досліди по цій новій шкалі були поставлені на Мурманській, Південно-східній і Єкатерининській (нині Придніпровській) залізницях. Висновки цих доріг за результатами утримання кривих із зазначеними в таблиці 1.2 нормами, свідчили про те, що у випадку відмінного стану колії (що відрізнявся достатньою потужністю) були отримані хороші результати.

З 1936 року були прийняті норми улаштування рейкової колії у кривих, включені тоді у Правила технічної експлуатації (ПТЕ), що були неодноразово затверджені при переглядах ПТЕ до 1952 року. Ці норми наведені у таблиці 1.3.

Таблиця 1.3.

Норми розширення ширини колії у кривих після 1936 року

Радіус кривої, м	Розширення, мм
651 і більше	0
650 – 451	6
450 – 351	11
350 і менше	16

Теоретичні дослідження з можливості уніфікації рейкової колії у прямих і кривих ділянках колії були проведені в Радянському Союзі професорами П.Г. Козійчуком і К.П. Корольовим. У результаті цих досліджень були запропоновані норми улаштування рейкової колії у кривих, наведені у таблиці 1.4.

Таблиця 1.4.

Норми розширення рейкової колії запропоновані
професорами П.Г. Козійчуком і К.П. Корольовим

Радіус кривої, м	Розширення, мм
401 і більше	0
від 400 до 351	6
від 350 до 301	11
300 і менше	16

Дослідні спостереження за уніфікованими кривими були поставлені в 1950 – 1951 рр. кафедрою «Железные дороги МТЭИ». Однак остаточних висновків у звіті кафедри по цих кривих не надано. Спостереження носили лише характер накопичення статистичних даних по плавності кривих і зносу рейок на дослідних ділянках. Спеціальні динамічні випробування не проводилися.

Дослідження 1948 р. проф. П.Г. Козійчука, проф. К.П. Корольова, експерименти МТЭИ (1950 р.) [84], роботи проф. М.А. Фрішмана і доц. Т.М. Шпака [85], а також достатньо докладні дослідження ЦНИИ МПС 1951 – 1955 рр., що виконані під керівництвом і при участі докт. техн. наук О.П. Єршкова, канд. техн. наук Л.П. Мелентєєвим і інж. М.С. Яховим [86], дослідні дані ряду залізниць (Московської, Західно-Сибірської, Південно-Уральської та ін.) дали можливість прийняти наступні норми (табл. 1.5).

Таблиця 1.5.

Норми розширення ширини колії у кривих після 1955 року

Радіус кривої, м	Розширення, мм
350 і більше	0
349 – 300	6
299 і менше	16

Особливо необхідно відзначити ПТЕ, затверджені 5 листопада 1970 р., що введені в дію 1972 р., якими був ознаменований перехід залізничного транспорту на більш високий рівень його технічного оснащення й розвитку. До цього часу у головні колії вже були укладені важкі рейки типів Р65 і Р75 на залізобетонних шпалах з безстиковою колією і на основи з важких видів баласту. У зв'язку із широким впровадженням вагонів на роликових буксових підшипниках, що мають менший опір руху, змінені вимоги до розташування станційної площадки на ухилах, що не перевищують 0,0015 і лише у важких умовах допустимі ухили не більш ніж 0,0025.

З метою підвищення стійкості рухомого складу при русі по прямих ділянках колії, особливо при підвищенні швидкостей, і зменшення зносу рейок і колісних пар був змінений один з найважливіших нормативних параметрів залізничного транспорту – ширина рейкової колії: замість діючої норми 1524 мм установлена ширина колії 1520 мм. Передбачалося на основі наукових досліджень, що цей захід дозволить скоротити зазор між ребордами коліс і рейками й у результаті - зменшити коливання у горизонтальній площині й бічний вплив коліс на рейки при русі поїзда на прямих ділянках, що має особливе значення при високих швидкостях. Часткове зменшення зазору було досягнуто в 1963 р. за рахунок проведення іншого заходу – деякого збільшення мінімальних розмірів товщини гребеня колеса (28 мм замість норми 25 мм, що діяла до 1963 р.).

Зміні ширини рейкової колії передували багаторічні наукові дослідження й спостереження в експлуатаційних умовах, проведені на мережі залізниць. Вони підтвердили, що звуження колії добре впливає на стан верхньої будови колії й рухомого складу.

Як вказувалося, утримання рейкової колії по шаблону обумовлено допусками на можливе розширення й звуження. Питання про вибір раціональних допусків є досить мало розробленим, що і дотепер не має серйозних обґрунтувань. Свідченням цьому є те, що дуже часто змінюється, в історії наших залізниць, система допусків по шаблону. Цікавою ілюстрацією зазначеної обставини є таблиця 1.6, частково запозичена зі статті інженера Т.И. Ляшенко [87].

Зміна допусків на утримання ширини колії

Ким і коли встановлено		Розширення, мм	Звуження, мм	Ухил розширення
1		2	3	4
I з'їзд інженерів служби колії, 1881 р.		6	-	Різниця в ширині колії на 1 ланку = 4 мм
XVI з'їзд інженерів служби колії, 1898 р.		6	2	-
По інструкціях до 1922 р.	- Єкатерининська	6	2	0,001
	- Пермська	6	2	-
	- Миколаївська	4	2	0,0005
	- Самаро-Златоустська	4	2	0,001
	- Моск.- Винд-Риб (Московська мережа)	6	2	0,002
	- Моск.- Винд-Риб (Петровская мережа)	4	4	0,001
	- Моск.-Київск.-Ворон.	4	2	0,001
	- Петроград – Варшавск.	4	-	Розганяється на 3-4 ланках
XXXIII з'їзд інженерів служби колії, 1923 р.		6	0	-
По інструкції з 1922 р. До введення метричних мір		6	0	-
Після переведення на метричні міри		5	0	Різниця у ширині колії протягом 10 м не більше 2 мм
Циркулярне розпорядження ЦУП НКПС 1931 р.		10	3	При 60 км/год різниця в ширині колії на двох сусідніх шпалах 3 мм
Рекомендації I-го Всесоюзного з'їзду ІТП колії, 1933 р.		7	-	-
НКПС в 1935 р. встановив		6	2	-
Наказ МПС №435/ЦЗ від 25.07.1952 р.		6	2	Не більше 1 мм на 1 пог.м колії

1	2	3	4
Наказ МПС №48/Ц від 31.08.1957 р.	6	2	Не більше 1 мм на 1 пог.м колії
ПТЕ затверджені МПС від 05.11.1970 р. - для прямих і кривих - для ділянок з $V = 50$ км/год і менше	6 10	4 4	Не більше 1 мм на 1 пог.м колії
ПТЕ залізниць України, затверджені Мінтрансом від 16.01.1995 р. і «Інструкція по устрою та утриманню колії залізниць України» ЦП/0050, затвердженої наказом від 06.04.1998 р. №82-Ц - для ділянок з $V = 50 - 140$ км/год - для ділянок з $V = 50$ км/год і менше	8 10	4 4	Не більше 1 мм на 1 пог.м колії
ПТЕ залізниць України, затверджені наказом Мінтрансу № 411 від 20.12.1996 р. із змінами, внесеними згідно з наказами Мінтрансу №226 від 08.06.1998 р. №386 від 23.07.1999 р. №179 від 19.03.2002 р. і «Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України» ЦП/0138, затвердженої 22.12.2005 р. - для ділянок з $V = 50 - 140$ км/год - для ділянок з $V = 50$ км/год і менше	8 10	4 4	Не більше 1 мм на 1 пог.м колії

На додаток таблиці 1.6 відзначимо, що в 1995 році були прийняті існуючі до сьогоднішнього дня допуски $+8$ і -4 мм.

Якщо звернутись до досвіду закордонних залізниць, то насамперед зіштовхнемося з винятково строкатою картиною прийнятих вихідних норм улаштування ширини колії у прямих ділянках колії. За останнім даними ширина колії на залізницях земної кулі характеризується таблицею 1.7.

Норма ширини колії на залізницях світу

Ширина колії, мм	Країни, в яких використовується зазначена ширина колії
1	2
Широка колія	
2140	Англія. Great Western Railway
2000	Англія. Cairngorm Mountain Railway (англ.)
1945	Нідерланди
1880	Англія
1750	Франція
1676	Аргентина; Бангладеш; Індія; Канада; Пакистан; США; Чілі; Шрі-Ланка; Іспанія Bay Area Rapid Transit (англ.)
1668	Португалія; Іспанія
1665	Португалія
1600	Австралія; Бразилія; Ірландія; Нова Зеландія
1588	США
1581	США
1575	Ірландія
1524	Фінляндія; США; Панамський канал
1520	(Російська колія) провідна ширина колії — в Росії; СНД; країнах Прибалтики і Монголії та інших країнах
1495	Канада
1473	США
Нормальна колія	
1435	Європейська (інтернаціональна) ширина колії для Великобританії і Європейського континенту (за винятком Іспанії, Португалії, Фінляндії та країн колишнього СРСР); Канади; США; Мексики; Єгипту; Туреччини; Китаю; Синкансен; Австралія (17678 км)
Вузька колія	
1372	Японія
1220	Шотландія; Glasgow Subway
1100	Бразилія
1093	Швеція
1067	так звана «Капська колія» - Снефелльська гірська залізниця; Ангола; Австралія; Ботсвана; Гана; Еквадор; Індонезія; Японія (за винятком високошвидкісних ліній — Синкансен); Південно-Африканська Республіка; Конго; Коста-Ріка; Малаві; Мозамбік; Намібія; Нова Зеландія; Нікарагуа; Нігерія; Росія (Сахалінська залізниця); Судан; Тайвань; Танзанія; Гондурас; Швеція
1050	Йорданія; Сирія. Hejaz railway (англ.)

1	2
1000	так звана «метрова колія» - Аргентина; Бангладеш; Бенін; Бразилія; Болівія; Буркіна Фасо; Бірма; В'єтнам; Індія; Камбоджа; Камерун; Кенія; Лаос; Малайзія; Малі; М'янма; Пакистан; Польща; Португалія; Сенегал; Танзанія; Таїланд; Туніс; Уганда; Іспанія; Швейцарія
950	Італія; Еритрея
914	Колумбія; Перу; Канада; Сальвадор; Гватемала; США; Іспанія; Новоафонська печерна залізниця
900	Польща
891	Швеція
800	Зазвичай промислові залізниці - Уельс; Швейцарія
785	Польща
762	Австралія; Чилі; Індія; Сьєрра-Леоне; США
760	Бразилія; Австрія
750	Греція; Польща; Росія; Швейцарія і в інших країнах
700	так звана «Декавілевська колія» Аргентина; Данія; Індонезія; Іспанія; Нідерланди (пром. лінії); Франція (Chemin de fer d'Abreschviller)
686	Англія Corris Railway (англ.), Talyllyn Railway (англ.)
610	Австралія; Індія; Південно-Африканська Республіка — дві залізниці: 248 км и 122 км; Англія; США.
600	Уельс, Індія, Пакистан, Південна Америка; Греція; Польща; Швеція; Англія. Yaxham Light Railway (англ.), Vale of Rheidol Railway (англ.)
578	Англія; Penrhyn Quarry Railway (англ.)
508	Росія; Красноярська дитяча залізниця (з 1961)
457	Англія; Steeple Grange Light Railway (англ.)
381	США в Висконсин-Деллс; Висконсин; Riverside and Great Northern Railway (англ.); Англія; (Bure Valley Railway (англ.); Cleethorpes Coast Light Railway (англ.); Romney, Hythe and Dymchurch Railway
305	Росія; Красноярська дитяча залізниця (з 1936 по 1961 рік)

Тим не менше викликає зацікавленість з'ясування питання про прийняті розширення колії у кривих у порівнянні із прямими.

На закордонних залізницях розширення колії у кривих надаються різні, - в залежності від конструкції екіпажів, величини зазорів δ на прямих та потужності верхньої будови. Так, в США при достатньо потужній верхній будові колії (за звичай використовуються рейки вагою від 115 до 141 lb/yd,

що відповідно дорівнює від 57,0 до 69,9 кг/пог. м). Американська асоціація залізничних інженерів рекомендує розширення колії починати у кривих з радіусом 218 м. Ця вказівка виконується рядом доріг. Більшість залізниць починають розширення колії з кривих радіусом 350 м.

На англійських залізницях розширення колії починають з радіуса 203 м, на німецьких залізницях з радіуса 300 м, на іспанських залізницях з радіуса 400 м.

На багатьох залізницях земної кулі розширення колії у кривих роблять при радіусі цих кривих менше 600 м і навіть менше 400 м (частина французьких залізниць та ін.). При цьому особливо слід зазначити, що загальна тенденція багатьох країн полягає в тому, що розширення починають улаштовуватися лише при все менших і менших значеннях радіусів кривих.

Таким чином, прагнення звужити ширину колії у кривих аж до уніфікації відзначається, як корисний захід з ряду причин, викладених вище. Однак у ряду фахівців виникали сумніви в економічній ефективності цієї пропозиції. Зокрема були висловлені побоювання про те, що при зменшенні ширини колії зросте бічний знос рейок, збільшиться опір руху екіпажів.

Вивчаючи історію цього питання можна помітити, що ще на початку минулого сторіччя професор К. Ю. Цеглинський висловився в тому розумінні, що звуження колії повинне зменшити опір руху, головним чином, за рахунок того, що кут набігання вісі, що набігає, екіпажа буде менше.

У дослідженнях Т. Tahr [88] ця думка знаходить підтвердження. Експериментальна робота Basellera - підтвердила ці дослідження. Зокрема, було показано, що на ділянці колії у кривій без розширення, сила тяги була меншою на 6,7%.

У більш пізніх дослідженнях Baseller [89] зроблені висновки про зменшення бічного зносу рейок у кривих зі зменшенням ширини колії на підставі залежності прийнятого ним критичного зношування у функції від радіуса кривої.

Під критерієм зношування розуміється величина

$$\sum P \cdot \alpha, \quad (1.5)$$

де $\sum P$ - сума напрямних зусиль;

α - кут набігання.

Залежність сум напрямних зусиль для колії зі збільшеним та зменшеним розширенням ширини колії показана на рис 1.1.

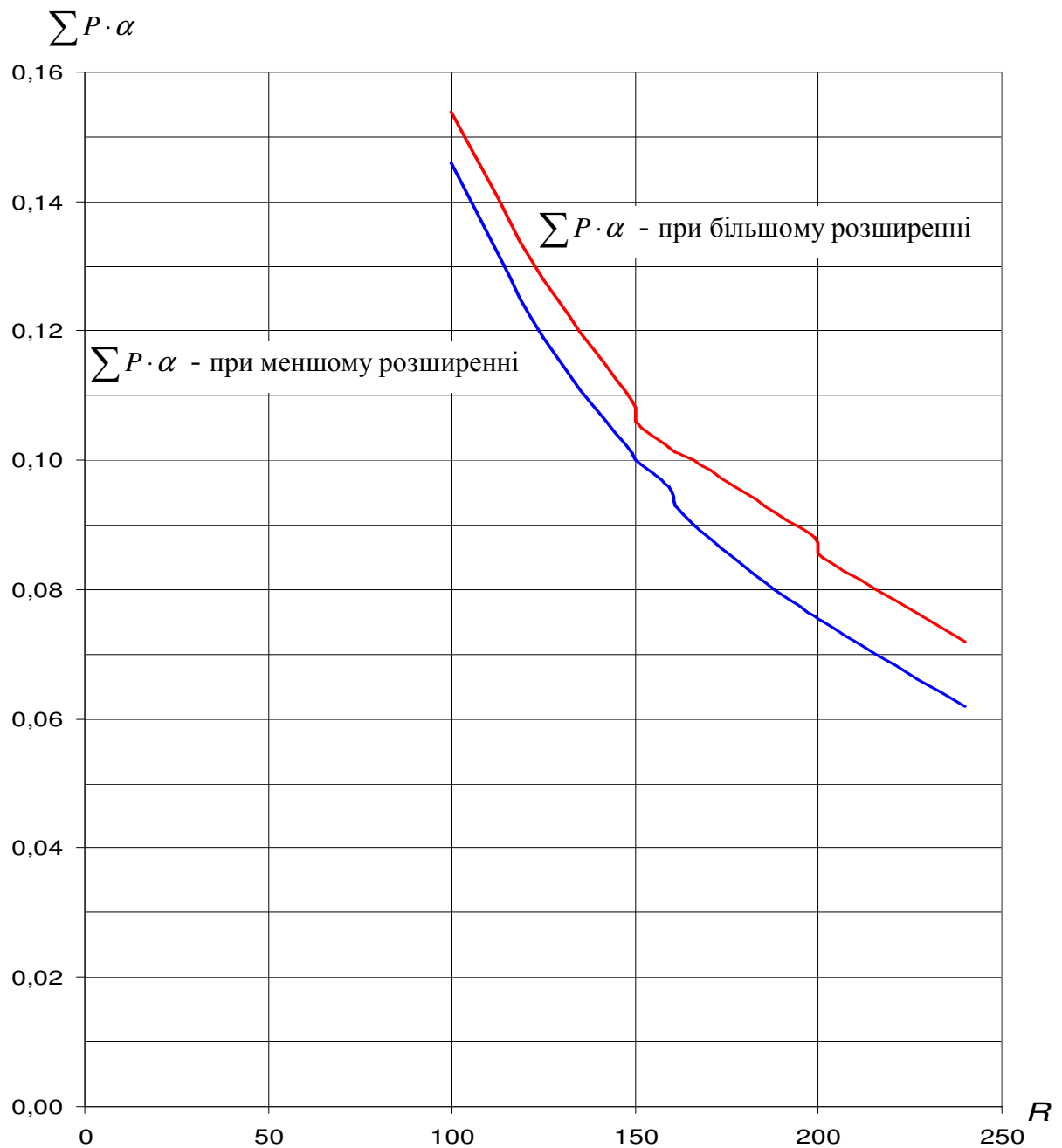


Рис. 1.1. - Графік залежності добутку $\sum P \cdot \alpha$ від радіуса кривої ділянки на прикладі вписування 4-х вісного локомотива

На сьогоднішній день як на залізницях України, так і країн СНД відсутні обґрунтовані норми улаштування ширини колії на залізобетонних шпалах у кривих ділянках колії з радіусами кругових кривих менше 350 м. Такі обґрунтування відсутні, насамперед, через те, що відсутні конструкції колії, що відповідали б вимогам для таких кривих. Основною вимогою до конструкцій колії є можливість складання колії з заданою та обґрунтованою шириною колії в межах кругової кривої і забезпечувати відвід розширення в межах перехідних кривих. Крім того така конструкція повинна передбачати можливість регулювання ширини колії, що змінюється в процесі експлуатації. Якщо питання складання колії заданої ширини можливо вирішити, наприклад, за допомогою нових конструкцій шпал, то питання регулювання ширини колії за рахунок конструкції шпали вирішити, поки що неможливо. Навіть вирішивши питання конструкції колії з заданими вимогами необхідно розробити рекомендації, щодо утримання такої конструкції в кривих ділянках колії з радіусами менше 350 м.

1.2 Існуючі методи визначення параметрів взаємодії колії та рухомого складу в кривих ділянках колії

Із розвитком залізничного транспорту також змінювалася конструкція залізничної колії. Методи ж розрахунку процесів взаємодії колії і рухомого складу разом з розвитком транспорту також розвивалися як в експериментальному, так і в теоретичному напрямках. Очевидним є те, що адекватність відображення дійсності залежить, в основному, від поєднання теоретичних та експериментальних методів у їхньому взаємозв'язку. У більшості розрахункових моделей і схем, застосовуваних для дослідження взаємодії колії з рухомих складом, основними параметрами залізничного колії є: параметри колії в цілому і її елементів, моменти інерції цих елементів, залежності величин лінійних і кутових переміщень або деформацій елементів від величин прикладених до них сил чи моментів сил, параметри, що характеризують силові взаємодії елементів, між якими відбувається проковзування, параметри, що характеризують розсіювання енергії в системі, а також наявні в моделі кінематичні обмеження.

Для спрощення моделей і зручності теоретичних досліджень часто вдаються до лінеаризації нелінійних функціональних залежностей між силовими факторами і переміщеннями, а значення жорсткостей, інерційних параметрів і демпфування зв'язують з вертикальними, горизонтальними, поперечними і кутовими переміщеннями.

Під час побудови моделі керуються метою моделі, що розв'язується вимогами кінцевого результату і необхідною точністю. Більш чи менш повний динамічний розрахунок є, тим не менше, надзвичайно складним і не є загальнодоступним. Більшість аналізів обмежуються квазістатичними припущеннями. Реальні динамічні проблеми в більшості випадків розв'язуються з допомогою знаходжень емпіричних коефіцієнтів у натурних вимірюваннях.

Використання можливості комп'ютерних обчислень робить можливим використовувати моделі на основі тривимірного методу кінцевих елементів. Використання даного методу є досить ресурсомістким і потребує багато витрат праці людини. Час, що є необхідним для підготовки, моделювання та інтерпретації однієї задачі, часто є лімітуючим параметром у процесі моделювання. Невідомі характеристики матеріалів та їх неоднорідність обмежують використання цих моделей. З іншої сторони, використання значних обчислювальних ресурсів машин робить можливим застосовувати більш деталізовані моделі ніж раніше.

Динамічні і геометричні характеристики колії і рухомого складу є статистичними величинами. Параметри статистичних зв'язків між різними складовими вертикального навантаження не у всіх умовах значимі; між деякими компонентами загального вертикального динамічного навантаження від колеса на рейку існує лише слабкий зв'язок. Це дозволяє в інженерних наближених розрахунках різні динамічні процеси, що протікають у рухомому складі і колії, розглядати як незалежні.

Під впливом вертикальних і горизонтальних сил рейкова колія змінює форму (шляхом деформації її елементів) і напруження. Діючи на рейки сили прагнуть зігнути їх у вертикальній і горизонтальній площинах, зрушити щодо шпал, перекинути їх, скрутити уздовж поздовжньої осі.

У рейках при проходженні коліс рухомого складу виникають напруження від згинання у вертикальній та горизонтальній площинах і кручення (так звані основні нормальні напруження), місцеві напруження, зумовлені місцевим вигином шийки і підшви рейки під навантаженням, концентрацією напружень по контуру болтових отворів і в різних викружках рейки, і так звані контактні напруження в головці рейки, у зоні її контакту з колесом.

Основні нормальні напруження по осі підшви рейки, що викликані прикладеними до її головки вертикальними динамічними силами, визначаються з використанням відомого із опору матеріалів відношення

згинального моменту до моменту опору поперечного перерізу рейки відносно горизонтальної осі.

В інженерних розрахунках, для визначення величини кромкових напружень по зовнішній та внутрішній кромці підшви рейки, вдаються до множення осьових напружень на коефіцієнт f , що визначається за результатами натурного експерименту [46]. У розрахунках колії важливо також знати максимальні основні стискаючі напруження в кромках головки рейки. У роботі [90, 91] запропоновано визначати їхнє значення по відомій величині напружень по осі підшви рейки, шляхом множення на перехідний коефіцієнт $m_{Г-К}$, що залежить від коефіцієнта f , типу та величини зносу рейки. Відомо, що ці напруження досягають найбільших значень на кривих ділянках колії по внутрішній кромці головки зовнішніх рейок.

Експериментальні дослідження, на відміну від теоретичних, характеризуються вищою надійністю одержання кінцевих результатів; однак, вони в меншому ступені, ніж теоретичні дослідження, дають можливість простежити ланцюг причин і наслідків досліджуваних процесів. Тому раціональне поєднання експериментальних і теоретичних методів дозволяє добре і надійно проникати в сутність явищ взаємодії колії та рухомого складу.

У залежності від потреб теорії і практики в експериментальних дослідженнях взаємодії колії та рухомого складу, як правило, ставлять наступні задачі:

1) одержання відомостей про вплив конструктивних особливостей колії і рухомого складу на параметри, що входять у теоретичні розрахунки і необхідні для аналізу і прогнозування багатьох складних динамічних процесів у колії і рухомому складі;

2) дослідження, що пов'язані з установленням норм влаштування й утримання рухомого складу і колії;

3) визначення допустимих швидкостей руху серійного рухомого складу по нових конструкціях колії;

4) оптимізація конструкції екіпажу, що спрямована на поліпшення його динамічних якостей, зменшення впливу на залізничну колію і забезпечення міцності самої конструкції.

Кожна із зазначених вище задач вирішується прямими вимірами динамічних процесів, відповідними методами обробки, систематизацією й аналізом результатів вимірів. Експериментальні дослідження процесів взаємодії колії і рухомого складу, що називаються комплексними випробуваннями, складаються з двох основних видів випробувань: динамічних (ходових) і по оцінці впливу екіпажу на колію. У ходових випробуваннях при русі екіпажа через задані випадково чи певні інтервали часу на ньому реєструються динамічні процеси; в випробуваннях по впливу екіпажа на колію на фіксованих ділянках (відрізках) колії вимірюються і реєструються динамічні процеси в елементах колії. Їхній спільний аналіз, що включає взаємну кореляцію отриманих даних, дозволяє з достатньою повнотою вирішувати поставлені в експериментах задачі.

У поїздках по дослідній ділянці вимірюють і реєструють вертикальні сили, що діють на елементи екіпажу за рахунок коливань на ресорах надресорної частини рухомого складу і рам візків; горизонтальні поперечні сили в екіпажі; вертикальні і горизонтальні сили, передані колесами рейкам; прискорення в різних точках екіпажу; кутові переміщення візків відносно кузова і рейкової колії; інші необхідні в випробуваннях лінійні і кутові переміщення елементів в екіпажній частині.

Виміри динамічних показників впливу дослідного рухомого складу на колію мають на меті установити їхні максимальні значення і визначити умови, при яких буде забезпечена безпека руху екіпажа за умовами міцності і стійкості колії.

При оцінці впливу екіпажу на колію у місцях установки приладів визначають: динамічні напруження в кромках підшви рейок; сили що передаються рейкою шпалі; пружні загальні деформації рейок; вертикальні і поперечні горизонтальні динамічні сили, що сприймаються рейками.

Вимір пружних деформацій рейок проводиться електричними прогиномірами. Залишкові вертикальні, горизонтальні поздовжні і поперечні переміщення рейок визначаються прямими вимірами цих переміщень лінійкою або за допомогою пристрою для виміру положення за рівнем відносно встановлених безпосередньо поблизу колій або прямо на колії нерухомих реперів. Вертикальні сили, що сприймаються рейкою, визначаються за допомогою тензорезисторів, наклеєних на шийку рейки в зоні нейтральної осі. Величини бічних сил розраховуються за методикою О.П. Єршкова [92] з використанням експериментально отриманих кромкових напружень у підшві й у зовнішній грані головки рейки.

1.3 Сучасні підходи до вирішення проблеми проміжних скріплень для залізобетонних шпал

Останнім часом масово впроваджується конструкція колії із залізобетонними шпалами. Практика експлуатації такої колії свідчить про необхідність її удосконалення. Особливо гостро стоїть проблема проміжних рейкових скріплень [93].

Зараз на мережі залізниць України для колії із залізобетонними шпалами найбільше поширення має підкладкове клемно-болтове скріплення типу КБ. Клемно-болтове скріплення типу КБ було ретельно перевірене в експлуатаційних умовах [94, 95], у результаті чого виявилось, що воно надійно прикріплює рейку до шпали, але має ряд недоліків. Головними з яких є те, що скріплення КБ не дозволяє розширювати ширину колії в кривих ділянках колії і регулювати ширину колії при експлуатації. Через що в кривих з радіусами менше 350 м вимушені й досі використовувати дерев'яні шпали.

Світова практика застосування рейкових скріплень показує, що на залізобетонній підрейковій основі в основному застосовують декілька типів

рейкових скріплень: «Пендрол» (Великобританія), «Фоссло» (Німеччина), СБ-3 (Польща).

В Російській Федерації досліджуються проміжні скріплення типу БПУ, ЖБР-65, але проблема регулювання ширини колії залишається невирішеною [96, 97]. Крім того, довгий час вибірково впроваджується безболтове безпідкладкове з пружною клемою скріплення типу АРС, розроблене МПТом. Спостереження за роботою скріплення АРС показують, що воно надійно та майже з постійною в часі монтажною силою, притискує рейку до шпали протягом усього міжремонтного строку. Скріплення АРС рекомендується застосовувати навіть у крутих кривих [96, 97]. Але за результатами експериментальних досліджень колії зі скріпленням АРС-4, що проведені ДПТом [2], зроблено висновок про те, що колія із залізобетонними шпалами, рейками типу Р65 і скріпленням АРС-4 може бути рекомендована для застосування тільки у прямих ділянках колії зі швидкістю до 120 км/год для пасажирських поїздів та 80 км/год для вантажних поїздів.

В Україні закріпилося і досить інтенсивно впроваджується скріплення типу КПП-5. Конструкція скріплення КПП-5, порівняно з АРС, простіша, але вона крім того що не дає можливості регулювати ширину колії, ще й не дає змоги регулювати положення рейки по висоті та регулювати монтажну силу притискання рейки до шпали.

Питаннями вдосконалення конструкцій верхньої будови колії та рейкових скріплень свого часу займалося багато вітчизняних вчених: докт. техн. наук В.Г. Альбрехт [99], А.Ф. Золотарський [100], С.В. Амелін [101], Г.М. Шахунянц [52], М.А. Фрішман [55], М.Ф. Веріго [94], В.І. Ангелейко [102], Г.Е. Андрєєв [103-104], Ю.Д. Волошко [114], М.І. Карпущенко [110], В.І. Новаковіч [115], Е.І. Даніленко [98], В.В. Рибкін [2], М.Д. Кравченко; канд. техн. наук В.В. Серебряніков, Т.А. Лапідус [62], Л.Г. Крисанов, В.Ф. Афанасьєв, В.С. Лисюк, В.В. Говоруха, Г.К. Жилін, О.М. Жученко, В.П. Гнатенко, А.М. Орловський, А.П. Татуревич, В.В.Циганенко, М.І. Уманов, А.І. Белорусов [111], М.П. Настечик, М.Д. Костюк, В.М. Твердомед та ін.

Вперше для українських залізниць комплекс необхідних технічних вимог до сучасних рейкових скріплень на залізобетонних шпалах було сформульовано в роботах українських вчених проф. Е.І. Даніленка і канд. техн. наук О.М. Жученко та М.Д. Костюка [112, 113]. Твердомед В.М. дав наукове обґрунтування раціональним сферам застосування для сучасних умов експлуатації залізниць України підкладкової і безпідкладкової конструкції рейкової колії з вітчизняними пружними скріпленнями типу КПП [67].

Аналіз роботи колії із залізобетонними шпалами в Україні показує, що проблему проміжних скріплень слід розв'язувати як в напрямку пошуку нових конструкцій, так і в напрямку удосконалення існуючих.

1.4 Мета та задачі дослідження

Знання сил взаємодії колії та рухомого складу дозволяє врахувати їх при проектуванні нових конструкцій колії, що в результаті може привести до інтенсивнішого їх використання, підвищення їх міцності, експлуатаційної надійності, безпеки використання та в кінцевому результаті привести до економічного ефекту.

Проведений аналіз розвитку та сучасного стану норм утримання колії, а також теоретичних та експериментальних досліджень у напрямку вивчення роботи залізничної колії, дає можливість зробити висновки та встановити цілі і завдання подальших досліджень, а саме:

Метою дисертаційної роботи є обґрунтування норм улаштування та утримання колії для кривих з радіусами менше 350 метрів шляхом розробки, обґрунтування і впровадження нових конструкцій рейкових скріплень з можливістю регулювання ширини колії.

У відповідності з поставленою метою в дисертації поставлені і вирішені наступні задачі:

1. Провести системний аналіз існуючих методів дослідження процесів взаємодії рухомого складу і колії та причин сходів рухомого складу, що мали місце на залізницях України; дослідити розподіл сходів за факторами впливу, такими як: радіус кривої, швидкість руху рухомого складу, тип рухомого складу, що зійшов, та причини сходів.

2. Вибрати критерії для оцінки взаємодії рухомого складу і колії та розробити математичну модель і програмне забезпечення до ПЕОМ для комплексного аналізу основних показників взаємодії та обґрунтування норм утримання колії для кривих ділянок радіусом менше 350 м.

3. Розробити і обґрунтувати норми улаштування колії на залізобетонних шпалах у кривих ділянках колії з радіусами кругових кривих менше 350 м.

4. Виконати наукове обґрунтування технічних вимог і вибір раціональних конструкцій рейкових скріплень для кривих ділянок радіусом менше 350 м.

5. Розглянути аспекти впровадження нових конструкцій і технологій укладання та експлуатації верхньої будови колії для залізниць України.

6. Дати техніко-економічну оцінку використання нових конструкцій і технологій укладання та експлуатації колії у порівнянні із існуючими.

РОЗДІЛ 2

АНАЛІЗ МАТЕРІАЛІВ РОЗСЛІДУВАННЯ СХОДІВ РУХОМОГО СКЛАДУ У КРИВИХ ДІЛЯНКАХ КОЛІЇ РАДІУСОМ МЕНШЕ 350 М

Міцність, інтенсивність використання, якість технічного обслуговування основних технічних засобів залізничного транспорту (колія, локомотиви і вагони) на всіх залізницях світу у всі часи були такими, що визначають безпеку руху поїздів.

До початку 90-х років минулого сторіччя об'єми перевезень безперервно зростали. Темпи росту протяжності залізниць і засобів перевезень відставали від темпу росту вимог у перевезеннях. Тому зростала інтенсивність використання технічних засобів транспорту. Максимуму зазначена інтенсивність досягла наприкінці 80-х років.

Міцність залізничної колії на залізницях України на початку 90-х років досягла самої високої за час їх існування величини завдяки систематичній заміні при капітальних ремонтах слабких конструкцій колії з рейками Р50 на більш міцні конструкції з рейками Р65, епурою шпал 1840–2000 шт./км і збільшеній товщині шару щебеня під шпалою. Це стало можливим лише з розвитком та впровадженням на магістральних лініях досягнень технічного прогресу і нових технологій колійного господарства.

Незмінним, важливим елементом верхньої будови колії є шпали, що здебільшого визначають стабільність параметрів колії і її надійність. На залізницях використовують залізобетонні і дерев'яні шпали, але останнім часом як на вітчизняних, так і на закордонних залізницях все більш широкого застосування знаходять перші. Сьогодні протяжність головних колій з цими шпалами на мережі залізниць України складає біля 70 % їх розгорнутої довжини і щорічно зростає на 3–4 %.

Підвищення швидкостей руху змінює умови експлуатації як рухомого складу, так і колії. Стан колії у кривих ділянках, є одним з основних факторів, що стримують впровадження високих швидкостей руху.

Головною вимогою до утримання колії є недопущення розвитку відхилень від норм до розмірів, що порушують плавність та безпеку руху.

Нажаль, на залізницях України щороку відбуваються сходи рухомого складу з рейок. Значна частина сходів відбувається у кривих ділянках, в тому числі у кривих радіусом менше 350 м.

Метою дослідження цього розділу є визначення зв'язку між параметрами будови колії у крутих кривих, швидкістю і показниками безпеки руху.

2.1 Матеріали розслідування сходів рухомого складу у кривих ділянках колії радіусом менше 350 м

В даній роботі аналізуються сходи, що мали місце на залізницях України, починаючи з 1994 року. Було зібрано матеріали розслідувань сходів рухомого складу з шести залізниць: Донецької, Львівської, Одеської, Південної, Південно-Західної та Придніпровської залізниць. Разом 78 сходів, з матеріалу розслідування сходів рухомого складу було вибрано дані стосовно радіусу та підвищення зовнішньої рейки ділянки колії, на якій мав місце схід, встановленої швидкості на ділянці руху та швидкості рухомого складу у момент сходу, виду рухомого складу, що зійшов, та причини сходу. Відібрані дані були також згруповані по залізницях і подані у вигляді таблиці А.1.

До аналізу не бралися сходи, що були викликані помилками працівників залізниць, випадкові технічні відмови – злами деталей і т.п.

З відібраних до аналізу випадків у 12 причиною сходів є недоліки у рухомому складі, порушення у розміщенні і кріпленні вантажів, завантаження вагонів більше норми і перевищення швидкостей руху. Ці випадки сходів не аналізувалися в рамках даного дослідження.

2.2 Розподіл сходів рухомого складу за факторами впливу

2.2.1 Розподіл сходів по залізницях

Розподіл сходів рухомого складу по залізницях наведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1.

Розподіл сходів по залізницях

Залізниця	Кількість випадків
Донецька	3
Львівська	25
Одеська	9
Південна	8
Південно–Західна	29
Придніпровська	4

Більшість сходів сталося на Південно–Західній та Львівській залізницях, відповідно 29 і 25 сходів.

2.2.2 Розподіл сходів в залежності від радіусу кривих

На залізницях України значна частина сходів рухомого складу з рейок має місце у кривих різного радіуса.

В першу чергу слід відзначити, що переважна більшість сходів рухомого складу сталася у кривих радіусом менше 200 метрів – 35 випадків або 45 % від загальної кількості сходів. Загальна картина розподілу наведена у табл. 2.2.

Таблиця 2.2.

Розподіл сходів в залежності від радіусу кривих

Радіус кривих	Кількість випадків	Відсоток від загальної кількості
до 200 м	35	45 %
від 201 до 350 м	26	33 %
від 351 до 650 м	8	10 %
від 651 м і вище	6	8 %

Пояснення такого розподілу сходів у кривих слід шукати в аналізі показників взаємодії рухомого складу і колії у кривих і стану колії за даними вагонів-колієвимірників і натурних обстежень кривих ділянок різного радіуса.

2.2.3 Розподіл сходів в залежності від швидкості руху

Сходи рухомого складу у кривих в переважній більшості випадків сталися при невисоких швидкостях руху (див. табл. 2.3).

Таблиця 2.3.

Розподіл сходів в залежності від швидкості руху

Швидкість руху	Кількість випадків	Відсоток від загальної кількості
до 20 км/год	56	77 %
від 21 до 40 км/год	9	12 %
від 41 км/год і вище	5	6 %

За таких низьких швидкостей руху динамічні ефекти у вигляді додаткових сил від коливань рухомого складу, що виникають при проходженні нерівності колії, не можуть бути основними чинниками у сходах рухомого складу з рейок. Тут слід враховувати змінний режим руху, поштовхи при маневрах, які викликають додаткові поздовжні і поперечні сили, перекоси візків у плані і перерозподіл вертикального навантаження на рейку від коліс рухомого складу.

Та обставина, що 77 % сходів сталося при швидкості до 20 км/год пояснюються тим, що вони мали місце, в основному, на станціях при проведенні маневрів і менша частина - на перегонах.

2.2.4 Розподіл сходів за типами екіпажів

Сходи у кривих мали місце з різними типами локомотивів і вагонів. Вони наведені в табл. 2.4.

Розподіл сходів за типами екіпажів

Тип рухомого складу	Кількість випадків
1	2
Локомотиви: всього	40
у тому числі: ЧМЕЗ	22
М62	1
2М62	5
ВЛ80	7
ВЛ11	2
ВЛ60	1
ЄР2	1
ЧС4	1
Крани: всього	3
Вагони: всього	30

2.2.5 Розподіл сходів у залежності від причин

Тут розглядаються лише сходи, що пов'язані з недоліками в колійному господарстві. В семи випадках причиною сходів названо знос і викришування гостряків, порушення норм утримання стрілочних переводів за шириною колії, ординатами перевідної кривої, відбоями рейкової нитки. Сходи, що сталися в межах перевідної кривої стрілочних переводів, умовно прийнято як сходи у кривих відповідного радіуса, інші сходи не розглядалися.

Сходи у кривих ділянках колії у матеріалах розслідування пояснюються наступними причинами, наведеними у табл. 2.5.

Таблиця 2.5.

Розподіл сходів в залежності від причин

Причина сходу за матеріалами розслідувань	Кількість випадків
1	2
звуження колії	2
розширення колії	3
кути в плані (велика різниця стріл вигину в сусідніх точках)	8

1	2
порушення відводу рівня	11
перекоси	5
відступи від норм утримання перевідної кривої на стрілочних переводах	6
сукупність порушення норм утримання колії	5
незадовільне утримання колії	1
не вписування рухомого складу у криві ділянки з радіусом від 78 до 200 м	7
неправильного встановлення підвищення зовнішньої рейки у кривих ділянках	5
кущова непридатність шпал	3

З цього переліку видно, що основними причинами сходів найчастіше вважається порушення норм по крутизні відводів підвищення рейок у кривих, велика різниця стріл вигину в суміжних точках, неправильне встановлення підвищення зовнішньої рейки у кривих. В багатьох випадках сходів у колії зафіксовані відхилення одночасно за кількома параметрами. Найчастіше сходи відбувалися шляхом перекочування гребеня колеса через головку рейки.

Аналізуючи дані таблиці А.1, слід звернути увагу на невідповідність між радіусами кривих, підвищеннями зовнішньої рейки і встановленою швидкістю руху. Так, на Львівській залізниці у кривих радіусом 200 м встановлена швидкість 15 км/год при підвищенні зовнішньої рейки 50 і 60 мм, 40 км/год при підвищенні 40 мм і 25 км/год при підвищенні 0 мм. При цьому непогашені поперечні прискорення можуть бути від $-0,29 \text{ м/с}^2$ до $+0,37 \text{ м/с}^2$. Фактичні швидкості руху були приблизно в 2 рази менше встановленої. Подібні невідповідності мають місце і на інших залізницях.

Разом з тим викликає заперечення, коли причиною сходу називається швидкість руху менше встановленої, наприклад, 12 км/год при встановленій швидкості 25 км/год, або перевищення швидкості руху 7 км/год при встановленій – 5 км/год.

Викликає заперечення і твердження, що причиною сходу вагона на Південній залізниці - є недостатнє підвищення зовнішньої рейки у кривій радіусом 200 м при швидкості 4 км/год. Доречі, на стрілочних переводах марки 1/9 радіус кривої 200 м, підвищення 0 мм і допустима швидкість становить 40 км/год.

Сумнівними причинами сходів є кути в плані, перекоси і відступи за рівнем III ступеня при швидкості руху до 25 км/год, бо за нормами [116] на ділянках з такими відступами дозволяється рух із значно більшими швидкостями, і ряд інших.

Відсутність у матеріалах службового розслідування аргументації і розкриття механізмів впливу недоліків у стані колії і рухомого складу на його рух і сходи з рейок справляють враження незакінченості розслідування. Виконана тільки початкова стадія розслідування – зафіксовано стан колії і рухомого складу. Подальшим кроком повинен бути аналіз з розрахунками, що показали б, у який спосіб недоліки приводять до появи сил, здатних підняти колесо вище головки рейки і перемістити його в сторону. Такого аналізу, на жаль, не проводиться.

2.3 Аналіз стану колії у кривих ділянках за даними вагонів-колівимірювачів

Проведено аналіз стану 114 кривих радіусом менше 350 м за даними вагонів-колівимірювачів і вибіркове натурне обстеження окремих кривих. Серед них радіусом до 179 м – 9 кривих, від 180 м до 199 м – 3 кривих, від 200 м до 299 м – 80 кривих, від 300 м до 350 м – 22 кривих.

Виділені основні відхилення в стані кривих III – IV ступенів [116] за рівнем, напрямом у плані рейкової нитки, шириною колії та осіданням рейкової нитки (див табл. 2.6–2.10)

В результаті аналізу табл. Б.1 можливо привести розподіл відступів в утриманні рівня на 1 км колії у кривих ділянках (табл. 2.6).

Таблиця 2.6.

Розподіл відхилення в стані кривих III – IV ступенів за рівнем на 1 км

Радіус	Кількість кривих	Довжина, м	Всього відступів на 1 км		
			III ст.	IV ст.	V ст.
менше 179 м	9	1925	5.7	4.2	3.1
від 180 м до 199 м	3	845	8.3	3.6	1.2
від 200 м до 299 м	80	24169	6.3	2.9	1.5
від 300 м до 350 м	22	5943	6.4	2.0	0.7

З таблиці 2.6 видно, що при зменшенні радіусу кількість відступів за рівнем IV та V ступенів збільшується.

За даними табл. Б.2 розроблено розподіл відступів в утриманні колії за напрямом у плані на 1 км колії у кривих ділянках, що наведений у табл. 2.7.

Таблиця 2.7.

Розподіл відхилення у стані утримання кривих III – IV ступенів за напрямом у плані на 1 км колії

Радіус	Кількість кривих	Довжина, м	Всього відступів на 1 км		
			III ст.	IV ст.	V ст.
менше 179 м	9	1925	8.3	8.3	6.8
від 180 м до 199 м	3	845	4.7	5.9	1.2
від 200 м до 299 м	80	24169	6.3	5.8	2.4
від 300 м до 350 м	22	5943	8.7	5.4	0.8

З таблиці 2.7 видно, що при зменшенні радіусу кількість відступів за напрямом у плані IV і V ступенів збільшується.

З табл. Б.3 отримуємо розподіл відступів в утриманні колії за шаблоном на 1 км колії у кривих ділянках (табл. 2.8).

Розподіл відхилення у стані утримання кривих III – IV ступенів
за шаблоном на 1 км колії

Радіус	Кількість кривих	Довжина, м	Всього відступів на 1 км		
			III ст.	IV ст.	V ст.
менше 180 м	9	1925	0.5	0.5	0.5
від 180 м до 200 м	3	845	4.7	0.0	0.0
від 200 м до 299 м	80	24169	0.9	0.7	1.0
від 300 м до 350 м	22	5943	2.4	1.0	1.3

З таблиці 2.8 видно, що кількість відступів за шаблоном III ступеню найбільша у кривих ділянках колії з радіусом від 180 до 199 м.

З табл. Б.4 отримуємо розподіл відступів в утриманні колії по осіданню рейкової нитки на 1 км колії у кривих ділянках (табл. 2.9).

Таблиця 2.9.

Розподіл відхилення у стані утримання кривих III – IV ступенів
по осіданню рейкової нитки на 1 км колії

Радіус	Кількість кривих	Довжина, м	Всього відступів на 1 км		
			III ст.	IV ст.	V ст.
менше 179 м	9	1925	3.1	0.0	0.0
від 180 м до 199 м	3	845	1.2	0.0	0.0
від 200 м до 299 м	80	24169	2.7	0.2	0.0
від 300 м до 350 м	22	5943	2.2	0.2	0.0

З таблиці 2.9 видно, що кількість відступів по осіданню III ступеню найбільше у кривих ділянках колії з радіусом до 180 м, а кількість відступів IV і V ступенів – не значна в загальному порівнянні.

Загальна картина розподілу відступів III – V ступенів на 1 км в залежності від радіусу кривих наведена у табл. 2.10 та рис. 2.1.

Розподіл відхилення у кривих ділянках III – IV ступенів
за нормами утримання на 1 км колії

Радіус	Кількість кривих	Довжина, м	Всього відступів на 1 км		
			III ст.	IV ст.	V ст.
менше 179 м	9	1925	17.7	13.0	10.4
від 180 м до 199 м	3	845	18.9	9.5	2.4
від 200 м до 299 м	80	24169	16.2	9.7	5.0
від 300 м до 350 м	22	5943	19.7	8.6	2.9

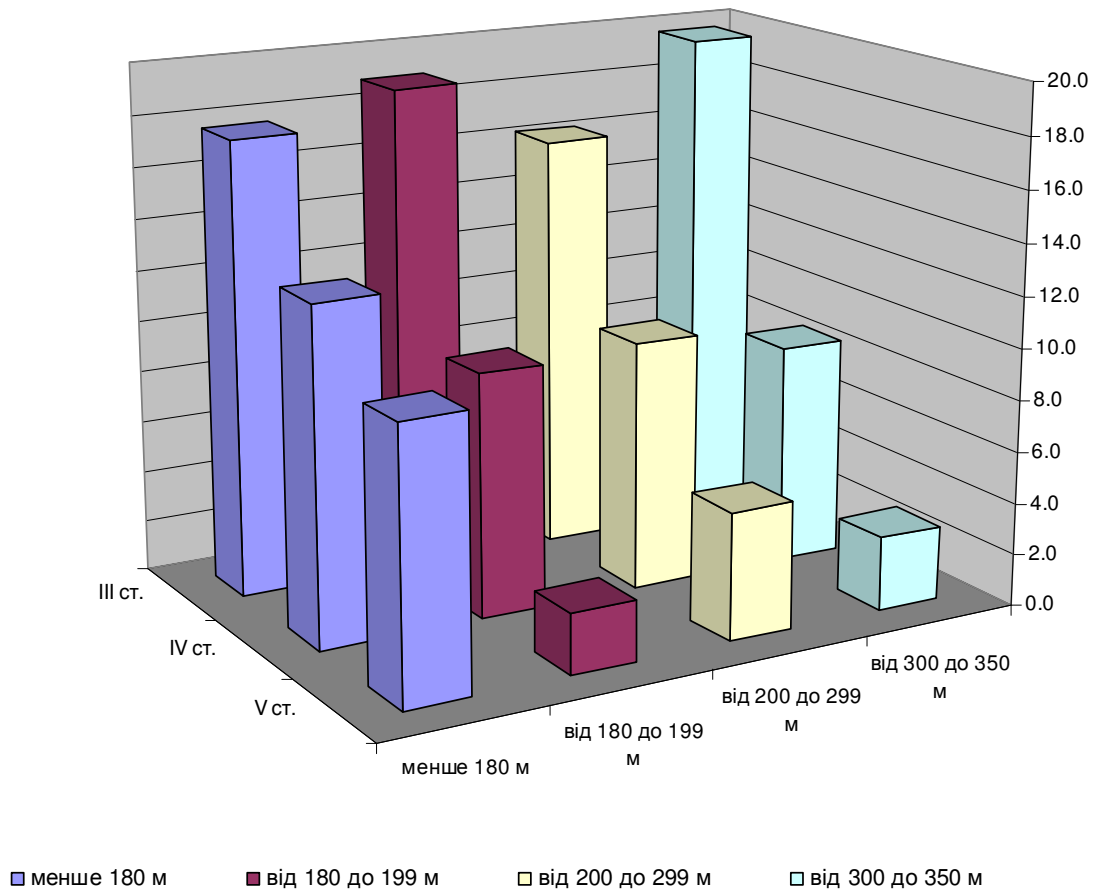


Рис. 2.1. - Розподіл відхилення у кривих ділянках III – IV ступенів на 1 км колії

2.4 Висновки до розділу 2

Зведений аналіз матеріалів розділу дозволяє зробити наступні висновки:

1. Основними причинами сходів рухомого складу з рейок у кривих ділянках з радіусами менше 350 м найчастіше вважається порушення норм по крутизні відводів підвищення рейок у кривих, велика різниця стріл вигину в суміжних точках, неправильне встановлення підвищення зовнішньої рейки у кривих. У всіх розглянутих випадках колія була укладена на дерев'яній підрейковій основі. Найчастіше сходи відбувалися шляхом перекочування гребеня колеса через головку рейки і це не завжди узгоджується з вказаними в матеріалах розслідування сходів причинами. Переважна більшість сходів рухомого складу сталася у кривих радіусом менше 200 метрів – 35 випадків або 45 % від загальної кількості розглянутих сходів.

В переважній більшості випадків сходи рухомого складу сталися при швидкостях руху до 20 км/год в 77 % випадків. Це пояснюється тим, що вони мали місце на станціях при проведенні маневрів. Серед сходів, що мали місце на перегонах з графіковими поїздами слід відзначити сходи тепловозів 2М62.

При таких низьких швидкостях руху динамічні ефекти у вигляді додаткових сил від коливань рухомого складу, що виникають при проходженні нерівності колії, не можуть бути основними чинниками у сходах рухомого складу з рейок. Тут слід враховувати змінний режим руху, поштовхи при маневрах, які викликають додаткові поздовжні і поперечні сили, перекоси візків у плані і перерозподіл вертикального навантаження на рейку від коліс рухомого складу, ріст сил тертя між колесами і рейками і в ходових частинах рухомого складу.

2. Аналіз стану колії на ділянках, де були сходи свідчить про наявність у кривих радіусом менше 350 м в середньому на 1 км кривої відступів III ступеня – 17, IV ступеня – 9,5 і V ступеня – 4. Кількість відступів на 1 км

кривої зростає із зменшенням радіуса, але не викликає на обстежених ділянках обмеження швидкості руху поїздів менше встановленої допустимої.

Проаналізовані дані показують, що основна частина сходів має місце на станціях у кривих з радіусом менше 350 м при виконанні маневрових робіт. В більшості випадків сходили з рейок локомотиви з тривісними візками. Виходячи з викладеного вище, подальші дослідження проводяться в таких напрямках:

- розрахунки геометричного вписування у кривих різного радіуса локомотивів з тривісними візками при номінальних параметрах будови колії і рухомого складу;
- теоретичні розрахунки динамічних сил, що виникають при вписуванні локомотивів з тривісними візками у криві радіусом до 350 м;
- теоретичні дослідження взаємодії вантажного вагона і колії у кривих ділянках для оцінки сил, що діють на колію;
- експериментальні дослідження взаємодії локомотивів з тривісними візками з верхньою будовою колії у кривій радіусом до 200 м;
- зведений аналіз матеріалів теоретичних досліджень і експерименту для оцінки впливу норм будови колії у кривих на безпеку руху і розробка пропозицій, що впливають з аналізу.

РОЗДІЛ 3

ОБҐРУНТУВАННЯ НОРМ ШИРИНИ КОЛІЇ У КРИВИХ ДІЛЯНКАХ РАДІУСОМ МЕНШЕ 350 М

Норми розширення і ширини колії у кривих встановлюються виходячи з наступних передумов:

1. Ширина колії повинна забезпечувати від заклиненого вписування екіпажів у криві, тобто від заклинювання ходових частин екіпажів між зовнішньою і внутрішньою рейковими нитками; інакше кажучи, ширина колії не повинна бути менше мінімально допустимої.

2. Ширина колії повинна забезпечувати від провалу коліс між рейковими нитками, тобто не перевищувати максимально допустиму ширину.

3. Ширина колії повинна забезпечувати (в частині, що залежить від ширини колії): найменший опір руху поїздів, зноси рейок і коліс; запобігати від пошкоджуваності рейок та коліс і колію від викривлень такої ширину колію називають оптимальною або розрахунковою.

У розрахунках по визначенню ширини колії необхідно знати відстань від центра повороту до геометричної вісі першої колісної пари. У випадку заклиненого і хордового вписування ця величина може бути прийнята рівній половині величини жорсткої бази візка (при візковому екіпажі). Але в залежності від виникаючих при русі силових взаємодій екіпажу й колії центр повороту може приймати різні положення. Найбільше своє значення полюсна відстань може прийняти тоді, коли залізничний екіпаж (його жорстка база) своїм зовнішнім колесом передньої вісі притискається до зовнішньої рейки кривої, а задня вісь жорсткої бази або займає радіальне положення, або прагне його зайняти; при цьому центр повороту екіпажа перебуває на перетині цього радіуса з поздовжньою геометричною віссю жорсткої бази (схема вільного вписування).

Для масового екіпажа прагнуть забезпечити таку ширину колії, при якій центр повороту розташований так, що умови взаємодії екіпажа й колії є найкращими – найменша ширина колії при можливості вільного вписування екіпажів у криві. У зв'язку із цим необхідно визначення горизонтальних і, зокрема, поперечних сил і центра повороту жорсткої бази екіпажа.

Визначенню центру повороту жорсткої бази екіпажа і горизонтальних поперечних сил, що виникають між колесом і рейкою при русі поїзда у кривих, присвячено багато робіт [16-21].

Як зазначалось у першому розділі, достатньо зручним для практичних розрахунків вписування у криві різноманітних екіпажів є узагальнений графо-аналітичний спосіб О.П. Єршкова [43-45]. У цьому способі прийнято, що навантаження від колеса на рейку розподіляється рівномірно між колесами всіх колісних пар у візку.

Але це допущення не відповідає дійсності. У розрахунку колії на міцність [125] пропонується завантажувати колісні пари у візку не рівномірно (одна колісна пара завантажується розрахунковою силою, а інші середніми) й дана методика по визначенню цих сил.

Однак у розрахункових схемах вертикальне навантаження від коліс однієї колісної пари на рейки приймається однаковим. При русі відбувається зменшення або збільшення вертикальних навантажень від коливань кузова на ресорах. Так при русі колісної пари рухомого складу по колії відбувається розвантаження однієї і довантаження другої рейки, а величину цього розвантаження можливо визначити згідно рекомендацій Г.М. Шахунянца [129].

Положення екіпажу у колії кривої ділянки залежить від величини непогашеної відцентрової сили, а величина поперечних сил і характер їх прикладення залежить і від відцентрової сили, і від ширини колії.

Тому питання встановлення ширини колії і підвищення зовнішньої рейки повинні розглядатись сумісно.

У наш час прийнято розраховувати ширину колії у кривих за умов вписування у ці криві залізничних екіпажів.

3.1 Мінімально допустима ширина колії

За розрахункову схему визначення мінімально допустимої ширини колії приймають схему заклиненого вписування залізничного екіпажа, при якій колеса крайніх вісей жорсткої бази своїми ребордами впираються в зовнішню рейку кривої, а внутрішні колеса середніх вісей упираються у внутрішню рейку. Центр повороту екіпажа перебуває посередині жорсткої бази, або прагне зайняти це положення.

Після цього до отриманої на підставі такої розрахункової схеми ширини колії додають мінімальний зазор $\delta_{\min}/2$ між бічними робочими гранями рейок і гребенями коліс на прямій ділянці, так як заклинене вписування в експлуатації допустити не можна.

Для двовісного візка (див. рис. 3.1) мінімально допустиму ширину колії $S_{\min}$, мм визначають з виразу

$$S_{\min} = q_{\max} + f_3 - f_B + \frac{\delta_{\min}}{2} + 4, \quad (3.1)$$

де $q_{\max}$ – максимальне значення відстані між робочими гранями гребенів коліс. Для локомотивів $q_{\max} = 1509$ мм;

f_3 і f_B – стріли вигину рейок зовнішньої і внутрішньої ниток кривої, відрахованих відповідно від хорд AB і CD , проведених через точки торкання коліс з зовнішньою і внутрішніми нитями;

$\delta_{\min}$ – сумарний мінімальний зазор на прямих ділянках, для локомотива $\delta_{\min} = 7$ мм;

4 – допуск на звуження колії.

Величини їх визначаються за формулами:

$$f_3 = \frac{(L + 2b)^2}{8R}, \quad (3.2)$$

$$f_B = \frac{(L - 2b)^2}{8R}, \quad (3.3)$$

$$b = \frac{L \cdot r}{2R} \operatorname{tg} \tau, \quad (3.4)$$

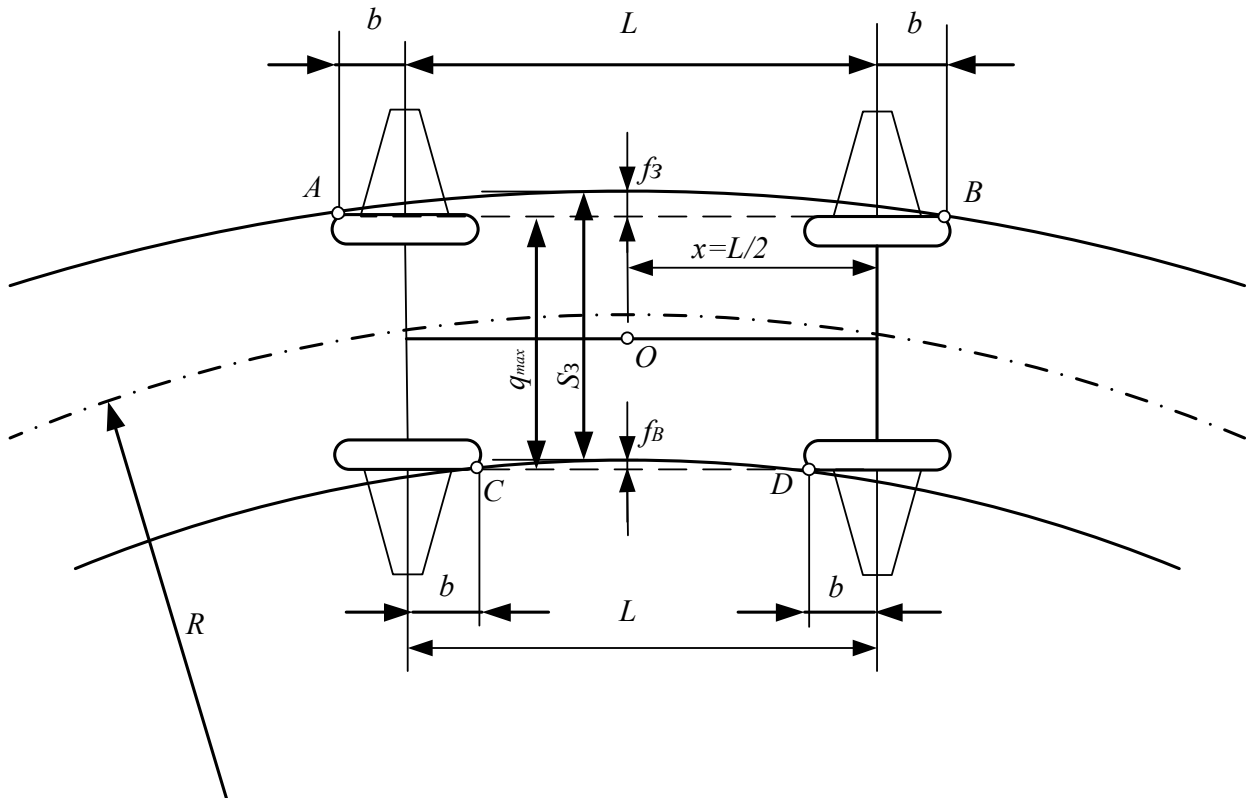


Рис. 3.1. - Схема заклиненого вписування двовісного візка в криву ділянку колії

Для тривісного візка слід розглядати два випадки.

Перший. Тривісний візок не має розбігів (рис. 3.2).

В цьому випадку тривісний візок буде заклинений у точках A , B і E та ширина колії $S_{\min}$ визначається виразом

$$S_{\min} = q_{\max} + f_3 + \frac{\delta_{\min}}{2} + 4 \leq [S]. \quad (3.5)$$

Другий. Тривісний візок має розбіги (рис. 3.3).

Спочатку визначаються суми розбігів

$$\sum \eta_i = \eta_1 + \eta_2, \quad (3.6)$$

де η_1 - розбіг крайніх вісей візка;

η_2 - розбіг середніх вісей візка.

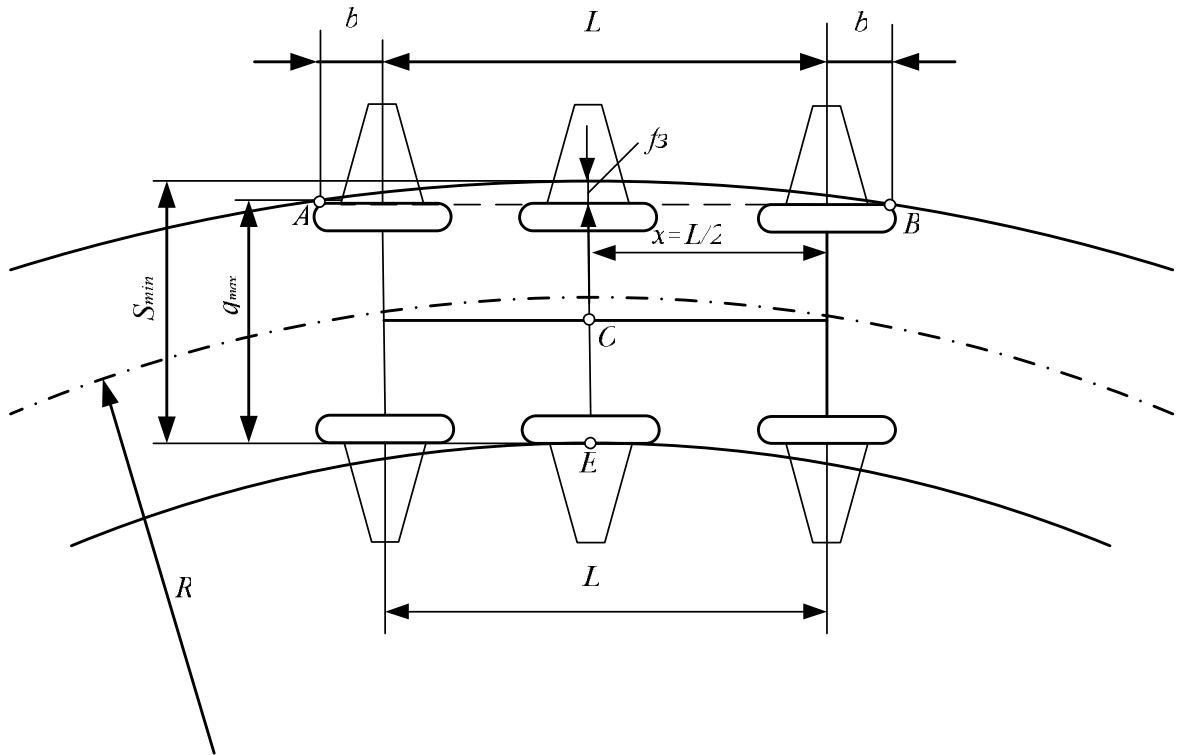


Рис. 3.2. - Схема заклиненого вписування тривісного візка без поперечних розбігів

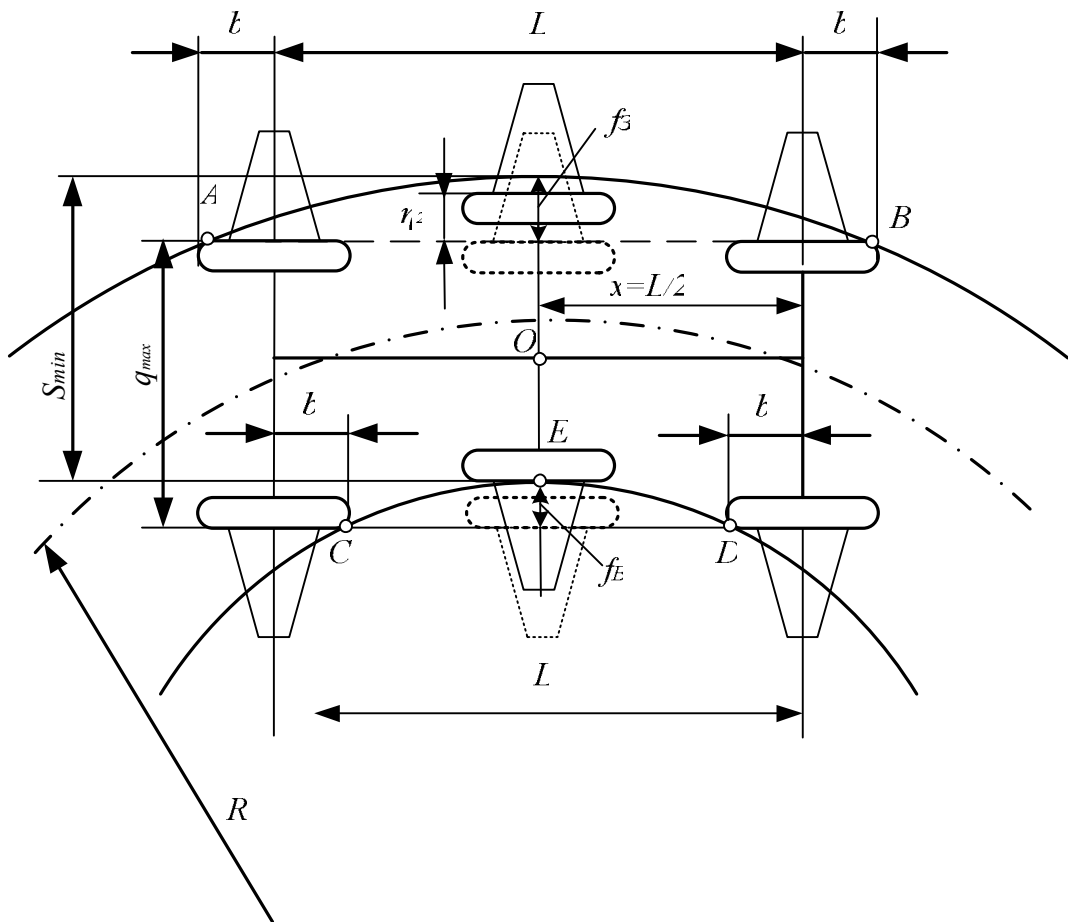


Рис. 3.3. - Схема заклиненого вписування тривісного візка з поперечними розбігами вісей

Порівняємо $\sum \eta$ з величиною f_B , отриманою по формулі 3.3.

Якщо $\sum \eta \geq f_B$, то візок буде заклинений у точках A , B , C і D та ширина колії $S_{\min}$ визначається виразом

$$S_{\min} = q_{\max} + f_3 - f_B + \frac{\delta_{\min}}{2} + 4 \leq [S]. \quad (3.7)$$

Якщо $\sum \eta < f_B$, то візок буде заклинений у точках A , B і E (див. рис. 3.2). Ширина колії $S_{\min}$ в цьому випадку

$$S_{\min} = q_{\max} + f_3 + \frac{\delta_{\min}}{2} + 4 \leq [S]. \quad (3.8)$$

Отримане значення $S_{\min}$ необхідно порівняти з нормативною шириною колії $[S]$ для прийнятого радіусу R кривої.

Знайдемо найменшу ширину рейкової колії для радіусу $R = 350$ м, при якій ще можливе розміщення візка в колії для пропуску магістрального тепловоза М62, що має колеса радіусом $r = 525$ мм, тривісні візки з жорсткою базою $L = 4200$ мм, поперечні розбіги вісей $\eta_1 = 1$ мм, $\eta_2 = 14$ мм.

Спочатку визначаємо суму розбігів $\sum \eta = \eta_1 + \eta_2 = 1 + 14 = 15$ мм.

Порівнюємо $\sum \eta$ з величиною f_B , що отримуємо з формули (3.3)

$$f_B = \frac{(L - 2b)^2}{8R} = \frac{(4200 - 2 \cdot 9)^2}{8 \cdot 350\,000} = 6 \text{ мм},$$

$$\text{де } b = \frac{L \cdot r}{2R} \operatorname{tg} \tau = \frac{4200 \cdot 525 \cdot 2.747}{2 \cdot 350\,000} = 9 \text{ мм};$$

$$f_3 = \frac{(L + 2b)^2}{8R} = \frac{(4200 + 2 \cdot 9)^2}{8 \cdot 350\,000} = 6 \text{ мм},$$

так, як $\sum \eta > f_B$, то візок буде заклинено у точках A , B , C і D та ширина колії $S_{\min}$ буде визначена з виразу $S_{\min} = q_{\max} + f_B - f_3 + \frac{\delta_{\min}}{2} + 4$,

$$S_{\min} = 1509 + 6 - 6 + \frac{7}{2} + 4 = 1517 \text{ мм}.$$

Результати розрахунків необхідної мінімальної ширини рейкової колії для пропуску довгобазного тепловоза М62 в кривих інших радіусів приведено у вигляді таблиці 3.1.

Таблиця 3.1.

Розрахунки мінімальної ширини рейкової колії для тепловоза М62

Радіус кривої R , м	Забіг колеса b , мм	Стріла вигину рейки по внутрішній нитці кривої f_B , мм	Стріла вигину рейки по зовнішній нитці кривої f_3 , мм	Мінімальна ширина рейкової колії $S_{\min}$, мм
100	30	21	23	1540
110	28	20	21	1538
120	25	18	19	1536
130	23	17	17	1534
140	22	15	16	1518
150	20	14	15	1518
200	15	11	11	1517
250	12	9	9	1517
300	10	7	7	1517
350	9	6	6	1517

Результати розрахунків необхідної мінімальної ширини рейкової колії для пропуску маневрового тепловоза ЧМЭЗ що має колеса радіусом $r = 525$ мм, тривісні візки з жорсткою базою $L = 4000$ мм, без поперечних розбігів вісей ($\eta_1 = 0$ мм, $\eta_2 = 0$ мм) у криві ділянки з радіусом менше 350 м приведено у вигляді таблиці 3.2.

Розрахунки мінімальної ширини рейкової колії маневрового тепловоза ЧМЭЗ

Радіус кривої R , м	Забіг колеса b , мм	Стріла вигину рейки по внутрішній нитці кривої f_B , мм	Стріла вигину рейки по зовнішній нитці кривої f_3 , мм	Мінімальна ширина рейкової колії $S_{\min}$, мм
100	29	19	21	1538
110	26	18	19	1536
120	24	16	17	1534
130	22	15	16	1533
140	21	14	15	1532
150	19	13	14	1531
160	18	12	13	1530
170	17	12	12	1529
180	16	11	11	1528
190	15	10	11	1528
200	14	10	10	1527
210	14	9	10	1527
220	13	9	9	1526
230	13	9	9	1526
240	12	8	8	1525
250	12	8	8	1525
260	11	8	8	1525
270	11	7	7	1524
280	10	7	7	1524
290	10	7	7	1524
300	10	7	7	1524
310	9	6	7	1524
320	9	6	6	1523
330	9	6	6	1523
340	8	6	6	1523
350	8	6	6	1523

3.2 Максимально допустима ширина колії

Ширина колії повинна забезпечувати від провалу коліс між рейковими нитками, тобто не перевищувати максимально допустиму ширину.

При збільшенні ширини колії в кривих може статися ситуація, коли колісна пара провалюється всередину колії колесом, яке котиться по внутрішній рейковій нитці кривої.

Положення колісної пари на рейках показано на рис. 3.4.

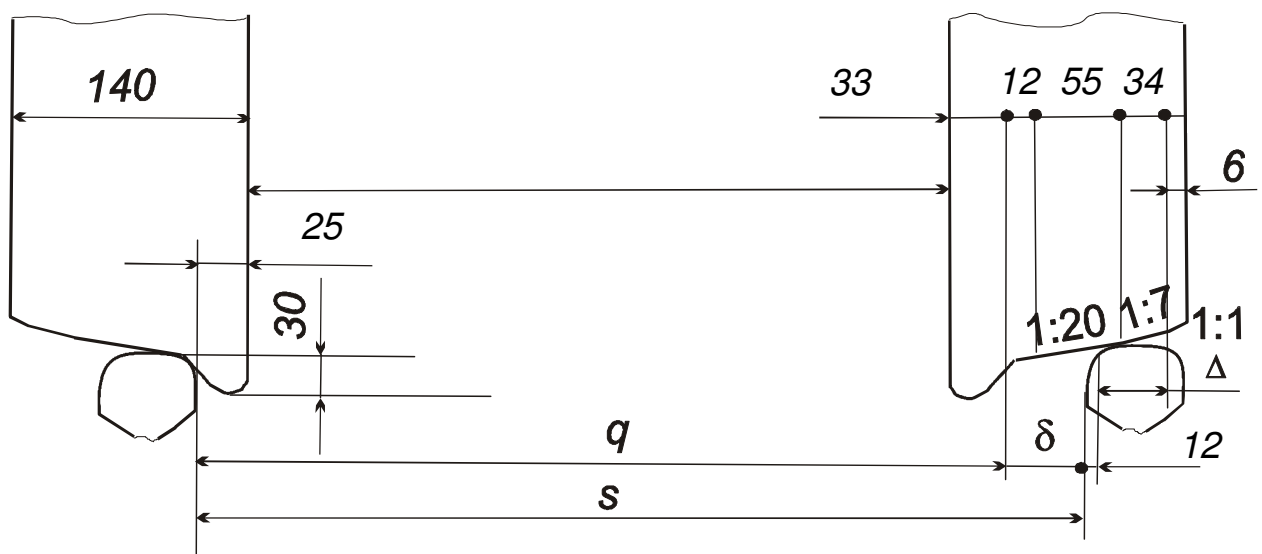


Рис. 3.4. - Положення колісної пари на рейках

Ліве колесо торкається гребенем головки рейки, а між гребенем правого колеса і рейки є вільний зазор. Стосовно можливості сходу колісної пари з рейок можливі три варіанти руху: безпечний (рис. 3.5а), небезпечний (рис. 3.5б) і вкрай небезпечний (рис. 3.5в).

Ступінь небезпеки сходу колеса з рейки можна характеризувати величиною Δ – відстанню від краю викружки на поверхні кочення рейки (точка 1 на рис. 3.5а) до краю поверхні кочення бандажа, що має уклон 1/7 (точка 2 на рис. 3.5).

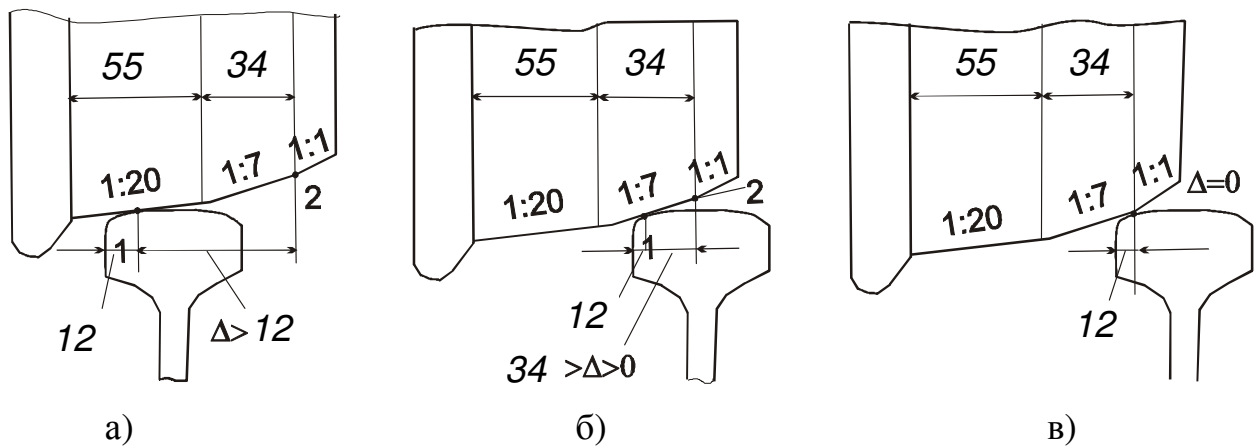


Рис. 3.5. - Можливі установки колеса на рейці

Безпечним є рух колеса, коли бандаж опирається на головку рейки тією частиною, що має уклон $1/20$ (рис. 3.5а). В цьому випадку $\Delta > 34$ мм, тобто більше ширини частини бандажа з уклоном $1/7$. Коли колесо опирається на рейку частиною бандажа з уклоном $1/7$ ($34 \text{ мм} > \Delta > 0$) рух є небезпечним, бо при цьому зростають горизонтальні поперечні сили взаємодії колеса і рейки та відповідні деформації. При $\Delta = 0$ над крайньою точкою викружки 1 знаходиться точка 2 бандажа – початок фаски бандажа і рух є вкрай небезпечним.

Величина Δ відповідно до рис. 3.4 дорівнює

$$\Delta = 25 + 1437 + 33 + 12 + 55 + 34 - 12 - 2 - (1520 + \Delta S_n + \Delta S_o + \Delta y) = 62 - \Delta S_n - \Delta S_o - \Delta y.$$

Розрахунок базується на методиці, викладеній в [120].

В розрахунках прийнято, що колісна пара займає крайнє ліве положення при мінімальній товщині гребеня 25 мм, насадці коліс 1437 мм і номінальних розмірах не зношеного правого колеса, зменшення величини насадки за рахунок згину осі 2 мм. Ширина колії в кривій дорівнює 1520 мм зі збільшенням на величину ΔS_n розширення при $R < 350$ м і ΔS_o в залежності від прийнятих допусків [117]. Δy – сумарні віджимки зовнішньої і внутрішньої рейкової нитки першою колісною парою візка, де діють найбільші поперечні сили.

Величину ΔS_n прийmemo відповідно до [117]

в кривій $R=350$ м – $\Delta S_n = 0$ мм;

$R=300$ м – $\Delta S_n = 10$ мм;

$R=180$ і 100 м – $\Delta S_n = 15$ мм, а $\Delta S_o = 6$ мм при швидкості руху 50 км/год і більше, $\Delta S_o = 10$ мм при швидкості до 50 км/год.

В табл. 3.3 приведені значення Δ при різних значеннях допусків ΔS_n , ΔS_o і зносах гребеня в різних кривих для випадку абсолютно жорсткої колії, тобто при $\Delta y = 0$.

Таблиця 3.3.

Розрахунки величини Δ в кривих

Радіус кривої R , м	ΔS_n , мм	ΔS_o , мм	Знос гребеня, мм	Δ	
				на жорсткій колії	при врахуванні деформації колії
350	0	6	8	56	41
		10	8	52	37
300	10	0	0	60	45
		0	8	52	37
		6	8	46	31
		10	8	42	27
180	15	0	0	55	40
		0	8	47	32
		6	8	41	26
		10	8	37	22
100	15	0	0	55	40
		0	8	47	32
		6	8	41	26
		10	8	37	22

Як видно з табл. 3.3, у випадку абсолютно жорсткої колії ($\Delta y = 0$) у всіх розглянутих випадках колесо опирається на рейку частиною бандажа, що має конічність 1/20, бо $\Delta > 34$ мм.

Максимальні спостережені значення віджимів головки рейки зовнішньої нитки кривої становлять близько 10 мм при середній величині їх 6,9 мм під дослідним тепловозом. По внутрішній рейковій нитці максимальні спостережені віджими становлять 6,6 мм, а середні – 4,8 мм.

Враховуючи дуже малу ймовірність появи одночасно максимальних віджимів по двох рейкових нитках, за сумарну величину віджимів обох рейкових ниток можна прийняти їх максимальну величину по зовнішній і середню величину по внутрішній рейковій нитці, тобто $\Delta y = 10 + 4,8 = 15$ мм.

При врахуванні деформацій рейкових ниток проекція бандажа на головку рейки Δ , також наведена в табл. 3.3. В окремих випадках, при максимальних допусках у розмірі ширини колії та зносу гребенів коліс, величина Δ стає меншою 34 мм, тобто бандаж опирається на головку рейки частиною, що має конічність 1/7.

При вказаних вище (в розрахунках величини Δ) мінімальних розмірах колісної пари початок опирання бандажу конічністю 1/7 в зоні викружки головки рейки можливий при ширині колії близько 1550 мм, а при відсутності зносу гребенів - при ширині 1558 мм.

Вкрай небезпечним є опирання в зоні викружки головки рейки крайньою точкою бандажа з конічністю 1/7 перед фаскою, яке стає можливим при ширині колії 1574 мм.

Отже, при дотриманні норм і допусків у стані колії і ходових частин рухомого складу безпеки сходів з рейок не настає. Але грубі відхилення від норм утримання і знос елементів верхньої будови колії і ходових частин, значний ріст моменту сил тертя між кузовом і візком тепловоза є небезпечними при русі в кривих радіусом менше 350 м.

Аналогічних висновків дійшли автори дослідження руху тепловоза ЧМЭЗ в кривих О.П. Єршков і М.Г. Зак [121]. За їх даними початок небезпечного кочення бандажа при зношених гребенях буде при ширині колії 1555 мм, а при відсутності зносу гребенів при ширині колії ≥ 1560 мм. Кочення кромкою бандажа з уклоном 1:1 має місце при ширині колії 1577 мм.

3.3 Розрахункова ширина колії

За схему визначення розрахункової ширини колії приймають таку, при якій залізничний екіпаж (його жорстка база) своїм зовнішнім колесом передньої вісі притискається до зовнішньої рейки кривої, а задня вісь жорсткої бази або займає радіальне положення, або прагне його зайняти; при цьому центр повороту екіпажа перебуває на перетині цього радіуса з поздовжньою геометричною віссю жорсткої бази екіпажа (схема вільного вписування).

Розглянемо задачу, що вирішується, на прикладі двовісного візка екіпажу, що рухається по колії з постійною швидкістю V . Вважаємо, що двовісний візок, з'єднаний шворнем з кузовом в точці Ш (рис. 3.6), набігає при своєму русі одним колесом на рейку з кутом набігання α . Раму візка будемо вважати абсолютно жорсткою і приймемо, що вісі у візку не мають поперечних і поздовжніх розбігів. Припустимо, також, що, як це має місце і у багатьох випадках у дійсності, маса кузова екіпажу значно більше маси візка.

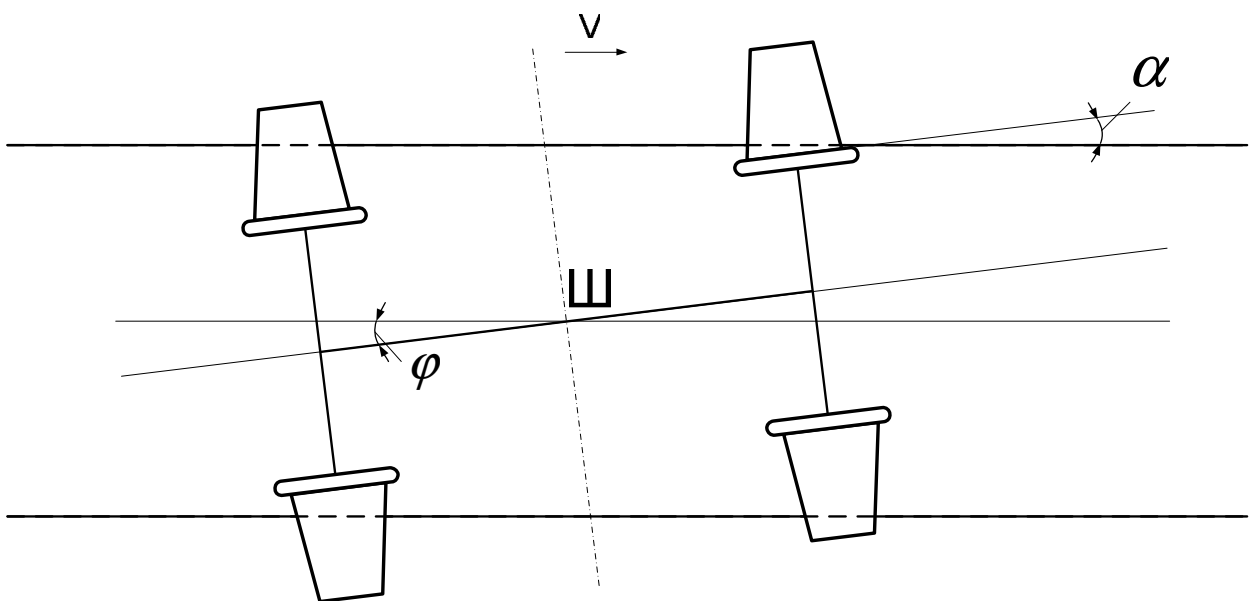


Рис. 3.6. - Схема набігання коліс візка на рейку при її вилянні на прямій ділянці колії

Для зручності подальшого розгляду представимо схематично процес руху візка як рух відрізка прямої, що зображує собою візок, у колії, ширина якої дорівнює сумі зазорів між гребенями коліс і робочими гранями рейок. При такій схематизації протилежні робочі грані гребенів зближуються так, що поєднуються в одну лінію, а ширина колії, відповідно зменшується на відстань між зовнішніми гранями гребенів колісної пари. Представимо цей процес як вписування відрізка прямої AB у колію, складену двома концентричними колами з відстанями між ними 2Δ , що дорівнює зазору між гребенями коліс і робочими гранями рейок. Для графічного зображення процесу вписування екіпажу у криву зазвичай використовують метод з викривленням масштабів (спосіб P_{ya}). При доступних розмірах зображення на кресленні вписування екіпажа зі зменшенням всіх розмірів в n раз отримаємо неприйнятне для розгляду креслення; так, при зображенні на кресленні розміром 150 мм, наприклад, в масштабі 1:1 000 вписування екіпажу з базою 10 м у криву радіусом 150 м довжина бази екіпажа на кресленні буде дорівнювати всього 10 мм, а зазор між гребенями коліс і рейками $2\Delta=30$ мм повинен на кресленні мати розмір 0,03 мм.

Тому в способі P_{ya} (див. рис. 3.7) зберігають в натуральному масштабі f – стрілу від хорди кривої, при цьому зображають хорду довжиною $2a$ розміром $\frac{2a}{n}$ ($n>1$ – масштаб), а радіус кривої R – розміром $\frac{R}{n^2}$. При цьому розмір стріли від хорди в натурі f_3 і на кресленні f_K будуть рівні один одному:

$$\left. \begin{aligned} f_3 &\equiv \frac{a^2}{2R} ; \\ f_K &= \left(\frac{a}{n}\right)^2 : \frac{2R}{n^2} = \frac{a^2}{2R} \end{aligned} \right\} \quad (3.9)$$

а кут набігання α збільшується на кресленні в n раз.

Значення бокових і направляючих зусиль можливо визначити, знаючи лише відносне положення (установку) у кривій екіпажу, що вписується, і чинні поздовжні і поперечні переміщення (положення) у колії.

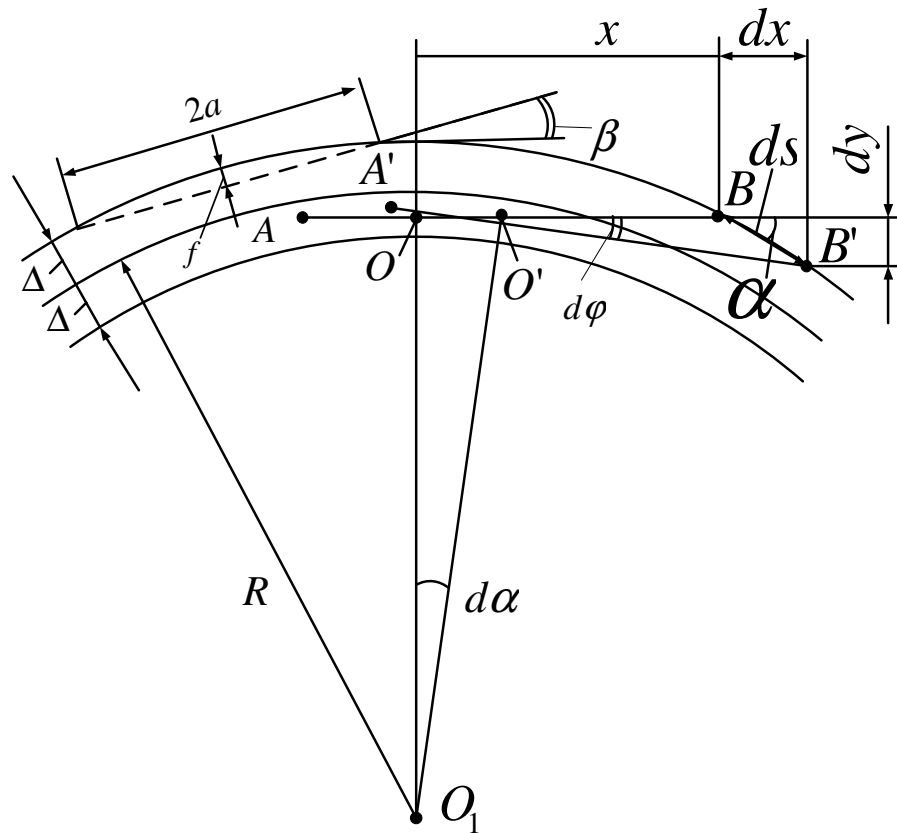


Рис. 3.7. - Кінематична схема зміни положення екіпажу в колії при вписуванні його в криву, яка представлена у вигляді відрізка, що рухається між двох концентричних кіл (спосіб Руа)

Рух екіпажу можливо уявити як суму двох рухів (див. рис. 3.7): поступового вздовж вісі екіпажу AB і обертального навколо деякої точки (полюса) O зі швидкістю $\Omega = \frac{V}{R}$. Покажемо, що при постійній швидкості руху екіпажу V вісь його обертання (точка O) повинні лежати в основі перпендикуляра, опущеного на поздовжню геометричну вісь екіпажу. Положення полюса повороту на вісі екіпажу AB визначається відстанню x від передньої вісі за умови

$$dy = x d\varphi = dx \operatorname{tg} \alpha, \quad (3.10)$$

де α - кут набігання екіпажу на внутрішню рейку кривої.

При русі екіпажу з постійною швидкістю $\alpha = \text{const}$ приріст кута повороту екіпажу $d\varphi$ дорівнює приросту центрального кута $d\alpha$. Отже, в цьому випадку обертання відрізка AB навколо полюса O відбувається з такою ж кутовою швидкістю, з якою він повертається відносно центра кривої O_1 :

$$Rd\varphi = Rd\alpha = ds \cong \frac{dx}{\cos \alpha}, \quad (3.11)$$

Звідки $d\varphi = \frac{dx}{\cos \alpha} \frac{1}{R}$, так як $dy = x d\varphi = x \frac{dx}{\cos \alpha} \frac{1}{R} \approx dx \operatorname{tg} \alpha$, то $x = R \cos \alpha \operatorname{tg} \alpha = R \sin \alpha$

Полюс повороту екіпажа лежить на основі перпендикуляра, опущеного з центру кривої на поздовжню геометричну вісь екіпажу. Це положення справедливо лише при постійній швидкості руху екіпажу в абсолютно правильній круговій кривій при незмінних силах, що діють на екіпаж.

При русі по реальним ділянкам колії, що мають відступи в утриманні по кривізні від математично правильної кругової кривої, а також під впливом різних перемінних сил, що діють на екіпаж, положення полюса повороту безперервно змінюється, відхиляючись від деякого середнього свого положення. Знаючи положення полюса повороту, можливо визначити направляючі і бокові сили, що діють на рейки під кожним колесом.

Положення екіпажа в колії залежить від його конструкції, параметрів, швидкості руху, норм улаштування колії і рухомого складу, їх стану, зовнішніх сил, що діють на екіпаж. Основними елементами конструкції і параметрами екіпажа, від яких залежить вписування його у криві, є: кількість жорстких рам, що об'єднують колісні пари (екіпажі однорамні, багаторамні, візкові); можливість вільного або пружного переміщення візків по відношенню до головної рами екіпажу або наявність пружних зв'язків між головними рамами; наявність пружних зв'язків між візками; наявність вільних або пружних розбігів вісей у візку, а також безребордних коліс; параметри вказаних вище пружних зв'язків; характеристики і параметри сил тертя, що виникають між візками і головною рамою; характеристики повертаючих апаратів візків; навантаження від осей екіпажа на рейки;

знос бандажів і перекоси вісей у рамі візка і ін.

Основні зовнішні сили, що визначають положення екіпажа у колії при його вписуванні, - відцентрова і доцентрові сили C і T . Додатково на установку екіпажа в колії у кривій ділянці можуть впливати поздовжні сили (сили тяги або гальмування), а також сила вітру.

При практичному вирішенні вказаної задачі за звичай виходять з умови забезпечення найкращого вписування для масового виду рухомого складу. Масовим видом екіпажу є вантажний чотиривісний вагон.

На рис. 3.8 представлена схема такого вписування для двовісного візка вагону. Точкою O позначено центр повороту візка.

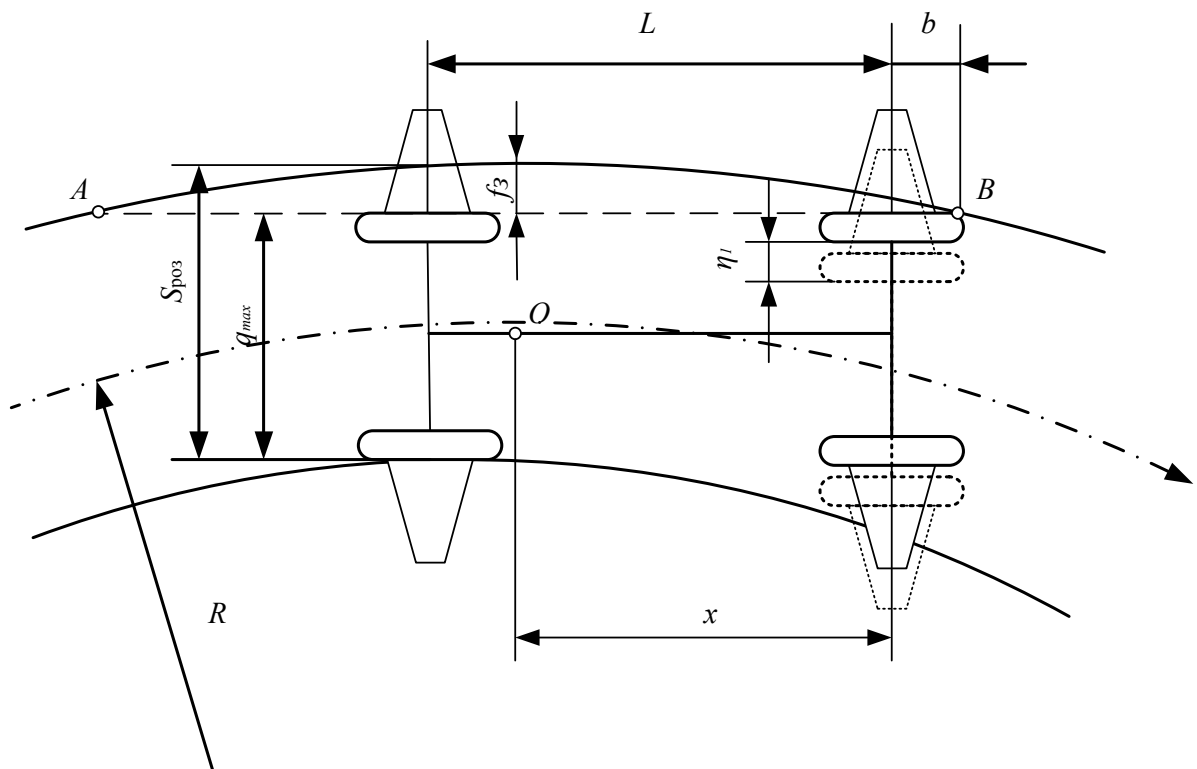


Рис. 3.8. - Розрахункова схема положення жорсткої бази екіпажа в кривій
для визначення ширини колії

Розрахункова ширина колії $S_{роз}$ визначається з формули

$$S_{роз} = q_{\max} + f_3 - \eta_1 + 4, \quad (3.12)$$

де $q_{\max} = T + 2h + 2\mu$ - максимальна ширина колісної пари, для вагонів

$$q_{\max} = 1511 \text{ мм};$$

T - насадка колісної пари, 1440 ± 3 мм;

h - товщина гребеня, $h_{\max} = 33$ мм;

μ - стовщення гребеня вище розрахункової площини, для вагонів 1 мм;

f_3 – стріла вигину зовнішньої рейки (при хорді AB), мм;

$$AB = 2(x + b), \quad (3.13)$$

4 – допуск на звуження колії, мм.

η_1 - розбіг крайніх вісей, у вагонів 0 мм.

Величини стріли f_3 знаходиться з виразу

$$f_3 = \frac{(x + b)^2}{2R}, \quad (3.14)$$

де x - відстань від центра повороту O до геометричної вісі першої колісної пари, мм;

R - радіус кривої, мм;

b - відстань від вісі першої колісної пари до точки торкання гребеня колеса з рейкою (забіг). Величину забігу b Г. М. Шахунянц пропонує визначати для випадку незношених гребенів по наступній формулі:

$$b = \frac{x(r + t)tg\tau}{R + S/2 - (r + t)tg\tau}, \quad (3.15)$$

де r - радіус колеса, що дорівнює для коліс вантажних вагонів 475 мм;

t - відстань від поверхні кочення до точки притиснення гребеня до бічної грані головки рейки (глибина торкання); приймається рівною 10 мм;

τ - кут нахилу робочої поверхні гребеня колеса до горизонту, що дорівнює для нового вагонного колеса 60° ;

S - ширина колії стандартна для прямої ділянки колії, $S = 1520$ мм.

Відстань x від центра повороту O до геометричної осі першої колісної пари лишається невідомою. Але її значення можливо визначити за умови квазістатичного вписування з врахуванням сил, що діють на колію і екіпаж.

Теоретичні основи розрахунків квазістатичного вписування закладені відомими вченими С.Н. Смирновим, А.А. Холодецьким, К.Ю. Цеглинським, Г. Юбелакером. Сучасні методи дослідження вписування екіпажів у криві ділянки колії основані на працях Х. Хеймана, К.П. Корольова, В.Б. Медея, О.П. Єршкова, С.М. Куценко.

Визначенню горизонтальних поперечних сил, що виникають між колесом і рейкою при русі поїзда у кривих, присвячено багато робіт [16–21].

Розроблені сучасні методи розрахунків вписування з достатньо високим ступенем точності дозволяють оцінити силовий вплив екіпажів на колію у кривих. При цьому в залежності від мети дослідження можуть бути враховані горизонтальна динаміка вагонів, пружні віджими рейкових ниток, перерозподіл навантажень від коліс на рейки, зв'язки кузова з візком, нерівнопружність рейкових ниток, перемінна кривизна у перехідних кривих й інші особливості залізничної колії й ходових частин екіпажів. У той же час, незважаючи на різноманіття існуючих методів розрахунку, схема вписування в основі своїй залишається незмінною, тобто центр повороту екіпажу знаходиться на його поздовжній вісі у точці перетину з перпендикуляром, опущеним з центра кривої, направляючі зусилля діють від упорної рейки на набігаюче колесо перпендикулярно поздовжній вісі (рис. 3.9).

Для визначення положення центру повороту візка при вписуванні екіпажу у кругову криву, необхідно скласти рівняння рівноваги діючих на нього сил в площині колії. При цьому у рівнянні сума проекцій всіх сил на перпендикуляр до поздовжньої вісі екіпажа дорівнює нулю, так само у рівнянні сума моментів всіх горизонтальних сил відносно точки в площині колії дорівнює нулю.

Рівняння рівноваги візка у випадку вільного вписування

$$\sum Y = \Pi + \sum H_{i-j} - T - Y_{H1} = 0, \quad (3.16)$$

$$\sum M = Y_{H1}x + \sum M_{i-j} + T(x - \frac{L}{2}) - \Pi(x - \frac{L}{2}) = 0. \quad (3.17)$$

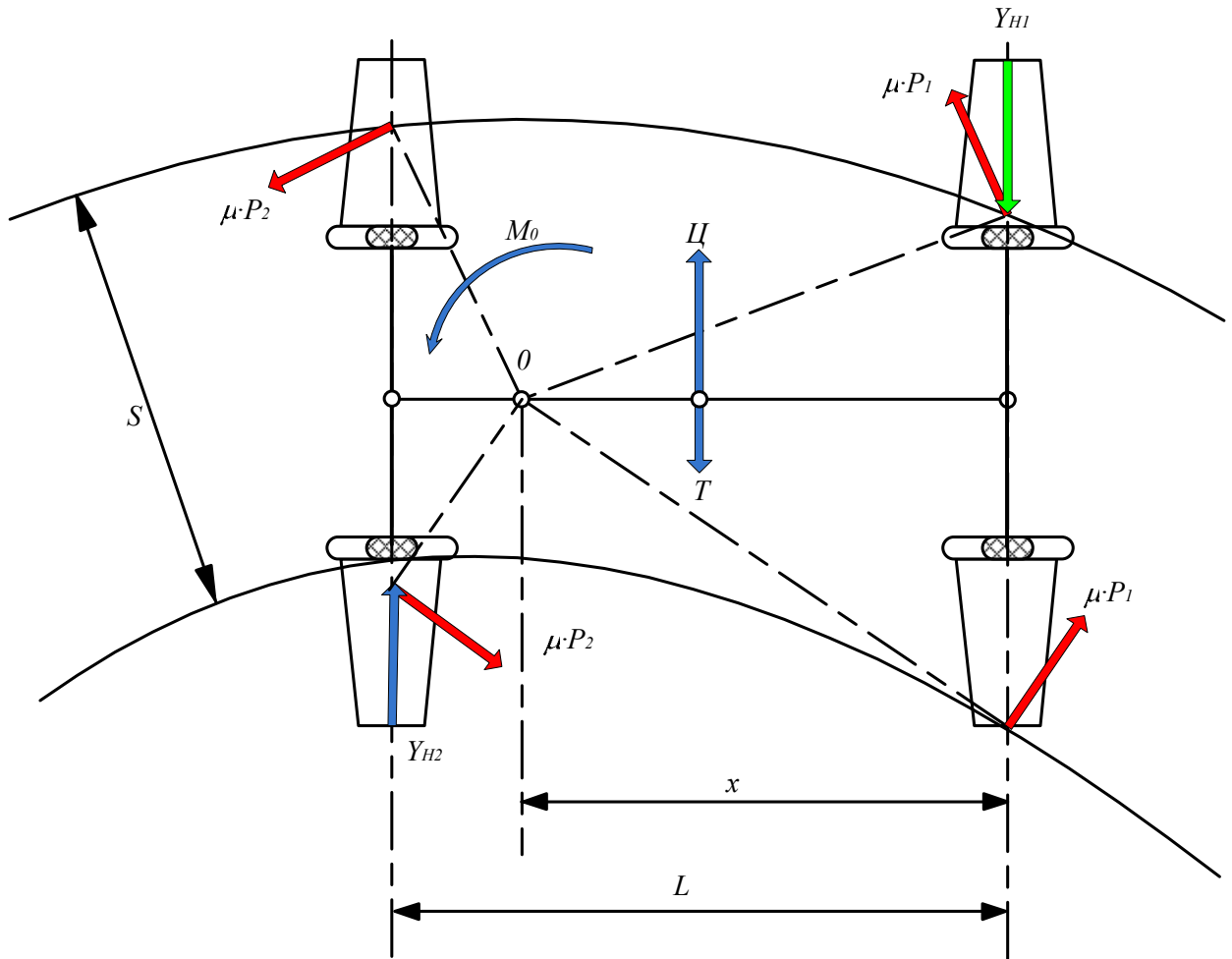


Рис. 3.9. - Схема вписування візка чотириколісного вантажного вагону у криву

У випадку примусового вписування, коли виникають направляючі зусилля від внутрішньої рейки на другу колісну пару, рівняння рівноваги мають вид:

$$\sum Y = \text{Ц} + \sum H_{i-j} - T - Y_{H1} + Y_{H2} = 0 \quad , \quad (3.18)$$

$$\sum M = Y_{H1}x + Y_{H2}(L-x) + \sum M_{i-j} + T(x - \frac{L}{2}) - \text{Ц}(x - \frac{L}{2}) = 0 \quad . \quad (3.19)$$

У наведених системах: $\sum H_{i-j}$ - сума проекцій усіх сил тертя на вісь, що перпендикулярна вісі екіпажа; $\sum M_{i-j}$ - сума моментів усіх сил тертя відносно миттєвого полюса обертання; Y_{H1} - направляюче зусилля від зовнішньої рейки на першу колісну пару; Y_{H2} - направляюче зусилля від внутрішньої рейки на другу колісну пару; Ц і T - відцентрова і доцентрова сили, що діють у центрі мас; L - довжина жорсткої бази візка; x - відстань від першої вісі до полюса обертання.

Однак, один з суттєвих недоліків схеми полягає у тому, що вона не дає можливості проаналізувати вплив кута набігання та нерівномірного завантаження як колісних пар, так і окремих коліс у парі на направляючі зусилля. В кривих ділянках з радіусами менше 350 м це має суттєве значення.

Таким чином, виникла необхідність розроблення такої розрахункової схеми, яка б дозволила виконати теоретичний аналіз впливу нерівномірного завантаження як колісних пар, так і окремих коліс у парі на величину горизонтального впливу екіпажа на колію.

В існуючих схемах вписування вважається, що при набіганні колісної пари на рейку горизонтальна направляюча сила діє по вісі колісної пари (перпендикулярно поздовжній вісі). Але аналіз результатів теоретичних та експериментальних досліджень виконаних В. Ф. Яковлевим, Е. П. Дудкіним показує, що при набіганні колісної пари на рейку під деяким кутом горизонтальна направляюча сила у контакті колеса і рейки діє не по вісі колісної пари, а по нормалі до площадки контакту [119]. Цю силу називають радіально-поперечним зусиллям Y_{rp} , яке може бути розкладено на направляюче зусилля Y_H , що діє вздовж вісі колісної пари і визначає поворот візка, і поздовжнє зусилля $Y_{\parallel}$, що заважає повороту візка і викликає угон упорних ниток і опір руху екіпажу у кривих ділянках.

Приймаємо наступні припущення:

- екіпаж рухається по круговій кривій з постійною швидкістю (сили тяги, гальмування і опору руху відсутні);
- кругова крива має ідеальну геометричну форму (екіпаж рухається по круговій кривій постійного радіусу R , що має постійне підвищення);
- конічність бандажів не враховується;
- відцентрова і доцентрова сили діють у центрі мас;
- вісь колісної пари жорстка і не схильна пружному згину або крученню;
- рейки у поперечному напрямку під дією бічних сил не мають поперечних деформацій;

На основі розрахункової схеми, що пропонується складені наступні рівняння рівноваги візка:

$$\sum Y = \Pi - T + H_{1-3} + H_{2-3} + H_{1-B} + H_{2-B} - Y_{H1} + Y_{H2} = 0, \quad (3.20)$$

$$\begin{aligned} \sum M = Y_{H1} \cdot (x + b_1) - Y_{H2} \cdot \frac{S_K}{2} - Y_{H2} \cdot (x - L + b_2) + Y_{H2} \cdot \frac{S_K}{2} - \\ - P_{1-3} \mu_{1-3} \cdot d_{1-3} - P_{2-3} \mu_{2-3} \cdot d_{2-3} - P_{1-B} \mu_{1-B} \cdot d_{1-B} - P_{2-B} \mu_{2-B} \cdot d_{2-B} + \\ + T \cdot \left(x - \frac{L}{2}\right) - \Pi \cdot \left(x - \frac{L}{2}\right) - m_0 = 0 \end{aligned} \quad (3.21)$$

Позначимо $F_{nn} = \Pi - T$

$$\sum H_{i-j} = H_{1-3} + H_{2-3} + H_{1-B} + H_{2-B}; \quad H_{i-j} = \frac{P_{i-j} \cdot \mu_{i-j} \cdot x}{d_{i-j}};$$

$$M_{TP} = P_{1-3} \mu_{1-3} \cdot d_{1-3} + P_{2-3} \mu_{2-3} \cdot d_{2-3} + P_{1-B} \mu_{1-B} \cdot d_{1-B} + P_{2-B} \mu_{2-B} \cdot d_{2-B},$$

де H_{i-j} - проекція сил тертя i -ої колісної пари на вісь, що перпендикулярна вісі екіпажа;

x - відстань направляючої вісі до центра повороту (полюсна відстань).

Коефіцієнт тертя між колесом і рейкою μ_{i-j} визначається, згідно [131] з виразу

$$\mu_{i-j} = 0,25[1 - e^{(-280 \frac{d_{i-j}}{R})}],$$

де R – радіус кривої, м;

d_{i-j} - радіуси-вектори точок ковзання бандажів коліс по рейці (відстань від центру повороту до точок ковзання), м.

Радіуси-вектори визначаються з виразу

$$d_{i-j} = \sqrt{(x - a_{i-j})^2 + \left(\frac{S_K}{2}\right)^2},$$

S_K - відстань між кругами кочення колісної пари.

$$S_K = T + 2 \cdot f_{i-j} + 2 \cdot h_{i-j} + u_K + 2 \cdot \frac{\delta}{\cos \alpha_{i-j}} + 2 \cdot \frac{b_r / 2 - u_p}{\cos \alpha_{i-j}},$$

де a_{i-j} – відстані від першої вісі до j -ої, м;

T - величина насадки коліс, м;

f_{i-j} - стовщення гребеня колеса вище розрахункової площини;

h_{i-j} - товщина гребеня колеса; δ - сумарний зазор у колії;

b_r - товщина головки рейки у розрахунковій площині;

u_k - бічний знос гребеня колеса; u_p - бічний знос рейки;

α_{i-j} - кути нахилу i -ого колеса до j -ої рейки.

З урахуванням цих позначень рівняння рівноваги матимуть вигляд

$$\sum Y = F_{HP} + \sum H_{i-j} - Y_{H1} + Y_{H2} = 0 \quad (3.22)$$

$$\sum M = Y_{H1} \cdot (x + b_1) - Y_{П1} \cdot \frac{S_K}{2} - Y_{H2} \cdot (x - L + b_2) + Y_{П2} \cdot \frac{S_K}{2} - M_{TP} - F_{HP} \cdot \left(x - \frac{L}{2}\right) - m_0 = 0 \quad (3.23)$$

У цих рівняннях невідомими є величини сил Y_{H1} , Y_{H2} , $Y_{П1}$, $Y_{П2}$, і полюсна відстань x .

При направленні руху тільки зовнішньою рейковою ниткою через колесо першої вісі візок займає положення в межах вільного зазору між рейками і гребенями коліс, а $Y_{П2}=0$, тобто $Y_{H2}=0$ та $Y_{П2}=0$. Рівняння (3.22, 3.23) в даному випадку матимуть такий вигляд:

$$F_{HP} = Y_{H1} - \sum H_{i-j};$$

$$Y_{H1} \cdot \left(b_1 + \frac{L}{2}\right) - Y_{П1} \cdot \frac{S_K}{2} - M_{TP} + \sum H_{i-j} \cdot \left(x - \frac{L}{2}\right) - m_0 = 0.$$

$$\text{Так як} \quad Y_{H1} = Y_{П1} \cdot \cos \alpha,$$

$$Y_{П1} = Y_{П1} \cdot \sin \alpha,$$

де α - кут набігання колеса на рейку

тоді

$$Y_{П1} \cdot \cos \alpha \cdot \left(b_1 + \frac{L}{2}\right) - Y_{П1} \cdot \sin \alpha \cdot \frac{S_K}{2} - M_{TP} + \sum H_{i-j} \cdot \left(x - \frac{L}{2}\right) - m_0 = 0;$$

і

$$Y_{П1} = \frac{M_{TP} + m_0 - \sum H_{i-j} \cdot \left(x - \frac{L}{2}\right)}{\cos \alpha \cdot \left(b_1 + \frac{L}{2}\right) - \sin \alpha \cdot \frac{S_K}{2}}.$$

Відповідно

$$Y_{H1} = F_{H\Pi} + \sum H_{i-j}; \quad Y_{H1} = Y_{P\Pi1} \cdot \cos \alpha; \quad Y_{P\Pi1} = \frac{Y_{H1}}{\cos \alpha} = \frac{F_{H\Pi} + \sum H_{i-j}}{\cos \alpha};$$

$$Y_{\Pi1} = (F_{H\Pi} + \sum H_{i-j}) \cdot \operatorname{tg} \alpha.$$

З урахуванням цих позначень рівняння рівноваги приймуть вигляд:

$$Y_{P\Pi1} = \frac{M_{TP} + m_0 - \sum H_{i-j} \cdot \left(x - \frac{L}{2}\right)}{\cos \alpha \cdot \left(b_1 + \frac{L}{2}\right) - \sin \alpha \cdot \frac{S_K}{2}}; \quad (3.24)$$

$$F_{H\Pi} = \frac{M_{TP} + m_0 - \sum H_{i-j} \cdot \left(x + b_1 + \operatorname{tg} \alpha \cdot \frac{S_K}{2}\right)}{\frac{L}{2} - \operatorname{tg} \alpha \cdot \frac{S_K}{2} + b_1}. \quad (3.25)$$

Невідомими в цих рівняннях є сила $Y_{P\Pi1}$ і полюсна відстань x .

При перекісному положенні візка направляючими є перша вісь по зовнішній рейковій нитці і третя вісь по внутрішній; рівняння (3.24, 3.25) приймають вигляд

$$Y_{P\Pi1} = \frac{M_{TP} + m_0 - \sum H_{i-j} \cdot (x - L)}{\cos \alpha \cdot (b_1 + L) - \sin \alpha \cdot \frac{S_K}{2}} + 0.5 F_{H\Pi}. \quad (3.26)$$

$$Y_{P\Pi3} = \frac{M_{TP} + m_0 - \sum H_{i-j} \cdot x}{\cos \alpha \cdot (b_1 + L) - \sin \alpha \cdot \frac{S_K}{2}} - 0.5 F_{H\Pi}. \quad (3.27)$$

У рівняннях (3.24, 3.25) полюсна відстань визначається із співвідношення розмірів колії і візка, а величина $F_{H\Pi}$ визначається умовами руху з відомого виразу:

$$\alpha_{H\Pi} = \frac{V^2}{12.96 \cdot R} - g \frac{h}{S}, \quad (3.28)$$

$$F_{H\Pi} = \alpha_{H\Pi} \cdot m = \left(\frac{V^2}{12.96 \cdot R} - g \frac{h}{S} \right) \cdot m, \quad (3.29)$$

де $\alpha_{H\Pi}$ - величина непогашених поперечних прискорень, м/с²;

V – швидкість руху, км/год;

R – радіус кривої, м;

h – підвищення зовнішньої рейки в кривій, мм;

S – відстань між кругами кочення колісної пари, м;

g – прискорення земного тяжіння, м/с^2 ;

m – маса екіпажу, кг.

Вертикальні сили

Вертикальні сили, що передаються від колісних пар на рейки, можливо визначати згідно [125].

У практичних розрахунках враховується п'ять складових вертикальних сил: одна статична і чотири динамічних.

Статична сила $P_{\text{ст}}$ визначається як частина ваги екіпажу в нерухомому положенні, що приходить на одне колесо. У розрахунках використовуються паспортні значення цієї сили за технічними характеристиками рухомого складу.

Інші сили являють собою додаткові динамічні інерційні сили (динамічні добавки):

- сила, що збуджується коливаннями кузова (точніше обресореної маси екіпажу) на ресорах – P_r ;
- сила впливу колеса на рейку, що виникає при перекочуванні його по нерівностях колії – $P_{\text{нк}}$;
- сила від впливу на колію колеса з ізолюваною нерівністю на поверхні катання – $P_{\text{інк}}$;
- сила від впливу на колію колеса з безперервною нерівністю на поверхні катання – $P_{\text{бнк}}$;

Рух екіпажа по рейках являє собою випадковий процес. У кожному перерізі колії значення інерційних динамічних сил P_r , $P_{\text{нк}}$, $P_{\text{інк}}$, $P_{\text{бнк}}$ поєднуються між собою випадково. Подія, при котрій одночасно ці всі сили мають максимальні значення, практично неймовірна. Отже, розмір $P_{\text{розр}}$,

що дорівнює арифметичній сумі статичної і максимальної динамічних сил, буде дуже завищений. У розрахунок необхідно прийняти деяке максимальне значення, що буде появлятися при впливі екіпажа на колію з заданою ймовірністю.

Таке значення знаходиться за допомогою композиції – статичної суми сил.

Для знаходження композиції необхідно визначити закони розподілу випадкових складових, у нашому випадку динамічних сил.

Закон розподілу характеризується двома основними статистиками:

- середнє значення;
- показником розкиду (дисперсії) значення сили, за який приймаємо середньоквадратичне відхилення.

Приймаючи за розрахунковий переріз місце виходу з нерівності, для сили P_p визначаємо:

$$\bar{P}_p = 0,75 \cdot P_p, \quad (3.30)$$

$$S_p = 0,08 \cdot P_p. \quad (3.31)$$

Для композиції загальне середнє:

$$\bar{P} = P_{ст} + \bar{P}_p. \quad (3.32)$$

Значення середньоквадратичного відхилення:

$$S = \sqrt{S_p^2 + S_{нк}^2 + q_1 \cdot S_{інк}^2 + q_2 \cdot S_{бінк}^2}, \quad (3.33)$$

де q_1 і q_2 враховують частку коліс із різними нерівностями. Прийнято, що 5% коліс мають ізолювані нерівності ($q_1=0,05$), інші – безперервні ($q_2=0,95$).

Для визначення значення максимальної ймовірності сили необхідно задатися рівнем ймовірності появи її серед цієї сукупності можливих значень, тобто розміру її відхилення від середнього значення.

$$P_{\max}^{\text{ймов}} = \bar{P} + \lambda_{\phi} \cdot S, \quad (3.34)$$

де: λ_{ϕ} - нормуючий множник, що приводить значення максимальної ймовірної величини до заданого рівня. У розрахунках колії на тривкість рівень ймовірності не перевищення заданої сили прийнятий $\Phi=0,994$, при цьому множник нормування $\lambda_{\phi}=2,5$.

Для схеми з двовісними візками, можливе два варіанти завантаження вісей: перший варіант - розрахунковою силою завантажується перша (набігаюча) вісь, а друга завантажується середнім значенням, і другий варіант - розрахунковою силою завантажується друга (ненабігаюча) вісь, а перша - завантажується середнім значенням.

З цих можливих варіантів необхідно обрати за розрахункову вісь ту, при якій значення полюсної відстані буде більшим.

Крім того найбільш несприятливим за умови загрози вкочування набігаючого колеса на головку рейки буде варіант в якому коефіцієнт запасу стійкості проти вкочування гребеня колеса на головку рейки буде меншим. Коефіцієнти запасу стійкості проти вкочування гребеня колеса на головку рейки, як звичайно, є відношенням бокової сили, що діє від рухомого складу на рейку у якомусь перерізі, до вертикальної сили у цьому ж перерізі, тобто варіант з меншим значенням завантаження набігаючої вісі. Цей варіант завантаження необхідно перевірити при оцінці стійкості проти вкочування гребеня колеса на головку рейки.

3.4 Структура моделі

Для визначення і аналізу результатів взаємодії рухомого складу та колії розроблено програмне забезпечення в програмній оболонці EXCEL.

Загальна схема моделі зображена на рис. 3.11.

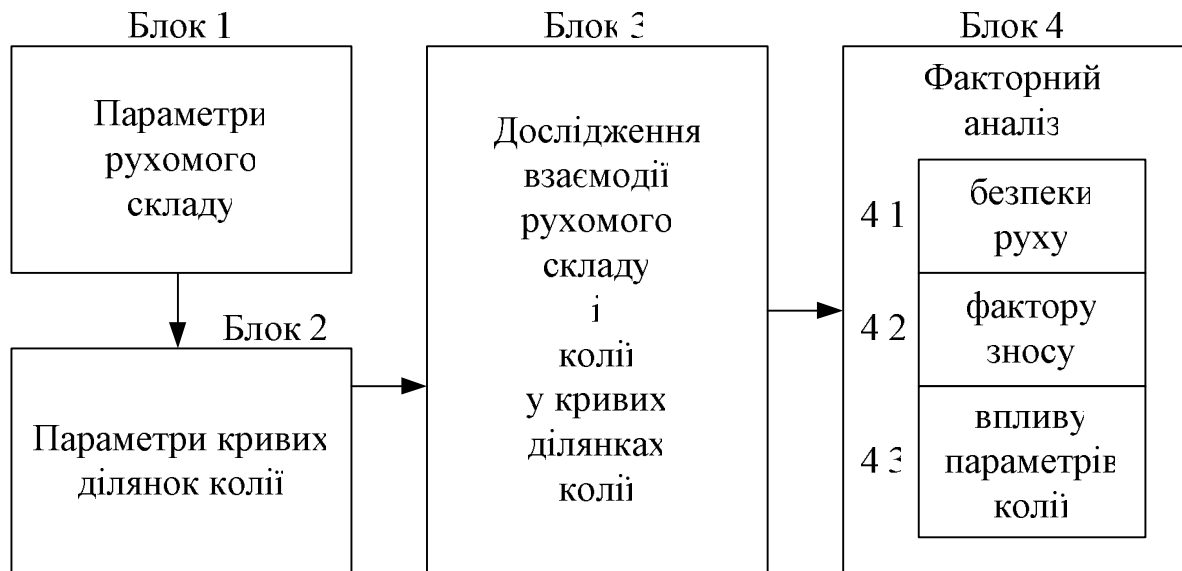


Рис. 3.11. - Блок схема вирішення і аналізу результатів задачі взаємодії рухомого складу і колії.

У блоці 1 задаються параметри рухомого складу: жорстка база, відстань від першої вісі до центру ваги, кількість візків, кількість колісних пар у візку, відстань між вісями колісних пар, розбіги вісей, вага рухомої одиниці, вага кузова, вага візка, вага необресоренної частини екіпажу, статичне навантаження від колеса на рейку, момент сил тертя між кузовом і візком, радіус колеса, відстань від рівня головки рейки до точки притиснення гребеня до колеса, кут нахилу робочої поверхні гребня, швидкість руху.

У блоці 2 задаються параметри, що характеризують криві ділянки колії – радіус кривої ділянки колії, підвищення зовнішньої рейки у кривій, відстань між кругами кочення колісної пари.

У блоці 3 вирішуються рівняння рівноваги візка за допомогою чисельного інтегрування. Вирішивши систему рівнянь рівноваги візка, отримуємо наступні процеси: полюсну відстань і доцентрову силу, радіально поперечну силу, поздовжню силу, направляючу силу, рамну силу і бокову силу.

У блоці 4 в якості вхідних даних використовуються процеси, отримані при чисельному вирішенні систем рівнянь рівноваги, розглянуті у блоці 3. Отримані процеси групуються і аналізуються в залежності від різних факторів. Дані можуть бути проаналізовані, наприклад, в залежності від швидкості руху, величини непогашеного прискорення і т.д.

Умовно блок 4 можливо поділити на ряд наступних моделей. У блоці 4.1 наведено модель стійкості проти вкочування гребеня колеса на рейку для розрахунку сил взаємодії колеса і рейки. До числа параметрів, що можуть привести до сходу колеса з рейки відносяться кут нахилу поверхні гребеня колеса у точці контакту, коефіцієнт тертя, а також вертикальні і горизонтальні сили. Оцінка стійкості проти вкочування гребеня колеса на рейку проводиться по значенню запасу коефіцієнта стійкості.

У блоці 4.2 оцінюється фактор зносу у точках контакту по колу кочення. Критерії оцінки зносу гребенів колісних пар і рейок детально розглянуті у роботі проф. С.М. Андриєвського [129].

У блоці 4.3 оцінюється характер взаємодії рухомого складу і колії у кривих ділянках і вплив заданих параметрів.

Розроблене програмне забезпечення для визначення результатів взаємодії рухомого складу і колії може бути застосовано для вирішення широкого кола задач взаємодії екіпажу і колії, а також для вивчення і коригування, у випадку необхідності, норм утримання колії.

Подальші висновки та пропозиції базуються на аналізі результатів розрахунків отриманих за допомогою розробленої моделі і програмного забезпечення.

Розрахункові параметри прийнятої до дослідження одиниці масового рухомого складу наведені у табл. 3.4.

Параметри масового рухомого складу

Параметри вагону на візках 18-100	Позначення, одиниці виміру	Значення
Жорстка база	$L, \text{м}$	1,85
Маса рухомої одиниці	$Q, \text{т}$	93,0
Кількість візків	$n, \text{шт}$	2
Кількість вісей у візку	шт	2
Момент сил тертя між кузовом і візком	$m_0, \text{кН м}$	26,67
Статичне навантаження від колеса	$P_{ст}, \text{кН}$	114,04
Вага необресореної частини екіпажу	$q_k, \text{кН}$	9,95
Вага візка	$Q_{віз}, \text{т}$	24,95
Вага кузова	$Q_{куз}, \text{т}$	43,1
Відстань до центру ваги	$H_{ц}, \text{м}$	2
Відстань від точки прикладення сили до точки контакту	$l_p, \text{м}$	0,55
Радіус колеса	$r, \text{м}$	0,475
Відстань від рівня головки рейки до точки притиснення гребеня до колеса	$t, \text{м}$	0,010
Кут нахилу робочої поверхні гребня	$\tau, \text{град}$	60

Для чотиривісного вагону на візках моделі 18.100 визначено значення полюсних відстаней в залежності від радіуса кривої ділянки і величини непогашеного прискорення. Визначення полюсних відстаней навантажених вантажних вагонів виконувалося за результатами теоретичних досліджень за допомогою описаної вище математичної моделі при русі вагона в кривих різних радіусів. Для розрахунків було вибрано криві радіусом від 150 до 350 м. Для можливості порівняння та аналізу результатів розрахунків приймалися такі підвищення зовнішньої рейки в кривих та швидкості руху вагона, що забезпечують нульове та максимально допустиме значення непогашеного поперечного прискорення ($\alpha_{пп} = \pm 0,3 \text{ м/с}^2$). Такий діапазон прискорень обґрунтовано проф. В.О. Певзнером для мінімізації витрат на поточне утримання колії.

Полюсні відстані для вантажного вагона на візках моделі 18.100 з завантаженням набігаючої вісі по першому варіанту (розрахунковою силою завантажується перша вісь, а друга завантажується середнім значенням) наведено у табл. 3.5, а полюсні відстані із завантаженням набігаючої вісі по другому варіанту (розрахунковою силою завантажується друга вісь, а перша завантажується середнім значенням) наведено у табл. 3.6.

Таблиця 3.5.

Полюсні відстані для вантажного вагона на візках моделі 18.100 в залежності від радіусу і непогашеного поперечного прискорення по першому варіанту завантаження розрахунковою силою

Радіус кривої, R , м	Полюсна відстань, x , м		
	$\alpha_{\text{III}} = -0,3 \text{ м/с}^2$	$\alpha_{\text{III}} = 0 \text{ м/с}^2$	$\alpha_{\text{III}} = +0,3 \text{ м/с}^2$
1	2	3	4
150	2,5130	2,4815	2,4509
160	2,5200	2,4877	2,4563
170	2,5270	2,4940	2,4618
180	2,5341	2,5002	2,4673
190	2,5411	2,5065	2,4727
199	2,5439	2,5086	2,4742
200	2,5446	2,5092	2,4747
210	2,5515	2,5153	2,4800
220	2,5585	2,5214	2,4853
230	2,5654	2,5274	2,4904
240	2,5722	2,5334	2,4955
250	2,5789	2,5392	2,5005
260	2,5856	2,5450	2,5055
270	2,5922	2,5507	2,5103
280	2,5988	2,5564	2,5151
290	2,6052	2,5619	2,5198
299	2,6072	2,5632	2,5203
300	2,6078	2,5637	2,5208

1	2	3	4
310	2,6141	2,5691	2,5253
320	2,6203	2,5744	2,5297
330	2,6265	2,5797	2,5340
340	2,6326	2,5848	2,5383
349	2,6380	2,5894	2,5421
350	2,6386	2,5899	2,5425

Таблиця 3.6.

Поліусні відстані для вантажного вагона на візках моделі 18.100
в залежності від радіусу і непогашеного поперечного прискорення
по другому варіанту завантаження розрахунковою силою

Радіус кривої, R , м	Поліусна відстань, x , м		
	$\alpha_{\text{III}} = -0,3 \text{ м/с}^2$	$\alpha_{\text{III}} = 0 \text{ м/с}^2$	$\alpha_{\text{III}} = +0,3 \text{ м/с}^2$
1	2	3	4
150	2,4056	2,3824	2,3597
160	2,4104	2,3866	2,3633
170	2,4152	2,3909	2,3669
180	2,4201	2,3951	2,3706
190	2,4250	2,3994	2,3742
199	2,4264	2,4003	2,3746
200	2,4269	2,4007	2,3750
210	2,4317	2,4049	2,3785
220	2,4365	2,4090	2,3820
230	2,4412	2,4131	2,3854
240	2,4460	2,4171	2,3888
250	2,4506	2,4211	2,3921
260	2,4553	2,4251	2,3954
270	2,4599	2,4290	2,3987
280	2,4644	2,4329	2,4018

1	2	3	4
290	2,4689	2,4367	2,4050
299	2,4698	2,4370	2,4048
300	2,4702	2,4374	2,4051
310	2,4746	2,4411	2,4081
320	2,4790	2,4447	2,4110
330	2,4833	2,4483	2,4140
340	2,4875	2,4519	2,4168
349	2,4913	2,4550	2,4194
350	2,4917	2,4554	2,4196

З таблиць 3.5 та 3.6 видно, що при відповідних значеннях непогашеного прискорення $\alpha_{нп}$ для однакових радіусів кривих ділянок полюсна відстань більша у варіанті при якому розрахунковою силою завантажується перша вісь (перший варіант) тому подальший розрахунок ширини колії ведеться для цього випадку.

Визначення розрахункової ширини колії $S_{роз}$ для масового рухомого складу, яким прийнято вантажний вагон на візках моделі 18.100 згідно формули 3.12, розраховано у табличному вигляді (табл. 3.7 – 3.9), а результати розрахунків наведено у графічному вигляді на рис. 3.12.

Розрахункова ширина колії при $\alpha_{\text{III}} = -0,3 \text{ м/с}^2$
для вантажного напіввагону на візках моделі 18.100

Радіус кривої, R , м	Полюсна відстань, x , м	Забіг колеса, b , м	Максимальна ширина колісної пари, q_{max} , мм	Стріла вигину зовнішньої рейки, f_3 , мм	Допуск на звуження, мм	Розрахункова ширина колії, $S_{\text{II}0}$, мм
1	2	3	4	5	6	7
150	2,5130	0,030	1511	22	4	1537
160	2,5200	0,026	1511	20	4	1535
170	2,5270	0,024	1511	19	4	1534
180	2,5341	0,021	1511	18	4	1533
190	2,5411	0,019	1511	17	4	1532
199	2,5439	0,018	1511	16	4	1531
200	2,5446	0,018	1511	16	4	1531
210	2,5515	0,016	1511	16	4	1531
220	2,5585	0,015	1511	15	4	1530
230	2,5654	0,014	1511	14	4	1529
240	2,5722	0,014	1511	14	4	1529
250	2,5789	0,013	1511	13	4	1528
260	2,5856	0,012	1511	13	4	1528
270	2,5922	0,011	1511	13	4	1528
280	2,5988	0,011	1511	12	4	1527
290	2,6052	0,010	1511	12	4	1527
299	2,6072	0,010	1511	11	4	1526
300	2,6078	0,010	1511	11	4	1526
310	2,6141	0,010	1511	11	4	1526
320	2,6203	0,009	1511	11	4	1526
330	2,6265	0,009	1511	11	4	1526
340	2,6326	0,009	1511	10	4	1525
349	2,6380	0,008	1511	10	4	1525
350	2,6386	0,008	1511	10	4	1525

Розрахункова ширина колії при $\alpha_{\text{нп}} = 0 \text{ м/с}^2$
для вантажного напіввагону на візках моделі 18.100

Радіус кривої, R , м	Полюсна відстань, x , м	Забіг колеса, b , м	Максимальна ширина колісної пари, q_{max} , мм	Стріла вигину зовнішньої рейки, f_3 , мм	Допуск на звуження, мм	Розрахункова ширина колії, $S_{\text{під}}$, мм
1	2	3	4	5	6	7
150	2,4815	0,030	1511	21	4	1536
160	2,4877	0,026	1511	20	4	1535
170	2,4940	0,023	1511	19	4	1534
180	2,5002	0,021	1511	18	4	1533
190	2,5065	0,019	1511	17	4	1532
199	2,5086	0,018	1511	16	4	1531
200	2,5092	0,018	1511	16	4	1531
210	2,5153	0,016	1511	15	4	1530
220	2,5214	0,015	1511	15	4	1530
230	2,5274	0,014	1511	14	4	1529
240	2,5334	0,013	1511	14	4	1529
250	2,5392	0,013	1511	13	4	1528
260	2,5450	0,012	1511	13	4	1528
270	2,5507	0,011	1511	12	4	1527
280	2,5564	0,011	1511	12	4	1527
290	2,5619	0,010	1511	11	4	1526
299	2,5632	0,010	1511	11	4	1526
300	2,5637	0,010	1511	11	4	1526
310	2,5691	0,009	1511	11	4	1526
320	2,5744	0,009	1511	10	4	1525
330	2,5797	0,009	1511	10	4	1525
340	2,5848	0,008	1511	10	4	1525
349	2,5894	0,008	1511	10	4	1525
350	2,5899	0,008	1511	10	4	1525

Розрахункова ширина колії при $\alpha_{III} = +0,3 \text{ м/с}^2$
для вантажного напіввагону на візках моделі 18.100

Радіус кривої, R , м	Полюсна відстань, x , м	Забіг колеса, b , м	Максимальна ширина колісної пари, $q_{\max}$, мм	Стріла вигину зовнішньої рейки, f_3 , мм	Допуск на звуження, мм	Розрахункова ширина колії, $S_{\text{опт}}$, мм
1	2	3	4	5	6	7
150	2,4509	0,029	1511	21	4	1536
160	2,4563	0,026	1511	19	4	1534
170	2,4618	0,023	1511	18	4	1533
180	2,4673	0,021	1511	17	4	1532
190	2,4727	0,019	1511	16	4	1531
199	2,4742	0,017	1511	16	4	1531
200	2,4747	0,017	1511	16	4	1531
210	2,4800	0,016	1511	15	4	1530
220	2,4853	0,015	1511	14	4	1529
230	2,4904	0,014	1511	14	4	1529
240	2,4955	0,013	1511	13	4	1528
250	2,5005	0,012	1511	13	4	1528
260	2,5055	0,012	1511	12	4	1527
270	2,5103	0,011	1511	12	4	1527
280	2,5151	0,011	1511	11	4	1526
290	2,5198	0,010	1511	11	4	1526
299	2,5203	0,010	1511	11	4	1526
300	2,5208	0,010	1511	11	4	1526
310	2,5253	0,009	1511	10	4	1525
320	2,5297	0,009	1511	10	4	1525
330	2,5340	0,009	1511	10	4	1525
340	2,5383	0,008	1511	10	4	1525
349	2,5421	0,008	1511	9	4	1524
350	2,5425	0,008	1511	9	4	1524

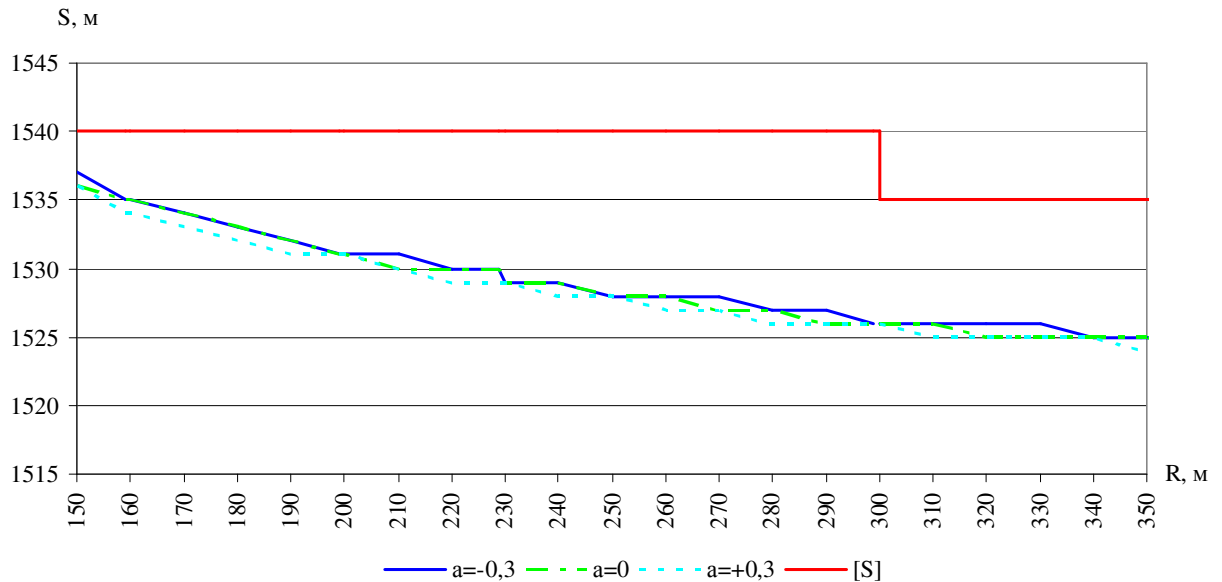


Рис. 3.12. - Графік розрахункової ширини колії для вантажного напіввагону на візках моделі 18.100 при величині непогашених прискорень $\alpha_{\text{нп}} = 0$ та $\pm 0,3 \text{ м/с}^2$, [S] – встановлена норма ширини колії на дерев'яних шпалах

3.5 Порівняння результатів розрахунків за різними методиками

Порівняння результатів розрахунків полюсної відстані для вантажного напіввагона з жорсткою базою довжиною 1,85 м, отриманих по моделі, що пропонується в данному розділі та отриманих О.П. Єршковим в залежності від непогашеного прискорення та радіусу кривих ділянок колії відображено у таблиці 3.10.

Таблиця 3.10

Результати розрахунків величини полюсної відстані для вантажного на піввагона

Радіус кругової кривої, $R, \text{ м}$	Розрахункові значення полюсної відстані $x_1, \text{ м}$			
	за методикою, що пропонується при $\alpha_{\text{нп}}, \text{ м/с}^2$		за методикою, розробленою О.П. Єршковим при $\alpha_{\text{нп}}, \text{ м/с}^2$	
	-0,3	0,0	-0,3	0,0
1	2	3	4	5
150	2,4056	2,3824	2,501	2,330
200	2,4269	2,4007		
250	2,4506	2,4211		

1	2	3	4	5
300	2,4702	2,4374	2,501	2,330
350	2,4917	2,4554		
650	2,6002	2,5318		
1000	2,6955	2,6147		
1200	2,7532	2,6582		
1500	2,8370	2,7206		

Порівняння результатів, наведених у табл. 3.10 дозволяють говорити про те, що:

1. Запропонована модель розрахунків більш детально враховує параметри взаємодії рухомого складу і колії, насамперед в залежності від радіусу. Інтервал значень полюсної відстані, розрахований за допомогою методики, що пропонується, складає $x_1 = 2,36 - 2,83$ м, а значення, отримане О.П. Єршковим, було розраховано для кривої радіусом $R=650$ м, а потім розповсюджено на інші радіуси кривих і в залежності від непогашеного прискорення $\alpha_{\text{нп}}$ полюсна відстань x_1 складає 2,50 м, 2,33 м та 2,23 м при значеннях $\alpha_{\text{нп}} = -0,3$; $\alpha_{\text{нп}} = 0,0$ та $\alpha_{\text{нп}} = +0,3$ м/с² відповідно.

2. Різниця значень в залежності від радіусів і непогашеного прискорення знаходиться у межах 4% для кривих радіусом менше 350 м при величині непогашеного прискорення $\alpha_{\text{нп}} = -0,3$ (що використовується для розрахунку ширини колії в моделі, що пропонується). Тому її застосування можливо рахувати обґрунтованим і використовувати для розв'язку відповідних задач.

3. На рис. 3.13-3.14 наведено результати розрахунків по різних моделях та їх порівняння.

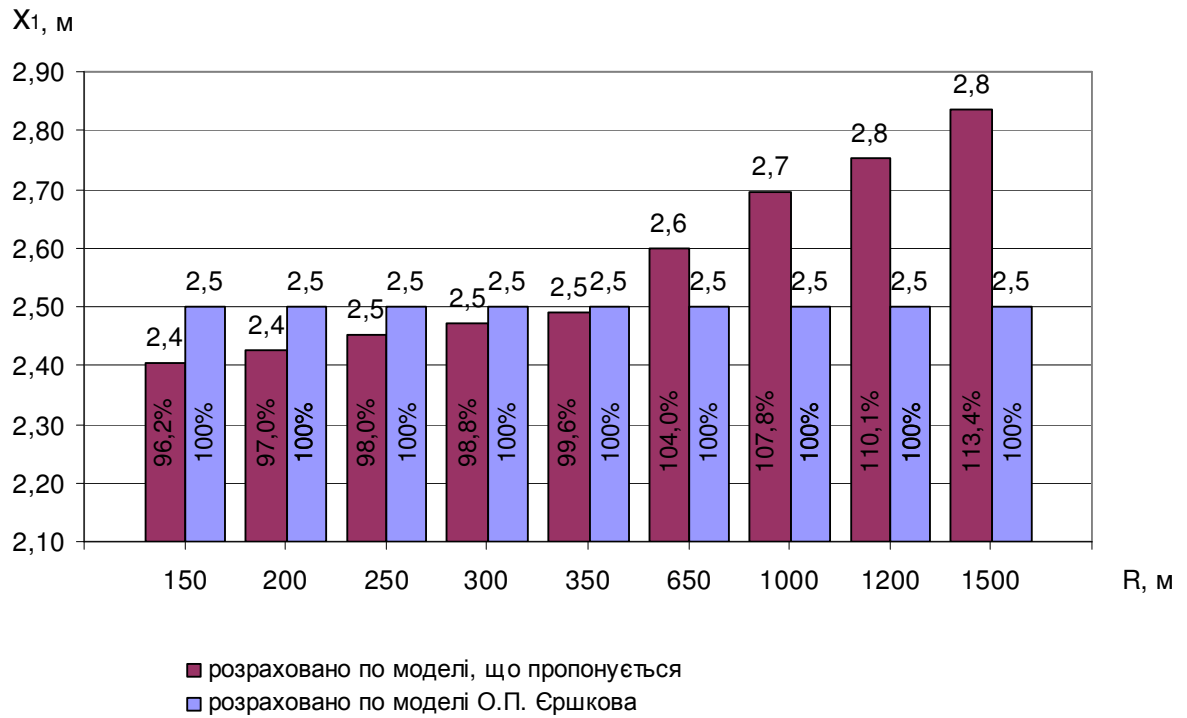


Рис. 3.13. - Порівняння величин полюсних відстаней для вантажного напіввагону отриманих різними методами в залежності від радіусу кривої при величині непогашеного прискорення $\alpha_{нп} = -0,3 \text{ м/с}^2$

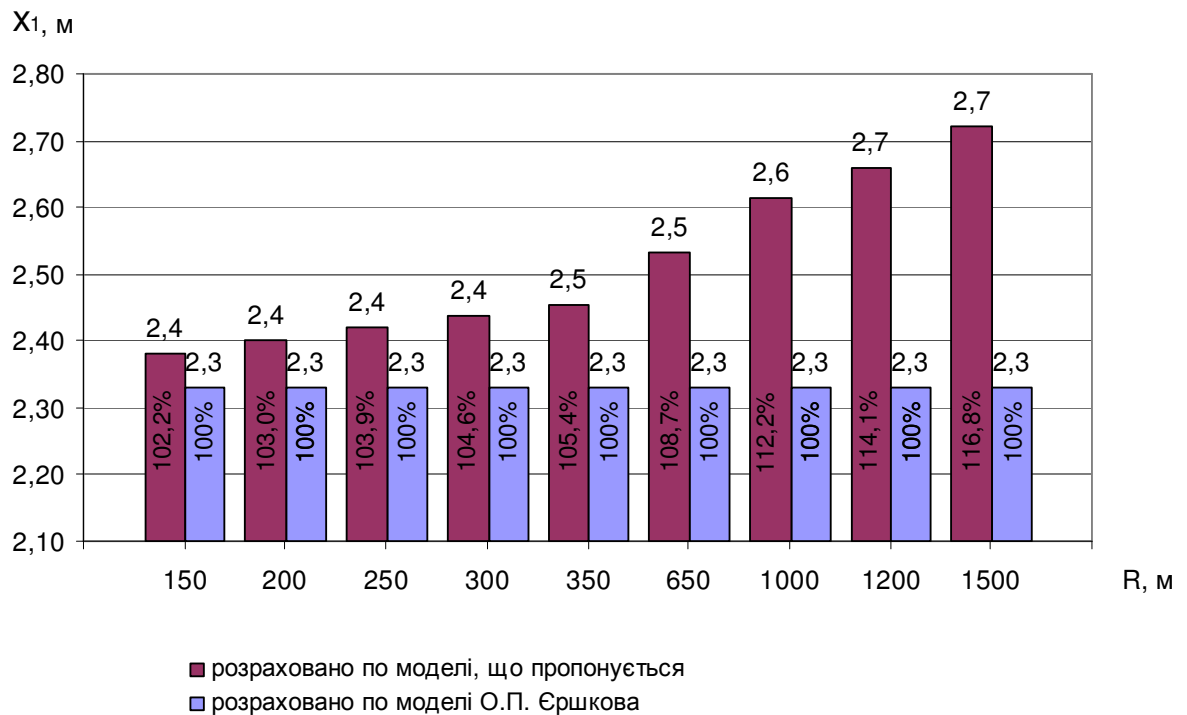


Рис. 3.14. - Порівняння величин полюсних відстаней для вантажного напіввагону отриманих різними методами в залежності від радіусу кривої при величині непогашеного прискорення $\alpha_{нп} = 0 \text{ м/с}^2$

3.6 Стійкість проти вкочування гребеня колеса на головку рейки

Оцінка стійкості проти вкочування гребеня колеса на рейку виконується по значенню коефіцієнта стійкості. Коефіцієнт стійкості проти вкочування гребеня колеса на рейку визначається відношенням сили, що перешкоджає підйому колеса, до сили що викликає цей підйом.

Значення коефіцієнта стійкості забезпечується при виконанні умови [118]

$$k = \frac{H_B}{P} \leq [k], \quad (3.35)$$

де P і H_B – відповідно вертикальна і бокова сила, що одночасно передаються від колеса на рейку, кН.

Коефіцієнту $k=1,0$ відповідає граничний стан стійкості. Гарантована стійкість забезпечується при $[k]=1,23$ – для локомотивів; $[k]=1,3$ – для вантажних вагонів; $[k]=1,6$ – для пасажирських вагонів.

Аналіз наведеного виразу k вказує, що запобігання вкочування гребеня колеса на головку рейки сприяє збільшенню навантаження на рейку, або зменшення величини бічної сили.

Оскільки найбільш несприятливим, за умови загрози, вкочування набігаючого колеса на головку рейки буде варіант, в якому коефіцієнт запасу стійкості проти вкочування гребеня колеса на головку рейки буде меншим, тобто, варіант з меншим значенням завантаження набігаючої вісі. Тому подальший розрахунок для визначення коефіцієнту стійкості проти вкочування ведеться для цього варіанту.

Величини горизонтальних і вертикальних сил в залежності від полюсних відстаней і непогашених прискорень наведені у таблицях 3.11-3.13.

Величини горизонтальних і вертикальних сил та коефіцієнт стійкості проти
вкочування гребеня колеса на головку рейки при $\alpha_{\text{нп}} = -0,3 \text{ м/с}^2$
для вантажного напіввагону на візках моделі 18.100

Радіус кривої R , м	Полюсна відстань x , м	Бокова сила H_B , кН	Вертикальна сила $P_{\text{роз1}}$, кН	Коефіцієнт стійкості $\frac{H_B}{P_{\text{роз1}}}$
1	2	3	4	5
150	2,4056	55,87	108,98	1,95
160	2,4104	55,29	108,98	1,97
170	2,4152	54,70	108,98	1,99
180	2,4201	54,11	108,98	2,01
190	2,4250	53,53	108,98	2,04
199	2,4264	52,87	108,98	2,06
200	2,4269	52,81	108,98	2,06
210	2,4317	52,23	108,98	2,09
220	2,4365	51,66	108,98	2,11
230	2,4412	51,09	108,98	2,13
240	2,4460	50,53	108,98	2,16
250	2,4506	49,97	108,98	2,18
260	2,4553	49,42	108,98	2,20
270	2,4599	48,88	108,98	2,23
280	2,4644	48,35	108,98	2,25
290	2,4689	47,82	108,98	2,28
299	2,4698	47,24	108,98	2,31
300	2,4702	47,19	108,98	2,31
310	2,4746	46,68	108,98	2,33
320	2,4790	46,18	108,98	2,36
330	2,4833	45,69	108,98	2,39
340	2,4875	45,21	108,98	2,41
349	2,4913	44,78	108,98	2,43
350	2,4917	44,73	108,98	2,44

Величини горизонтальних і вертикальних сил та коефіцієнт стійкості проти вкочування гребеня колеса на головку рейки при $\alpha_{\text{НП}} = 0 \text{ м/с}^2$ для вантажного напіввагону на візках моделі 18.100

Радіус кривої R , м	Полюсна відстань x , м	Бокова сила H_B , кН	Вертикальна сила $P_{\text{РОЗ1}}$, кН	Коефіцієнт стійкості $\frac{H_B}{P_{\text{РОЗ1}}}$
1	2	3	4	5
150	2,3824	56,07	114,04	2,03
160	2,3866	55,48	114,04	2,06
170	2,3909	54,89	114,04	2,08
180	2,3951	54,29	114,04	2,10
190	2,3994	53,70	114,04	2,12
199	2,4003	53,05	114,04	2,15
200	2,4007	52,99	114,04	2,15
210	2,4049	52,41	114,04	2,18
220	2,4090	51,84	114,04	2,20
230	2,4131	51,27	114,04	2,22
240	2,4171	50,70	114,04	2,25
250	2,4211	50,15	114,04	2,27
260	2,4251	49,60	114,04	2,30
270	2,4290	49,06	114,04	2,32
280	2,4329	48,53	114,04	2,35
290	2,4367	48,00	114,04	2,38
299	2,4370	47,43	114,04	2,40
300	2,4374	47,38	114,04	2,41
310	2,4411	46,87	114,04	2,43
320	2,4447	46,37	114,04	2,46
330	2,4483	45,88	114,04	2,49
340	2,4519	45,41	114,04	2,51
349	2,4550	44,98	114,04	2,54
350	2,4554	44,93	114,04	2,54

Величини горизонтальних і вертикальних сил та коефіцієнт стійкості проти
вкочування гребеня колеса на головку рейки при $\alpha_{\text{III}} = +0,3 \text{ м/с}^2$
для вантажного напіввагону на візках моделі 18.100

Радіус кривої R , м	Полюсна відстань x , м	Бокова сила H_B , кН	Вертикальна сила P_{PO3I} , кН	Коефіцієнт стійкості $\frac{H_B}{P_{\text{PO3I}}}$
1	2	3	4	5
150	2,3597	56,26	119,10	2,12
160	2,3633	55,66	119,10	2,14
170	2,3669	55,07	119,10	2,16
180	2,3706	54,47	119,10	2,19
190	2,3742	53,88	119,10	2,21
199	2,3746	53,23	119,10	2,24
200	2,3750	53,17	119,10	2,24
210	2,3785	52,59	119,10	2,26
220	2,3820	52,01	119,10	2,29
230	2,3854	51,44	119,10	2,32
240	2,3888	50,88	119,10	2,34
250	2,3921	50,32	119,10	2,37
260	2,3954	49,77	119,10	2,39
270	2,3987	49,24	119,10	2,42
280	2,4018	48,70	119,10	2,45
290	2,4050	48,18	119,10	2,47
299	2,4048	47,62	119,10	2,50
300	2,4051	47,56	119,10	2,50
310	2,4081	47,06	119,10	2,53
320	2,4110	46,57	119,10	2,56
330	2,4140	46,08	119,10	2,58
340	2,4168	45,61	119,10	2,61
349	2,4194	45,18	119,10	2,64
350	2,4196	45,14	119,10	2,64

У всіх випадках коефіцієнт запасу стійкості проти вкочування гребеня колеса на головку рейки більше 1,3, тобто, забезпечується безпека руху поїздів.

3.7 Норми ширини колії для кривих ділянок колії з радіусами менше 350 м

Норми розширення і ширини колії як зазначалося на початку розділу, у кривих встановлюються виходячи з наступних передумов:

1. Ширина колії не повинна бути менше мінімально допустимої для рухомих одиниць, що обертаються на ділянці колії з найбільшими жорсткими базами (локомотиви).

2. Ширина колії повинна бути менше максимально допустимої ширини, що забезпечує від провалу коліс між рейковими нитками (1548 мм).

3. Ширина колії повинна бути розрахунковою для масового екіпажа (вагони), тобто мінімальна ширина колії, що забезпечує можливість вільного вписування.

Для встановлення норм ширини колії для кривих ділянок колії з радіусами менше 350 м розраховані раніше величини ширини рейкової колії для вантажного вагона з двовісними візками і мінімально допустимі ширини рейкової колії для найбільш розповсюдженого магістрального і маневрового локомотивів, з довгобазними тривісними візками, що обертаються на мережі залізниць зведено у таблицю 3.14.

Таблиця 3.14.

Вибір рекомендованої ширини рейкової колії

Радіус кривої R , м	Розрахункова ширина колії для напіввагону S_{PO3} , мм	Мінімальна допустима ширина рейкової колії S_{min} , мм		Рекомендована ширина рейкової колії $S_{рек}$, мм	
		для М62	для ЧМЭЗ	варіант I	варіант II
1	2	3	4	5	6
150	1537	1518	1531	1540	1540
159	1535	1518	1530		

1	2	3	4	5	6
160	1535	1517	1530	1535	1535
170	1534	1517	1529		
180	1533	1517	1528		
189	1532	1517	1528		
190	1532	1517	1528	1532	1535
199	1531	1517	1527		
200	1531	1517	1527		
210	1531	1517	1527		
220	1530	1517	1526		
229	1529	1517	1526		
230	1529	1517	1526	1530	1530
240	1529	1517	1525		
250	1528	1517	1525		
260	1528	1518	1525		
270	1528	1517	1524		
279	1528	1517	1524		
280	1527	1517	1524	1527	
290	1527	1517	1524		
299	1526	1517	1524		
300	1526	1517	1524		
310	1526	1517	1524		
320	1526	1517	1523		
330	1526	1517	1523		
339	1526	1517	1523		
340	1525	1517	1523	1525	
349	1525	1517	1523		
350	1525	1517	1523		

У всіх випадках ширина колії забезпечує від провалу коліс між рейковими нитками, тобто менше 1548 мм.

На основі розрахунків ширини колії пропонуються норми ширини колії для кривих ділянок колії з радіусами менше 350 м. Сучасна градація радіусів кривих дає досить грубе наближення до плавної теоретичної кривої допустимих відхилень в залежності від радіуса і ломаною лінією зміни

розширення колії (рис. 3.12) у тій самій залежності. Зрозуміло, що для вимог експлуатації зручно мати меншу кількість норм по ширині колії у кривих. У зв'язку з цим надаються пропозиції щодо норм ширини колії у кривих у двох варіантах.

У першому варіанті (табл. 3.15) дана близька до прийнятих зараз звичайна градація ширини колії залежно від радіуса кривих, а у другому варіанті (табл. 3.16) надана більш детальна градація поділу по ширині колії кривих ділянок різного радіуса.

Таблиця 3.15.

Норми ширини колії по звичайній градації

При радіусах кривих ділянок колії, м	Норма ширини колії, мм
350 і більше	1520
менше 350 до 230	1530
менше 230 до 160	1535
менше 160	1540

Таблиця 3.16.

Норми ширини колії по більш детальній градації

При радіусах кривих ділянок колії, м	Норма ширини колії, мм
350 і більше	1520
менше 350 до 340	1525
менше 340 до 280	1527
менше 280 до 230	1530
менше 230 до 190	1532
менше 190 до 160	1535
менше 160	1540

З практичної точки зору перший варіант доцільно застосовувати, зважаючи на меншу кількість градацій ширини колії.

3.8 Визначення фактору зносу гребенів коліс і рейок при їх взаємодії у кривих ділянках

Критерії оцінки зносу гребенів колісних пар детально розглянуті у роботі [129]. До них відносяться: фактор зносу, запропонований проф. С.М. Андриєвським, що дорівнює добутку направляючої сили и кута набігання; робота и потужність сил тертя на гребені; питома робота сил тертя на гребені.

Досвід вказує, що направляючі зусилля в контакті гребеня колеса і бічної грані рейки суттєво впливають на бічний знос рейок та гребенів коліс. На цей процес впливають і кути набігання коліс на рейки, кількість набігаючих коліс, наявність на них абразивних часток та інші фактори.

Для оцінки інтенсивності зносів коліс і рейок важливо мати порівняльні характеристики екіпажів за одним узагальненим показником. Для цього використовують показник, що називають фактор зносу гребенів коліс. Для виводу формули, що визначає такий показник, розглянемо схематичну картину появи зносу гребенів.

Як відомо, миттєва вісь обертання колеса, що рухається по рейці без проковзування, проходить через центр контакту колеса і рейки перпендикулярно вісі рейки (див. рис. 3.15).

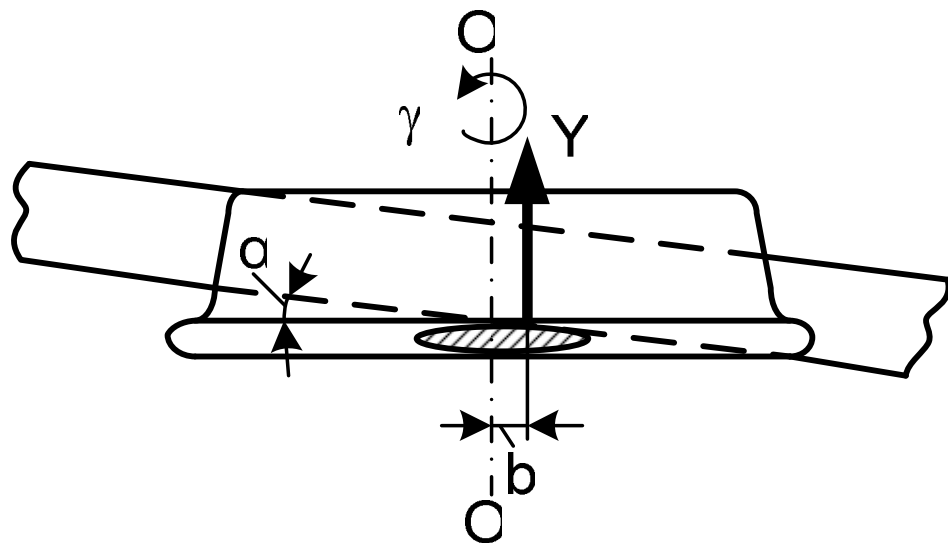


Рис. 3.15. - Схематичне зображення контакту гребеня колеса з рейкою

Гребень колеса передає напрямляючи зусилля Y рейці на деякій відстані b від миттєвої вісі обертання колеса OO («забіг» контакту гребеня з рейкою). При перекочуванні колеса по рейці, що може бути представлено у кожен момент часу як обертання навколо цієї миттєвої вісі, на тертя гребеня колеса по рейці витрачається енергія. Якщо колесо повернулося на кут $d\gamma$, то енергія $A = M \cdot d\gamma = \mu \cdot Y \cdot b \cdot d\gamma$,

де μ - коефіцієнт тертя гребеня по бічній грані рейки;

b - «забіг», який можливо визначити геометрично по формулі 3.36

$$b = (r + t) \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \tau \quad (3.36)$$

де r - радіус колеса;

t - відстань від рівня головки рейки до точки притиснення гребеня до колеса (зазвичай приймають $t=10$ мм);

α - кут набігання колеса на рейку;

τ - кут нахилу робочої поверхні гребеня до горизонту.

Якщо відомо x - відстань від вісі, що розглядається, у якої колесо набігає на рейку, до центру повороту, то $\operatorname{tg} \alpha \approx \sin \alpha = \frac{x}{R}$, де R - радіус кривої.

Таким чином, енергія що характеризує знос гребеня, що розглядається, $A = \mu \cdot Y \cdot (r + t) \frac{x}{R} \cdot \gamma \cdot \operatorname{tg} \tau$. У екіпажів різних типів μ , r , τ та t практично однакові. Тому при $\gamma=1$ енергія тертя гребеня коліс о рейки визначається величиною, що називається фактором зносу гребенів

$$\Phi = \frac{x}{R} \cdot Y \quad (3.37)$$

По ній можливо зробити висновки про те, на яких колесах екіпажу знос гребенів буде максимальним і в якому приблизно співвідношенні цей знос буде по відношенню зі зносом гребенів коліс інших екіпажів в цій кривій.

Визначення фактору зносу Φ гребенів набігаючих коліс для масового рухомого складу, яким прийнято вантажний вагон на візках моделі 18.100, згідно формули 3.37, розраховано у табличному вигляді (табл. 3.17 – 3.19), а результати розрахунків наведено у графічному вигляді на рис. 3.16 - 3.18.

Таблиця 3.17.

Величини фактору зносу гребенів набігаючих коліс при величині непогашеного прискорення $\alpha_{\text{нп}} = +0,3 \text{ м/с}^2$ для вантажного напіввагону на візках моделі 18.100

Радіус кривої R , м	S = 1525 мм			S = 1530 мм			S = 1535 мм		
	Поліусна відстань x , м	Напрявляюче зусилля Y , кН	Фактор зносу	Поліусна відстань x , м	Напрявляюче зусилля Y , кН	Фактор зносу	Поліусна відстань x , м	Напрявляюче зусилля Y , кН	Фактор зносу
250	2,389	80,65	0,771	2,392	80,78	0,773	2,395	80,90	0,775
300	2,405	76,71	0,615	2,408	76,84	0,617	2,411	76,96	0,619
350	2,420	72,98	0,505	2,423	73,10	0,506	2,426	73,22	0,507

Таблиця 3.18.

Величини фактору зносу гребенів набігаючих коліс при величині непогашеного прискорення $\alpha_{\text{нп}} = 0,0 \text{ м/с}^2$ для вантажного напіввагону на візках моделі 18.100

Радіус кривої R , м	S = 1525 мм			S = 1530 мм			S = 1535 мм		
	Поліусна відстань x , м	Напрявляюче зусилля Y , кН	Фактор зносу	Поліусна відстань x , м	Напрявляюче зусилля Y , кН	Фактор зносу	Поліусна відстань x , м	Напрявляюче зусилля Y , кН	Фактор зносу
250	2,418	79,19	0,766	2,421	79,33	0,768	2,424	79,46	0,771
300	2,437	75,33	0,612	2,440	75,46	0,614	2,443	75,59	0,616
350	2,455	71,65	0,503	2,458	71,78	0,504	2,462	71,91	0,506

Таблиця 3.19.

Величини фактору зносу гребенів набігаючих коліс при величині непогашеного прискорення $\alpha_{\text{нп}} = -0,3 \text{ м/с}^2$ для вантажного напіввагону на візках моделі 18.100

Радіус кривої R , м	S = 1525 мм			S = 1530 мм			S = 1535 мм		
	Поліусна відстань x , м	Напрявляюче зусилля Y , кН	Фактор зносу	Поліусна відстань x , м	Напрявляюче зусилля Y , кН	Фактор зносу	Поліусна відстань x , м	Напрявляюче зусилля Y , кН	Фактор зносу
250	2,448	77,73	0,761	2,451	77,87	0,763	2,454	78,01	0,766
300	2,470	73,93	0,609	2,473	74,07	0,611	2,476	74,21	0,613
350	2,492	70,32	0,501	2,495	70,45	0,502	2,498	70,59	0,504

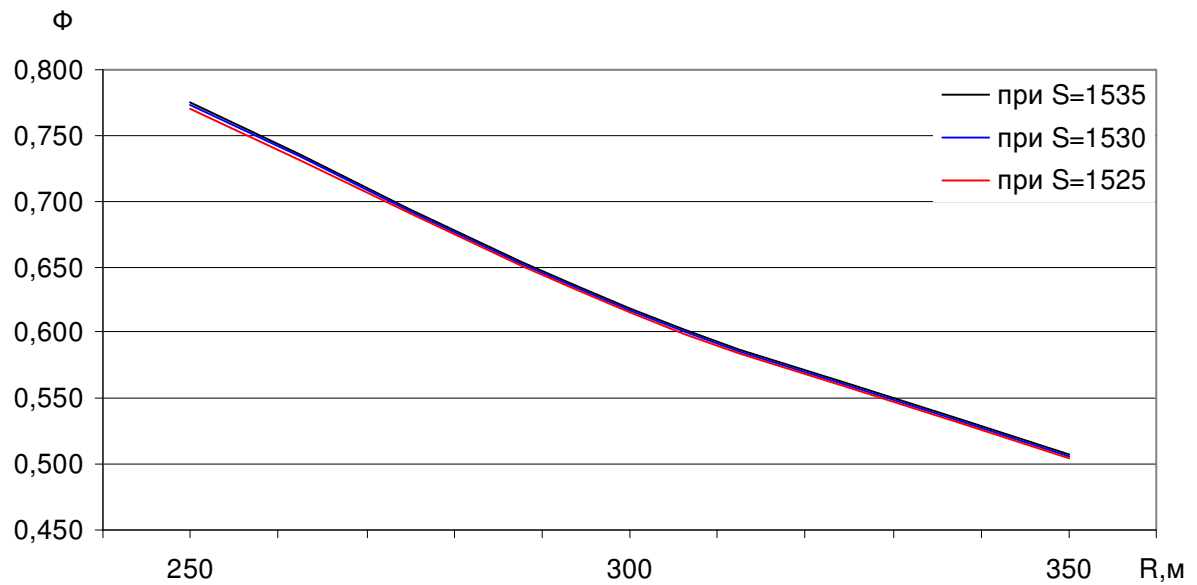


Рис. 3.16. - Порівняння величин фактору зносу Φ гребенів набігаючих коліс при величині непогашеного прискорення $\alpha_{III} = +0,3 \text{ м/с}^2$ для вантажного напіввагону на візках моделі 18.100 в залежності від радіусу і ширини колії

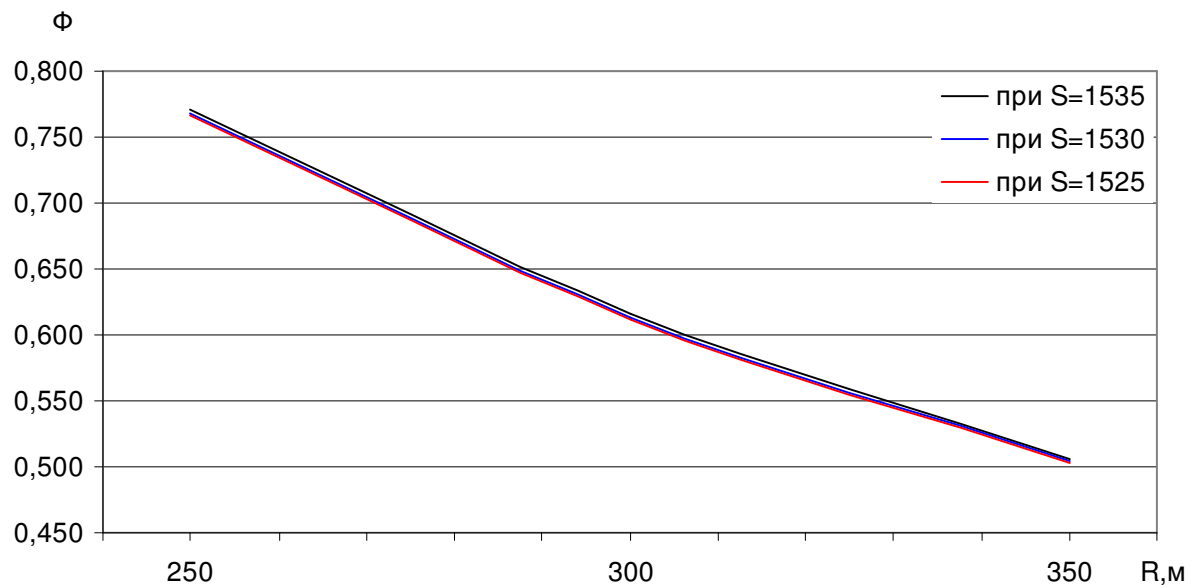


Рис. 3.17. - Порівняння величин фактору зносу Φ гребенів набігаючих коліс при величині непогашеного прискорення $\alpha_{III} = 0 \text{ м/с}^2$ для вантажного напіввагону на візках моделі 18.100 в залежності від радіусу і ширини колії

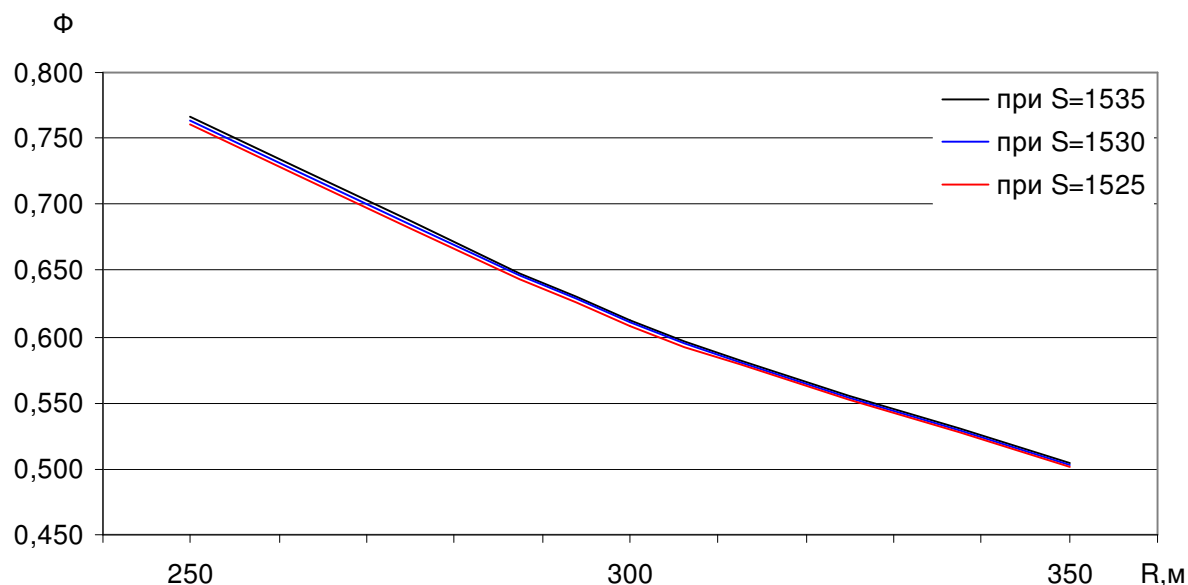


Рис. 3.18. - Порівняння величин фактору зносу Φ гребенів набігаючих коліс при величині непогашеного прискорення $\alpha_{III} = -0,3 \text{ м/с}^2$ для вантажного напіввагону на візках моделі 18.100 в залежності від радіусу і ширини колії

Дані таблиць 3.17 - 3.19 свідчать про закономірне зменшення величини фактору зносу при збільшенні величині радіусу кривої ділянки колії. Крім того, слід відзначити, що ширина колії не має значного впливу на величину фактору зносу. Отже, при зміні норми ширини колії небезпеки збільшення величини зносу гребенів коліс і рейок по зовнішній рейковій нитці не настає. Але грубі відхилення від норм утримання елементів верхньої будови колії та ходових частин рухомого складу можуть впливати на збільшення величини фактору зносу на окремих ділянках.

Аналогічних висновків дійшов автор дослідження впливу норм ширини колії на інтенсивність її розширення у кривих проф. В.О. Певзнер [132, 133]. За його висновками ширина колії не є основним фактором, що суттєво впливає на інтенсивність бокового зносу рейок, а в більшій мірі знос залежить від утримання ходових частин рухомого складу. Але необгрунтоване розширення ширини колії призведе до росту об'ємів робіт по перешивці, виходу з ладу дерев'яних шпал і нарешті може поставити під загрозу безпеку руху.

3.9 Висновки до розділу 3

На основі досліджень, викладених у цьому розділі, отриманих за допомогою розрахунку по методиці, що пропонується можливо зробити наступні висновки:

1. Найбільш ефективним і достовірним методом аналізу процесів взаємодії в системі «колесо-рейка» є метод силової взаємодії, що базується на математичній моделі системи, в якій враховано зміну ширини колії, а також розподіл вертикальних сил, що передаються від рухомого складу на колію, як між колісними парами, так і між колесами у парі.

2. За розрахунками по моделі розподілу вертикальних сил, що передаються від коліс рухомого складу на колію, максимальна різниця у завантаженні колісних пар у візку вантажного напіввагону може досягати 63,9 кН, що складає 28,0% у порівнянні із паспортним статичним навантаженням від колісної пари на рейку 228,0 кН. При величині допустимого непогашеного поперечного прискорення для поїздів з вантажними вагонами ($[\alpha_{\text{III}}] = \pm 0,3 \text{ м/с}^2$) відбувається додаткове розвантаження одного і довантаження іншого колеса у колісній парі на величину до 5,06 кН, що складає 4,44% відносно статичного навантаження. При цьому різниця між максимальною і мінімальною вертикальною силою, що передається від колеса на рейку у візку, може досягати величини у 42,0 кН, що складає 36,9% у порівнянні з статичним навантаженням від колеса на рейку 114,0 кН, що обумовлено як величиною непогашеного прискорення, так і величиною полюсної відстані при вписуванні візка.

3. Обчислення величини полюсної відстані до тепер було ускладнено, через що значення величини полюсної відстані в інженерних розрахунках ширини колії приймалося рівним величині жорсткої бази вагона з тривісними візками. Удосконалення алгоритму розрахунку, розробленої в дисертації моделі, силового вписування для масового виду рухомого складу, якими є вагони з двовісними візками із жорсткою базою 1,85 м, показують,

що полюсні відстані у двовісних візків відрізняються від величини жорсткої бази у бік більших значень до 2,49 м (при довантаженні набігаючої колісної пари) у круговій кривій з радіусом кривої 350 м, а для вантажних вагонів з тривісними візками – полюсна відстань співвимірна із значенням величини жорсткої бази 3,50 м у круговій кривій з тим самим радіусом, але такі вагони відсутні у вагонному парку України.

4. Найменші значення коефіцієнта стійкості проти вкочування колеса на головку рейки в кривих з радіусами кривих менше 350 м отримано при менших значеннях завантаження набігаючого колеса вертикальною силою 108,98 кН і допустимій величині непогашеного прискорення $[\alpha_{\text{нп}}] = -0,3 \text{ м/с}^2$ в залежності від радіуса кривої ділянки: при $R=350 \text{ м}$ – $k = 2,44$; при $R=300 \text{ м}$ – $k = 2,31$; при $R=250 \text{ м}$ – $k = 2,18$; при $R=200 \text{ м}$ – $k = 2,06$. Зі збільшенням величини непогашеного прискорення до $[\alpha_{\text{нп}}] = +0,3 \text{ м/с}^2$ значення коефіцієнта k в залежності від радіуса кривої ділянки – збільшуються: при $R=350 \text{ м}$ – $k = 2,64$; при $R=300 \text{ м}$ – $k = 2,50$; при $R=250 \text{ м}$ – $k = 2,37$; при $R=200 \text{ м}$ – $k = 2,24$.

Стійкість колеса вантажного вагона гарантується при значеннях коефіцієнта $k \geq 1,3$; при умові задовільного стану колії і екіпажа.

5. Фактор зносу гребенів набігаючих коліс Φ зменшується при збільшенні величини радіусу R кривої ділянки колії (якщо $[\alpha_{\text{нп}}] = +0,3 \text{ м/с}^2$ та $S=1530 \text{ мм}$): при $R=250 \text{ м}$ – $\Phi = 0,773$; при $R=300 \text{ м}$ – $\Phi = 0,617$; при $R=350 \text{ м}$ – $\Phi = 0,506$. Фактор зносу збільшується при збільшенні величини непогашеного прискорення $\alpha_{\text{нп}}$ (якщо $S=1525 \text{ мм}$ та $R=350 \text{ м}$): при $[\alpha_{\text{нп}}] = -0,3 \text{ м/с}^2$ – $\Phi = 0,501$; при $\alpha_{\text{нп}} = 0,0 \text{ м/с}^2$ – $\Phi = 0,503$; при $[\alpha_{\text{нп}}] = +0,3 \text{ м/с}^2$ – $\Phi = 0,505$. Фактор зносу збільшується при збільшенні ширини колії S в межах кривої ділянки колії (якщо $[\alpha_{\text{нп}}] = +0,3 \text{ м/с}^2$ та $R=250 \text{ м}$): при $S=1525 \text{ мм}$ – $\Phi = 0,771$; при $S=1530 \text{ мм}$ – $\Phi = 0,773$; при $S=1535 \text{ мм}$ – $\Phi = 0,775$.

6. На величину фактору зносу суттєво впливає радіус кривої, а вплив непогашеного прискорення впливає менше ніж на 0,5%, вплив ширини колії також біля 0,5%. Отже, при зміні норми ширини колії небезпеки значного збільшення величини зносу гребенів коліс і рейок по зовнішній рейковій нитці не наступає. Але грубі відхилення від норм утримання елементів верхньої будови колії та ходових частин рухомого складу можуть впливати на збільшення величини фактору зносу на окремих ділянках.

7. На основі досліджень, отриманих за допомогою розробленої моделі комплексного аналізу показників силової взаємодії рухомого складу і колії, безпеки руху, а також факторного аналізу основних показників взаємодії екіпажа і колії обґрунтовано та запропоновано норми ширини рейкової колії для кривих ділянок з радіусами менше 350 м на залізобетонних шпалах:

- | | |
|-------------------------------------|----------|
| – при радіусах 350 м і більше | 1520 мм; |
| – при радіусах менше 350 м до 230 м | 1530 мм; |
| – при радіусах менше 230 м до 160 м | 1535 мм; |
| – при радіусах менше 160 м | 1540 мм. |

РОЗДІЛ 4

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ КОЛІЇ У КРИВИХ ДІЛЯНКАХ РАДІУСОМ МЕНШЕ 350 М

4.1 Програма і методика проведення експериментальних досліджень

В ході експериментальних досліджень передбачається одержати реальні значення показників взаємодії рухомого складу і колії у кривих, що характеризують рівень безпеки руху.

Дослідна ділянка обрана в середній частині кривої радіусу 192 м, що знаходиться на 87 км одноколійної ділянки перегону Вигнанка – Чортків Львівської залізниці, де мав місце схід тепловозу 2М62 №0876.

Конструкція колії ланкова з рейками типу Р65, укладених в розбіжку (зі зміщенням стиків між правою та лівою рейкою на величину 12,5 м з метою перешкоджання утворення кутів у плані) на дерев'яних шпалах зі скріпленням ДО та епюрою 1840 шпал/км, баласт щебеневий. На даному напрямку встановлена швидкість руху поїздів – 40 км/год.

На дослідній ділянці були виміряні ширина колії, її положення за рівнем і стріли вигину рейок. Крім того аналізувались стрічки вагона-колієвимірювача. Стан колії відповідав вимогам «Інструкції з улаштування та утримання колії залізниць України» (ЦП/0138) [117]. Результати вимірів приведені на рисунках 4.1-4.3.

У процесі дослідів вимірювались наступні величини:

- напруження у кромках підшви рейок;
- напруження у головці рейки;
- вертикальні сили, що діють на рейки від рухомого складу;
- горизонтальні переміщення головки рейки.

Кількість вимірювальних приладів на дослідній ділянці приведена у табл. 4.1, а схема їх розміщення на колії – на рис. 4.4.

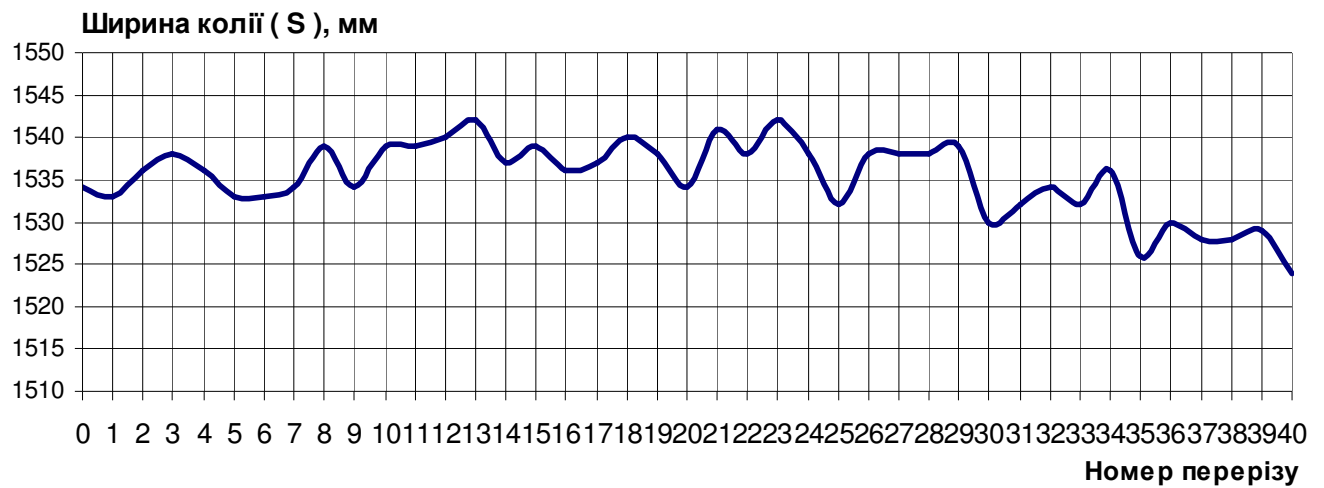


Рис. 4.1. - Ширина колії на дослідній ділянці

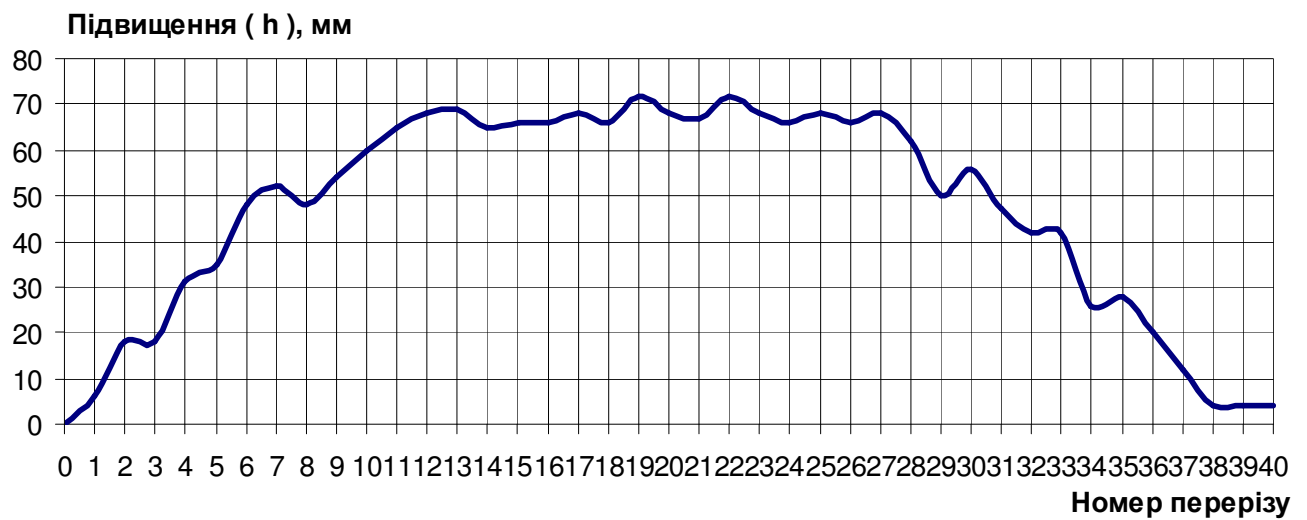


Рис. 4.2. - Стан колії за рівнем на дослідній ділянці

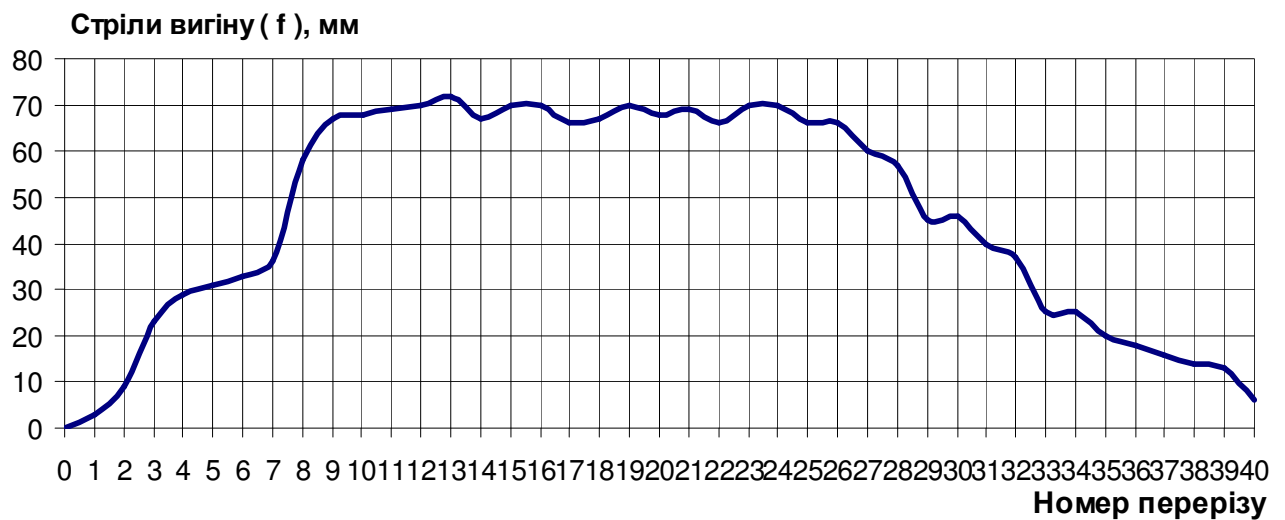


Рис. 4.3. - Стан кривої у плані на дослідній ділянці

Стан всієї кривої на дослідній ділянці вимірювався за допомогою стріли вигину колії від хорди довжиною 10 м через 1 м. Також в цих перерізах вимірювались рівень і ширина колії.

Виміри напружень у зовнішній та внутрішній кромках підшви рейок виконувались за допомогою дротяних датчиків опору з базою 20 мм та опором 200 Ом. Датчики наклеювались біля кромки підшви рейки по її нижній поверхні. В тих же перерізах, де були розміщені датчики для вимірювання напружень у кромках підшви рейок, вимірювались напруження у зовнішній грані головки рейки за допомогою таких самих датчиків, які наклеювались приблизно посередині висоти голівки. Запис показань цих датчиків виконувався на осцилографах типу Н-010.

Таблиця 4.1.

Кількість приладів на дослідній ділянці

№№ п/п	Найменування приладів	Кількість приладів
1	Для вимірювання напружень у кромці підшви рейок	22
2	Для вимірювання напружень у кромці головки рейок	11
3	Для вимірювання вертикальних сил, що діють на рейку	12
4	Для вимірювання горизонтальних переміщень рейок	15

Бокові сили, що діють на рейки від рухомого складу, були розраховані згідно методики О.П. Єршкова [92] з використанням напружень у підшві та головці рейок.

Вертикальні сили, що діють на рейки від рухомого складу, вимірювались за допомогою тензодатчиків, що наклеювались вертикально у зоні нейтральної вісі рейок з обох сторін їх шийки та включались у сумісну роботу. Запис показань цих датчиків виконувався на осцилографах типу Н-010 через підсилювачі.

Коефіцієнти запасу стійкості проти вкочування гребеня колеса на головку рейки, як відомо, є відношенням бокової сили, що діє від рухомого складу на рейку у якомусь перерізі, до вертикальної сили у цьому ж перерізі.

Таким чином і виконувався розрахунок цих коефіцієнтів під кожною віссю дослідного составу у кожному розрахунковому перерізі колії.

Випробування проводилися в три етапи. На першому та другому етапі було використано спеціальний дослідний поїзд, а на третьому етапі у якості дослідних використовувались поїзди, що рухалися по дослідній ділянці у транзитному порядку згідно графіку руху поїздів. Спеціальний дослідний поїзд складався по двох схемах: у першій схемі були використані два тепловози 2М62 №0876 та №1076, один пасажирський вагон-лабораторія та чотири піввагони. У другій схемі використані ті ж два тепловози 2М62 №0876 та №1076 і пасажирський вагон-лабораторія та піввагони, але кількість їх було зменшено до трьох у зв'язку з тим, що з чотирма піввагонами дослідний поїзд не міг реалізувати встановлену швидкість 40 км/год на підйомі 22 ‰. Схема спеціальних дослідних поїздів приведена на рис. 4.5.

Поїздки здійснювалися човником зі швидкостями 12, 20 і 40 км/год. Крім того, на випробувальній ділянці виконувалися поїздки зі швидкістю 5 км/год. для тарування датчиків вертикальних сил.

Попередній аналіз даних експерименту показав, що вантажні вагони мають значно нижчі показники дії на колію, ніж тепловози 2М62. Тому в подальшому детально досліджувались саме показники взаємодії тепловоза 2М62 і колії.

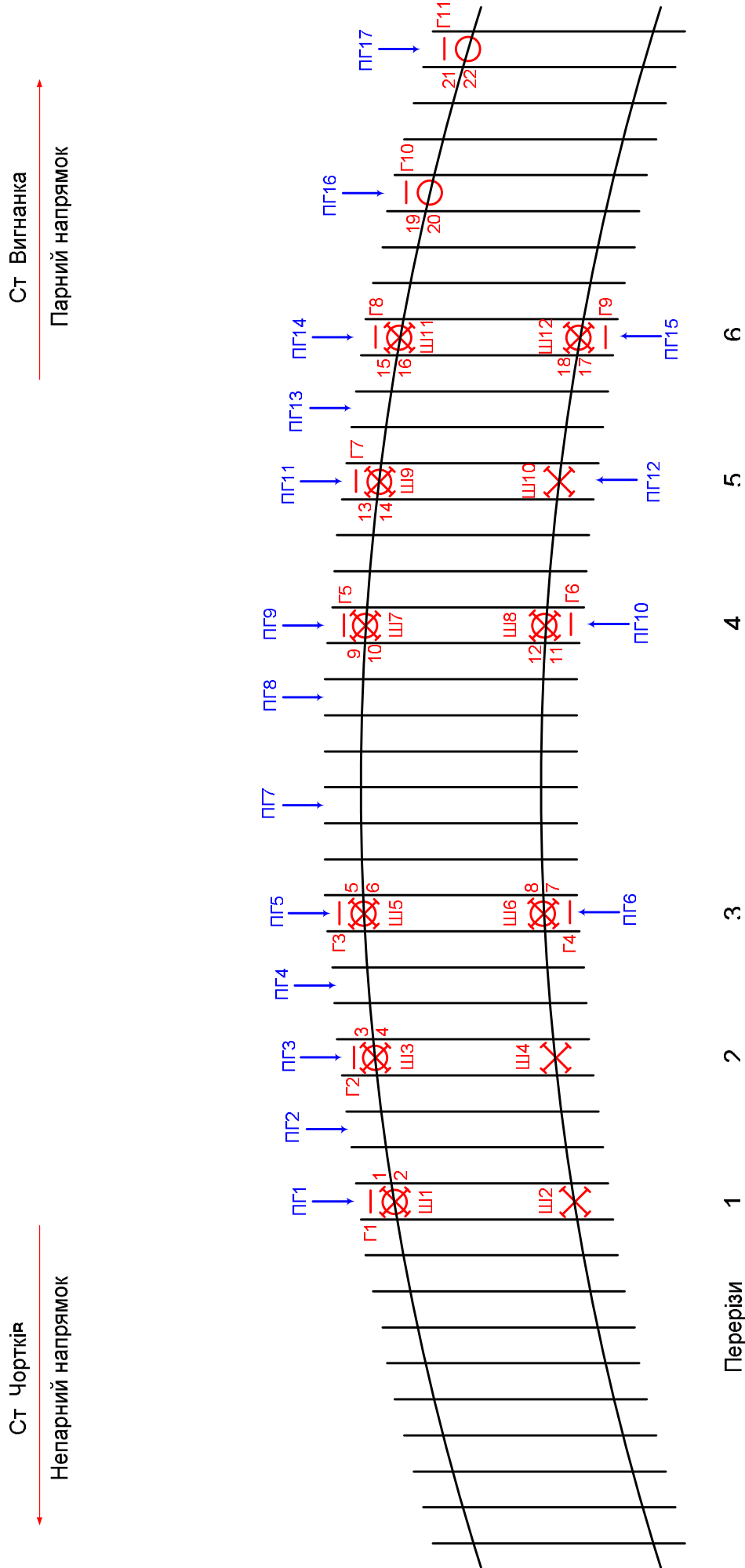


Рис. 4.4. - Схема розміщення вимірювальних приладів на дослідній ділянці

Ст Чортків

Непарний напрямок

Ст Вигнанка

Парний напрямок

Схема № 1

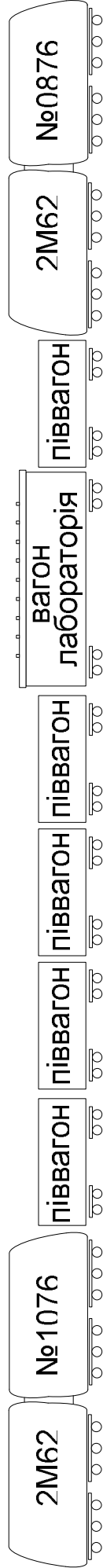


Схема № 2

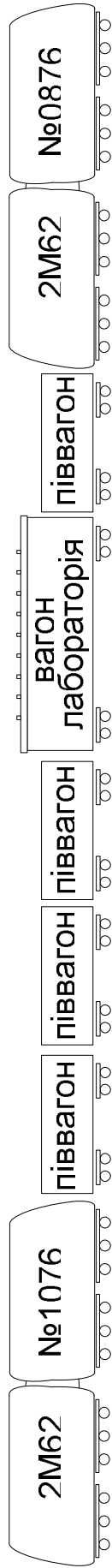


Рис. 4.5. - Схема спеціальних дослідних поїздів

4.2 Результати експериментального дослідження впливу тепловоза М62 на колію в кривій ділянці радіусом 192 м

4.2.1 Аналіз напружень у кромках підшви рейок

Отримані в результаті випробувань напруження в рейках були згруповані у варіаційні ряди спостережень залежно від номеру вісі й швидкості руху тепловозу. Вплив від задніх вісей візків був значно менше інших, тому в таблицях він не був відображений, а показані значення тільки для вісей, що набігають, і середніх вісей. Окремо поєднувалися точки по внутрішній і зовнішній рейковим ниткам. У кожній групі визначалися середні й максимальні ймовірні або спостережені значення напружень.

Були зафіксовані наступні динамічні напруження в рейках від вісей локомотивів, що набігають, у зовнішній кромці підшви рейки на зовнішній рейковій нитці (табл. 4.2):

- середні – 137,63 МПа;
- максимальні – 184,75 МПа.

Таблиця 4.2.

Середні ($\bar{\sigma}$) і максимальні ймовірні ($\sigma_{\max}$) значення напружень у кромках підшви рейки (МПа) на дослідній ділянці по зовнішній рейковій нитці

Локомотив	Швидкість	Вісь	Напруження у кромках рейки, МПа	
			$\bar{\sigma}$	$\sigma_{\max}$
2М62 №0876 та №1076	5	набіг. серед.	$\frac{135,23}{38,88}$	$\frac{168,61}{65,35}$
	12	набіг. серед.	$\frac{137,63}{23,21}$	$\frac{175,71}{46,65}$
	20	набіг. серед.	$\frac{129,35}{32,85}$	$\frac{184,75}{70,18}$
	40	набіг. серед.	$\frac{122,11}{45,00}$	$\frac{183,72}{82,15}$

П р и м і т к а: Тут і далі в чисельнику позначені вісі, що набігають, у знаменнику - середні вісі.

Максимальні експериментальні напруження в зовнішній кромці підшви рейки на внутрішній рейковій нитці від впливу вісей, що набігають (табл. 4.3):

- середні – 104,13 МПа;
- максимальні – 146,47 МПа.

Таблиця 4.3.

Середні ($\bar{\sigma}$) і максимальні ймовірні ($\sigma_{\max}$) значення напружень у кромках підшви рейки (МПа) на дослідній ділянці по внутрішній рейковій нитці

Локомотив	Швидкість	Вісь	Напруження у кромках рейки, МПа	
			$\bar{\sigma}$	$\sigma_{\max}$
2М62 №0876 та №1076	5	набiг. серед.	<u>82,62</u> 100,90	<u>112,15</u> 146,47
	12	набiг. серед.	<u>79,05</u> 104,13	<u>115,44</u> 142,81
	20	набiг. серед.	<u>71,76</u> 89,28	<u>112,60</u> 141,31
	40	набiг. серед.	<u>64,69</u> 73,70	<u>87,29</u> 97,00

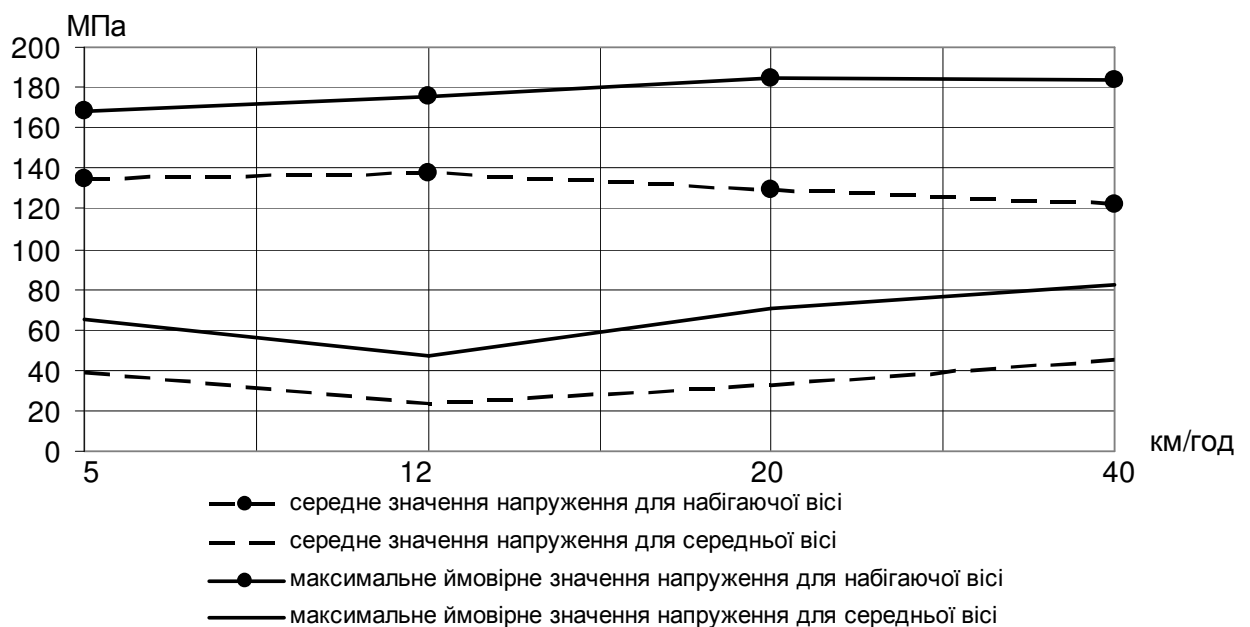


Рис. 4.6. - Залежність напружень у кромках підшви рейки, що виникають на зовнішній рейковій нитці, від швидкості руху дослідного поїзда для вісей, що набігають та середніх вісей

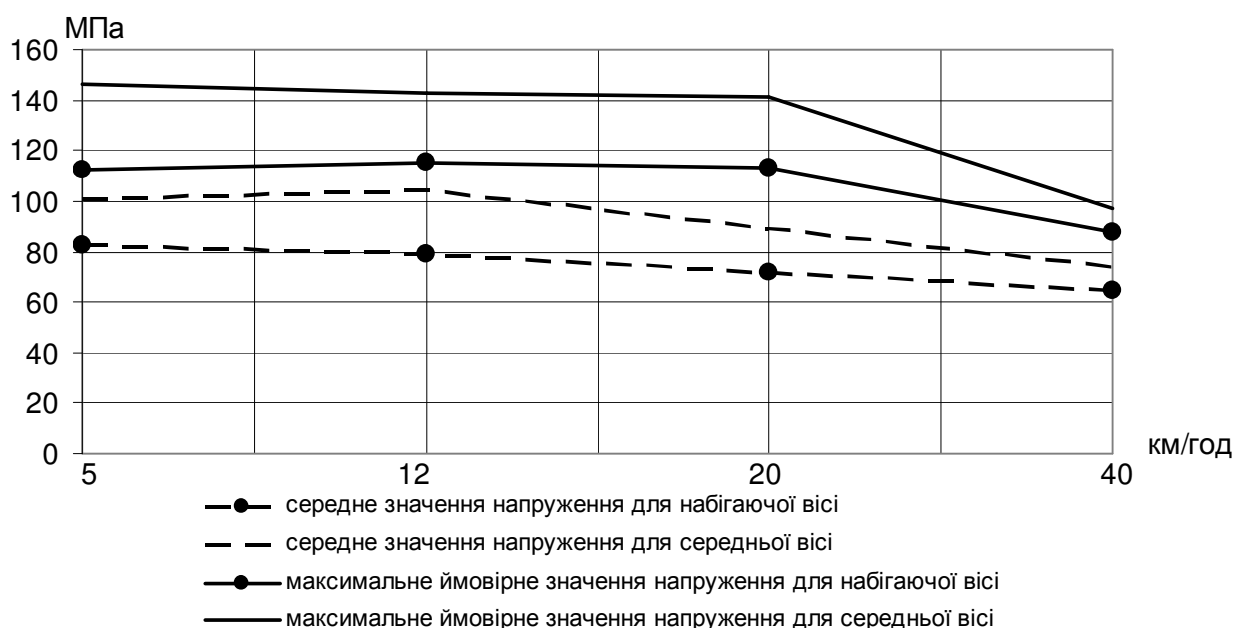


Рис. 4.7. - Залежність напружень у кромках підшви рейки, що виникають на внутрішній рейковій нитці, від швидкості руху дослідного поїзда для вісей, що набігають та середніх вісей

У результаті аналізу можна зробити висновок, що значення напружень, отримані в результаті всієї серії випробувань, не перевищили граничне припустиме значення 240 МПа.

На обраній дослідній ділянці обертаються наступні локомотиви:

2М62 0759, 2М62 0765, 2М62 0831, 2М62 0861, 2М62 0875, 2М62 1086, 2М62 1087, 2М62 1089, 2М62 1253, 2М62 1683, М62 1285, М62 1683, М62 1685, М62 314, ЧМЕЗ 300, ЧМЕЗ 3083.

Для порівняння впливу дослідного локомотиву, що зійшов, з локомотивами що рухалося по дослідній ділянці у транзитному порядку згідно графіку руху поїздів були побудовані наступні таблиці (4.4, 4.9, 4.12, 4.17).

Швидкість руху для всіх транзитних поїздів по дослідній ділянці була близька до встановленої (40 км/год).

Середні ($\bar{\sigma}$) і максимальні ймовірні ($\sigma_{\max}$) значення напружень
у кромках підшви рейки (МПа) на дослідній ділянці

Локомотив	Вісь	По зовнішній рейковій нитці		По внутрішній рейковій нитці	
		$\bar{\sigma}$	$\sigma_{\max}$	$\bar{\sigma}$	$\sigma_{\max}$
1	2	3	4	5	6
2М62 №0759	набіг.	<u>142,95</u>	<u>183,33</u>	<u>84,20</u>	<u>124,58</u>
	серед.	82,11	122,49	94,10	134,48
2М62 №0765	набіг.	<u>97,33</u>	<u>137,71</u>	<u>80,41</u>	<u>120,79</u>
	серед.	57,65	98,03	90,08	130,46
2М62 №0831	набіг.	<u>107,38</u>	<u>147,76</u>	<u>63,83</u>	<u>104,21</u>
	серед.	60,65	101,03	71,35	111,73
2М62 №0861	набіг.	<u>125,73</u>	<u>166,11</u>	<u>86,20</u>	<u>126,58</u>
	серед.	67,08	107,46	114,85	155,23
2М62 №0875	набіг.	<u>124,86</u>	<u>165,24</u>	<u>79,07</u>	<u>119,45</u>
	серед.	63,99	104,37	96,54	136,92
2М62 №1086	набіг.	<u>123,30</u>	<u>163,68</u>	<u>76,02</u>	<u>116,40</u>
	серед.	74,86	115,24	89,43	129,81
2М62 №1087	набіг.	<u>127,80</u>	<u>168,18</u>	<u>74,85</u>	<u>115,23</u>
	серед.	80,95	121,33	113,93	154,31
2М62 №1089	набіг.	<u>140,93</u>	<u>181,31</u>	<u>91,30</u>	<u>131,68</u>
	серед.	62,88	103,26	120,70	161,08
2М62 №1253	набіг.	<u>63,98</u>	<u>104,36</u>	<u>64,75</u>	<u>105,13</u>
	серед.	66,20	106,58	69,48	109,86
2М62 №1683	набіг.	<u>111,90</u>	<u>152,28</u>	<u>77,81</u>	<u>118,19</u>
	серед.	51,06	91,44	95,03	135,41
М62 №1285	набіг.	<u>140,28</u>	<u>180,66</u>	<u>93,09</u>	<u>133,47</u>
	серед.	64,75	105,13	98,70	139,08
М62 №1683	набіг.	<u>119,00</u>	<u>159,38</u>	<u>68,53</u>	<u>108,91</u>
	серед.	51,61	91,99	82,39	122,77
М62 №1685	набіг.	<u>109,35</u>	<u>149,73</u>	<u>71,18</u>	<u>111,56</u>
	серед.	50,81	91,19	85,49	125,87
М62 №314	набіг.	<u>129,45</u>	<u>169,83</u>	<u>105,20</u>	<u>145,58</u>
	серед.	81,55	121,93	93,75	134,13
ЧМС3 300	набіг.	<u>127,25</u>	<u>167,63</u>	<u>83,95</u>	<u>124,33</u>
	серед.	58,40	98,78	94,50	134,88
ЧМС3 3083	набіг.	<u>98,14</u>	138,52	<u>81,95</u>	122,33
	серед.	46,97	87,35	77,64	118,02

4.2.2 Аналіз горизонтального впливу на колію

Горизонтальний вплив дослідного поїзда на колію оцінювався по величині бокових сил, переданих рухомим складом на колію, і по величині горизонтальних віджимів головки рейки. Бокові сили визначалися за методикою О.П. Єршкова [45].

На основі експериментальних даних зроблена вибірка для можливого об'єднання числових значень по вісях рухомого складу й рейкових ниток залежно від швидкості руху дослідного состава.

Отримані значення представлені в таблицях: для бокової сили – 4.5-4.9, для горизонтальних віджимів головки – 4.10-4.11.

Непарний напрямок руху

Максимальні значення бокової сили на зовнішній рейковій нитці були зафіксовані наступні (табл. 4.5):

- середні – 91,71 кН;
- максимальні – 110,69 кН.

Таблиця 4.5.

Середні ($\bar{H}$) і максимальні ймовірні ($H_{\max}$) значення бокових сил (кН) на дослідній ділянці колії по зовнішній рейковій нитці при непарному напрямку руху

Локомотив	Швидкість	Вісь	Бокова сила, кН	
			$\bar{H}$	$H_{\max}$
2М62 №0876 та №1076	5	<u>набіг.</u> серед.	<u>81,55</u> -16,75	<u>104,19</u> -24,14
	12	<u>набіг.</u> серед.	<u>91,71</u> -11,26	<u>110,69</u> -32,25
	20	<u>набіг.</u> серед.	<u>79,19</u> -5,08	<u>106,25</u> -17,04
	40	<u>набіг.</u> серед.	<u>79,01</u> -5,05	<u>86,08</u> -15,06

Максимальні значення бокової сили по внутрішній рейковій нитці були зафіксовані наступні (табл. 4.6): середні – 86,64 кН; максимальні – 137,86 кН.

Таблиця 4.6.

Середні ($\bar{H}$) і максимальні ймовірні ($H_{\max}$) значення бокових сил (кН) на дослідній ділянці колії по внутрішній рейковій нитці при непарному напрямку руху

Локомотив	Швидкість	Вісь	Бокова сила, кН	
			$\bar{H}$	$H_{\max}$
2М62 №0876 та №1076	5	<u>набіг.</u> серед.	<u>69,04</u> 84,87	<u>103,92</u> 128,21
	12	<u>набіг.</u> серед.	<u>63,34</u> 78,97	<u>80,32</u> 95,25
	20	<u>набіг.</u> серед.	<u>71,12</u> 86,64	<u>83,97</u> 137,86
	40	<u>набіг.</u> серед.	<u>49,76</u> 51,23	<u>58,51</u> 63,93

Парний напрямок руху

Максимальні значення бокової сили на зовнішній рейковій нитці були зафіксовані наступні (табл. 4.7): середні – 75,88 кН; максимальні – 92,84 кН.

Таблиця 4.7.

Середні ($\bar{H}$) і максимальні ймовірні ($H_{\max}$) значення бокових сил (кН) на дослідній ділянці колії по зовнішній рейковій нитці при парному напрямку руху

Локомотив	Швидкість	Вісь	Бокова сила, кН	
			$\bar{H}$	$H_{\max}$
2М62 №0876 та №1076	5	<u>набіг.</u> серед.	<u>60,21</u> -21,25	<u>73,85</u> -24,24
	12	<u>набіг.</u> серед.	<u>75,88</u> -9,70	<u>92,84</u> -19,07
	20	<u>набіг.</u> серед.	<u>68,32</u> -9,41	<u>84,92</u> -16,57
	40	<u>набіг.</u> серед.	<u>49,40</u> -3,03	<u>67,02</u> -15,15

Максимальні значення бокової сили по внутрішній рейковій нитці були зафіксовані наступні (табл. 4.8): середні – 73,40 кН; максимальні – 88,39 кН.

Таблиця 4.8.

Середні ($\bar{H}$) і максимальні ймовірні ($H_{\max}$) значення бокових сил (кН) на дослідній ділянці колії по внутрішній рейковій нитці при парному напрямку руху

Локомотив	Швидкість	Вісь	Бокова сила, кН	
			$\bar{H}$	$H_{\max}$
2М62 №0876 та №1076	5	<u>набіг.</u> серед.	<u>47,07</u> 73,40	<u>53,59</u> 75,82
	12	<u>набіг.</u> серед.	<u>45,37</u> 70,49	<u>60,71</u> 88,39
	20	<u>набіг.</u> серед.	<u>40,25</u> 64,64	<u>53,31</u> 72,38
	40	<u>набіг.</u> серед.	<u>30,38</u> 39,52	<u>40,19</u> 50,07

Графіки залежності бокових сил і віджимів від швидкості наведені на рисунках 4.8–4.11

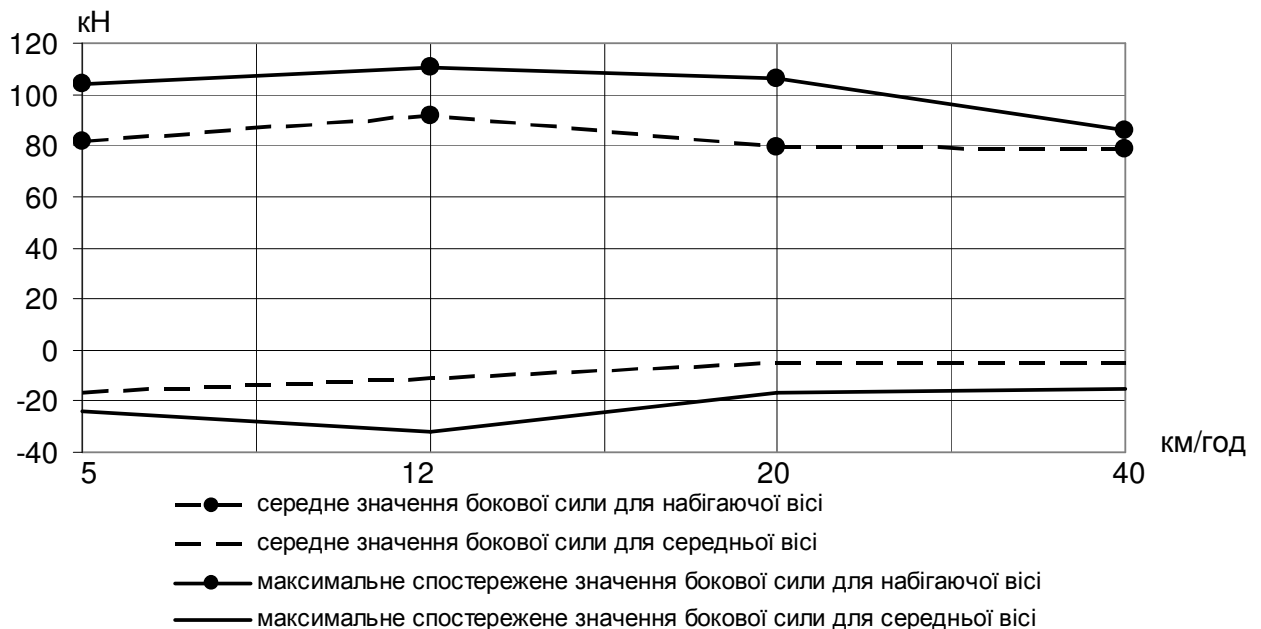


Рис. 4.8. - Залежність бокових сил, що виникають на зовнішній рейковій нитці, від швидкості руху дослідного поїзда для вісей, що набігають та середніх вісей при непарному напрямку руху

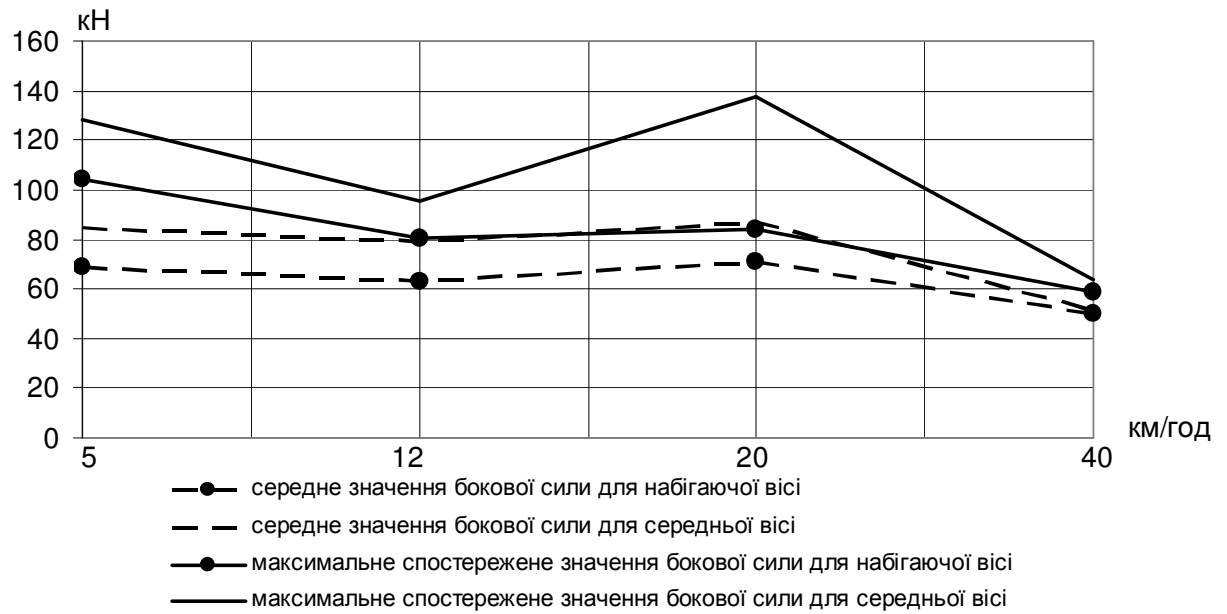


Рис. 4.9. - Залежність бокових сил, що виникають на внутрішній рейковій нитці, від швидкості руху дослідного поїзда для вісей, що набігають та середніх вісей при непарному напрямку руху

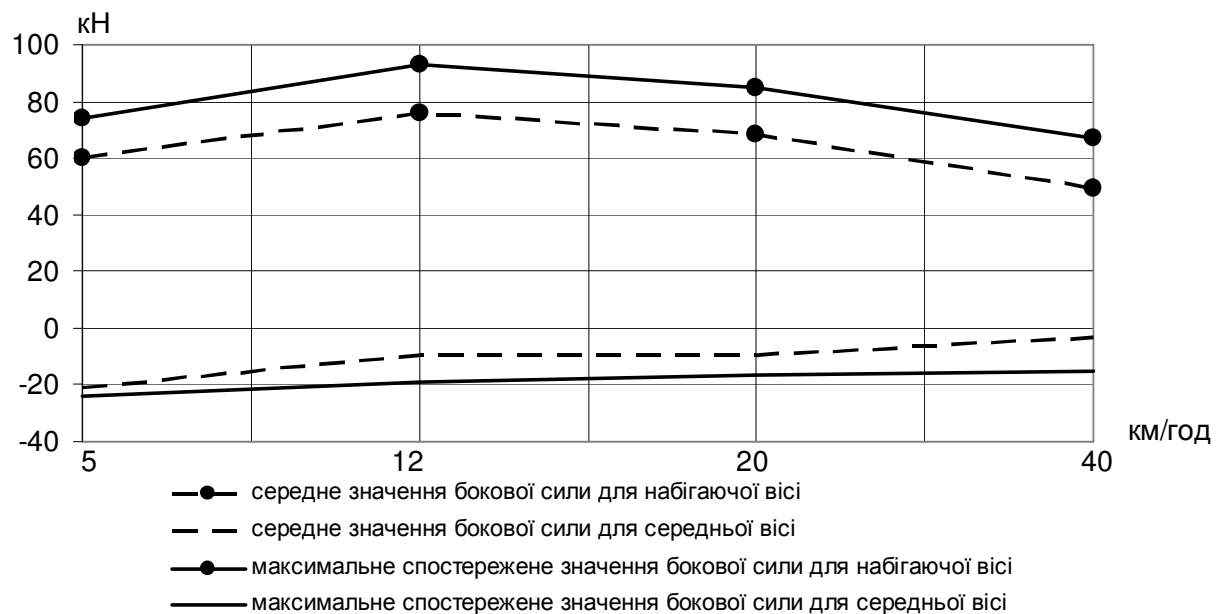


Рис. 4.10. - Залежність бокових сил, що виникають на зовнішній рейковій нитці, від швидкості руху дослідного поїзда для вісей, що набігають та середніх вісей при парному напрямку руху

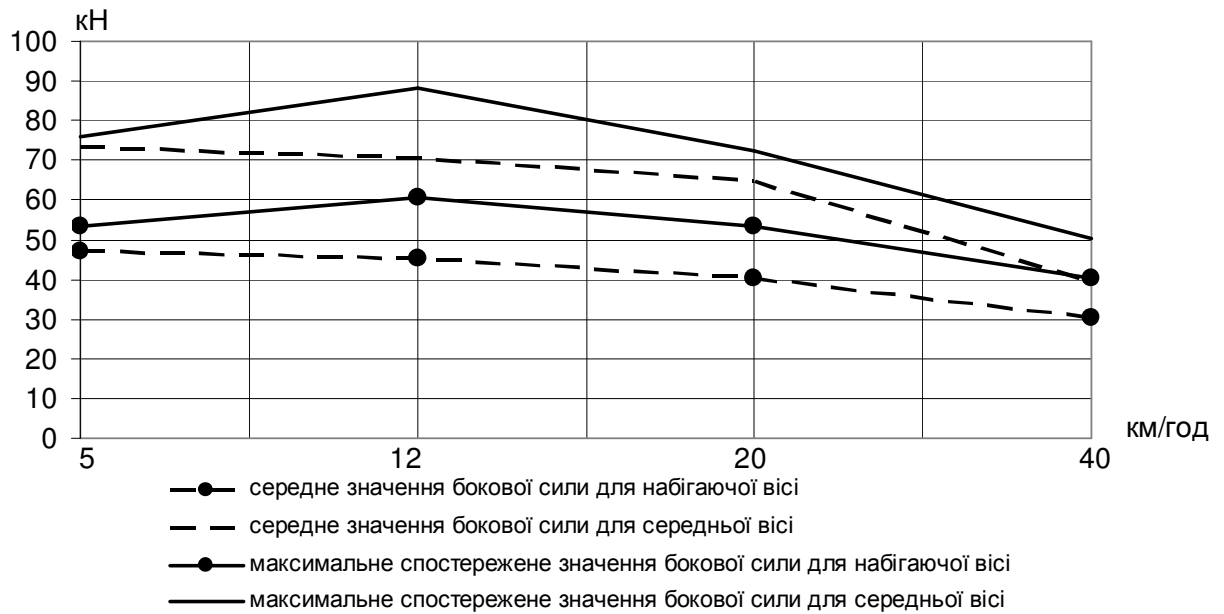


Рис. 4.11. - Залежність бокових сил, що виникають на внутрішній рейковій нитці, від швидкості руху дослідного поїзда для вісей, що набігають та середніх вісей непарному напрямку руху

Таблиця 4.9.

Середні ($\bar{H}$) і максимальні спостережені ($H_{\max}$) значення бокових сил (кН) на дослідній ділянці колії

Локомотив	Вісь	по зовнішній рейковій нитці		по внутрішній рейковій нитці	
		$\bar{H}$	$H_{\max}$	$\bar{H}$	$H_{\max}$
1	2	3	4	5	6
2М62 №0759	набіг.	69,77	105,40	47,52	83,15
	серед.	-5,37	-41,00	63,12	98,75
2М62 №0765	набіг.	53,21	88,84	51,37	87,00
	серед.	-3,31	-38,94	50,10	85,73
2М62 №0831	набіг.	51,66	87,29	32,48	68,11
	серед.	-4,52	-40,15	38,13	73,76
2М62 №0861	набіг.	81,99	117,62	64,47	100,10
	серед.	-11,01	-46,64	61,72	97,35
2М62 №0875	набіг.	70,53	106,16	45,25	80,88
	серед.	-2,56	-38,19	56,33	91,96
2М62 №1086	набіг.	47,29	82,92	42,23	77,86
	серед.	-9,06	-44,69	55,33	90,96
2М62 №1087	набіг.	80,90	116,53	54,65	90,28
	серед.	3,64	39,27	65,25	100,88

1	2	3	4	5	6
2М62 №1089	набіг. серед.	<u>90,23</u> -7,77	<u>125,86</u> -43,40	<u>60,40</u> 68,33	<u>96,03</u> 103,96
2М62 №1253	набіг. серед.	<u>40,21</u> -3,67	<u>75,84</u> -39,30	<u>29,57</u> 24,58	<u>65,20</u> 60,21
2М62 №1683	набіг. серед.	<u>79,15</u> -1,40	<u>114,78</u> -37,03	<u>46,98</u> 60,75	<u>82,61</u> 96,38
М62 №1285	набіг. серед.	<u>48,35</u> -1,06	<u>83,98</u> -36,69	<u>51,76</u> 54,52	<u>87,39</u> 90,15
М62 №1683	набіг. серед.	<u>54,15</u> -0,20	<u>89,78</u> -35,83	<u>37,90</u> 44,91	<u>73,53</u> 80,54
М62 №1685	набіг. серед.	<u>45,28</u> -0,35	<u>80,91</u> -35,98	<u>42,24</u> 45,94	<u>77,87</u> 81,57
М62 №314	набіг. серед.	<u>67,66</u> -3,55	<u>103,29</u> -39,18	<u>69,04</u> 55,82	<u>104,67</u> 91,45
ЧМЄ3 300	набіг. серед.	<u>79,36</u> -8,03	<u>114,99</u> -43,66	<u>57,33</u> 70,96	<u>92,96</u> 106,59
ЧМЄ3 3083	набіг. серед.	<u>46,23</u> -8,73	<u>81,855</u> -44,355	<u>51,74</u> 45,23	<u>87,365</u> 80,855

4.2.3 Аналіз віджимів головки рейки

Максимальні значення віджимів головки рейки по зовнішній рейковій нитці були зафіксовані наступні (табл. 4.10): середні – 6,9 мм; максимальні спостережені – 10,3 мм.

Таблиця 4.10.

Середні ($\bar{Y}$) і максимальні спостережені ($Y_{\max}$) значення віджимів головки рейки (мм) на дослідній ділянці колії по зовнішній рейковій нитці

Локомотив	Швидкість	Вісь	Віджими головки рейки (мм)	
			$\bar{Y}$	$Y_{\max}$
2М62 №0876 та №1076	5	набіг. серед.	<u>5,8</u> 2,8	<u>8,8</u> 3,9
	12	набіг. серед.	<u>6,9</u> 3,1	<u>10,3</u> 5,0
	20	набіг. серед.	<u>5,8</u> 3,0	<u>9,7</u> 4,9
	40	набіг. серед.	<u>4,6</u> 3,0	<u>7,0</u> 4,6

Максимальні значення віджимів головки рейки на внутрішній рейковій нитці були зафіксовані наступні (табл. 4.11):

- середні – 4,8 мм;
- максимальні спостережені – 6,6 мм.

Таблиця 4.11.

Середні ($\bar{Y}$) і максимальні спостережені ($Y_{\max}$) значення віджимів головки рейки (мм) на дослідній ділянці колії по внутрішній рейковій нитці

Локомотив	Швидкість	Вісь	Віджими головки рейки (мм)	
			$\bar{Y}$	$Y_{\max}$
2М62 №0876 та №1076	5	набіг.	<u>3,9</u>	<u>4,8</u>
		серед.	4,0	5,4
	12	набіг.	<u>4,8</u>	<u>6,6</u>
		серед.	4,6	6,3
	20	набіг.	<u>3,6</u>	<u>5,9</u>
		серед.	3,2	6,0
	40	набіг.	<u>1,8</u>	<u>3,2</u>
		серед.	1,2	2,4

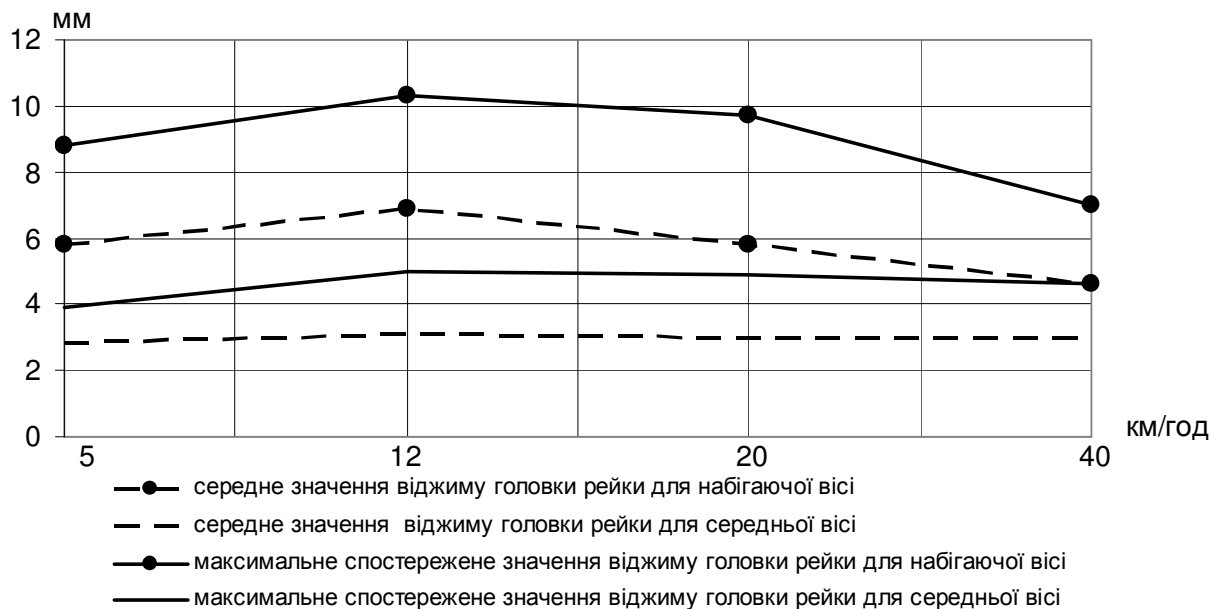


Рис. 4.12. - Залежність віджимів головки рейки зовнішньої рейкової нитки, від швидкості руху дослідного поїзда для вісей, що набігають та для середніх вісей

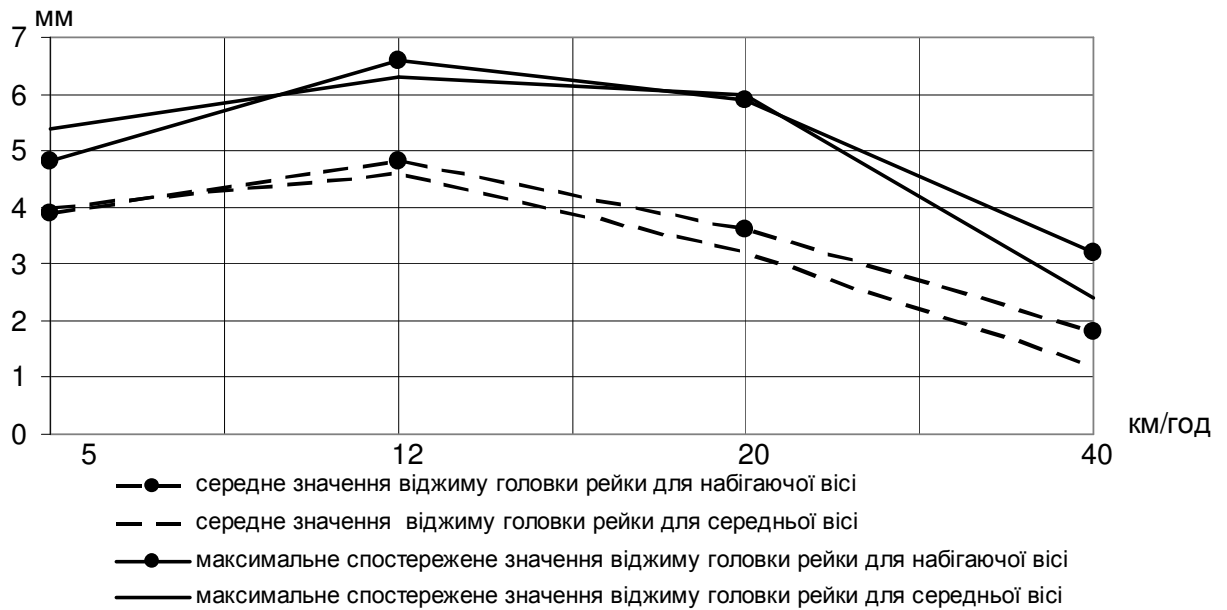


Рис. 4.13. - Залежність віджимів головки рейки внутрішньої рейкової нитки, від швидкості руху дослідного поїзда для вісей, що набігають та для середніх вісей

Таблиця 4.12.

Середні ($\bar{Y}$) і максимальні спостережені ($Y_{\max}$) значення віджимів головки рейки (мм) на дослідній ділянці колії

Локомотив	Вісь	Віджими головки рейки (мм)			
		по зовнішній рейковій нитці		по внутрішній рейковій нитці	
		$\bar{Y}$	$Y_{\max}$	$\bar{Y}$	$Y_{\max}$
1	2	3	4	5	6
2М62 №0759	набіг.	<u>4,2</u>	<u>7,6</u>	<u>4,1</u>	<u>7,4</u>
	серед.	1,0	4,3	4,4	7,8
2М62 №0765	набіг.	<u>4,1</u>	<u>7,5</u>	<u>3,3</u>	<u>6,7</u>
	серед.	1,4	4,7	3,6	7,0
2М62 №0831	набіг.	<u>2,1</u>	<u>5,5</u>	<u>2,2</u>	<u>5,6</u>
	серед.	0,5	3,9	1,7	5,1
2М62 №0861	набіг.	<u>6,0</u>	<u>9,3</u>	<u>3,9</u>	<u>7,2</u>
	серед.	1,3	4,7	4,4	7,8
2М62 №0875	набіг.	<u>3,8</u>	<u>7,2</u>	<u>3,3</u>	<u>6,7</u>
	серед.	1,0	4,4	3,9	7,3
2М62 №1086	набіг.	<u>3,2</u>	<u>6,6</u>	<u>2,5</u>	<u>5,9</u>
	серед.	1,1	4,5	2,5	5,8

1	2	3	4	5	6
2М62 №1087	<u>набіг.</u> серед.	<u>5,3</u> 1,7	<u>8,6</u> 5,1	<u>3,5</u> 4,7	<u>6,9</u> 8,0
2М62 №1089	<u>набіг.</u> серед.	<u>5,5</u> 1,4	<u>8,8</u> 4,8	<u>3,6</u> 4,7	<u>7,0</u> 8,0
2М62 №1253	<u>набіг.</u> серед.	<u>0,6</u> 0,1	<u>4,0</u> 3,5	<u>1,2</u> 1,8	<u>4,6</u> 5,2
2М62 №1683	<u>набіг.</u> серед.	<u>4,2</u> 1,3	<u>7,6</u> 4,7	<u>3,9</u> 3,5	<u>7,3</u> 6,8
М62 №1285	<u>набіг.</u> серед.	<u>4,3</u> 2,4	<u>7,7</u> 5,8	<u>3,4</u> 3,1	<u>6,7</u> 6,5
М62 №1683	<u>набіг.</u> серед.	<u>7,7</u> 2,3	<u>11,0</u> 5,7	<u>2,9</u> 3,4	<u>6,3</u> 6,8
М62 №1685	<u>набіг.</u> серед.	<u>3,8</u> 1,7	<u>7,2</u> 5,1	<u>2,6</u> 3,4	<u>5,9</u> 6,7
М62 №314	<u>набіг.</u> серед.	<u>4,6</u> 2,4	<u>7,9</u> 5,8	<u>3,2</u> 4,0	<u>6,6</u> 7,3
ЧМЕЗ 300	<u>набіг.</u> серед.	<u>2,9</u> 1,2	<u>6,2</u> 4,6	<u>5,1</u> 5,1	<u>8,4</u> 8,5
ЧМЕЗ 3083	<u>набіг.</u> серед.	<u>3,3</u> 2,3	<u>6,6</u> 5,7	<u>3,8</u> 3,2	<u>7,1</u> 6,6

4.2.4 Аналіз вертикального впливу на колію

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

Зібрані схеми реєстрації сил були протаровані шляхом прокочування коліс дослідного поїзда в режимі вибігу зі швидкістю 5 км/год.

У результаті обробки даних, були отримані значення вертикальних сил від впливу рухомого складу (табл. 4.13-4.17).

Непарний напрямок руху

Максимальні значення вертикальних сил на зовнішній рейковій нитці були зафіксовані наступні (табл. 4.13): для вісей, що набігають - 141,42 кН; для середніх вісей – 153,85 кН.

Таблиця 4.13.

Середні ($\bar{P}$), мінімальні ($P_{\min}$) і максимальні спостережені ($P_{\max}$)

значення вертикальних сил (кН) на дослідній ділянці по зовнішній рейковій нитці при русі в непарному напрямку

Локомотив	Швидкість	Вісь	Вертикальні сили, кН		
			$\bar{P}$	$P_{\min}$	$P_{\max}$
2М62 №0876 та №1076	5	набіг.	<u>76,88</u>	<u>67,95</u>	<u>82,24</u>
		серед.	92,08	81,05	104,89
	12	набіг.	<u>83,82</u>	<u>65,46</u>	<u>100,13</u>
		серед.	101,20	79,75	121,83
	20	набіг.	<u>96,62</u>	<u>67,35</u>	<u>119,79</u>
		серед.	114,73	82,24	134,09
	40	набіг.	<u>105,33</u>	<u>77,51</u>	<u>141,42</u>
		серед.	131,27	112,43	153,85

Максимальні значення вертикальних сил на внутрішній рейковій нитці були зафіксовані наступні (табл. 4.14): для вісей, що набігають - 113,40 кН; для середніх вісей – 141,15 кН.

Таблиця 4.14.

Середні ($\bar{P}$), мінімальні ($P_{\min}$) і максимальні спостережені ($P_{\max}$) значення

вертикальних сил (кН) на дослідній ділянці по внутрішній рейковій нитці при русі в непарному напрямку

Локомотив	Швидкість	Вісь	Вертикальні сили, кН		
			$\bar{P}$	$P_{\min}$	$P_{\max}$
2М62 №0876 та №1076	5	набіг.	<u>106,17</u>	<u>101,17</u>	<u>112,29</u>
		серед.	124,66	116,18	137,31
	12	набіг.	<u>100,57</u>	<u>86,21</u>	<u>113,40</u>
		серед.	122,31	108,64	141,15
	20	набіг.	<u>95,32</u>	<u>83,03</u>	<u>106,18</u>
		серед.	109,42	92,02	130,63
	40	набіг.	<u>88,51</u>	<u>62,27</u>	<u>106,67</u>
		серед.	100,76	85,92	117,05

Парний напрямок руху

Максимальні значення вертикальних сил на зовнішній рейковій нитці були зафіксовані наступні (табл. 4.15): для осей, що набігають – 124,19 кН; для середніх осей – 121,58 кН.

Таблиця 4.15.

Середні ($\bar{P}$), мінімальні ($P_{\min}$) і максимальні спостережені ($P_{\max}$) значення вертикальних сил (кН) на дослідній ділянці по зовнішній рейковій нитці при русі в парному напрямку

Локомотив	Швидкість	Вісь	Вертикальні сили, кН		
			$\bar{P}$	$P_{\min}$	$P_{\max}$
2М62 №0876 та №1076	5	набіг.	<u>77,17</u>	<u>56,38</u>	<u>88,28</u>
		серед.	86,72	68,35	97,97
	12	набіг.	<u>81,17</u>	<u>60,37</u>	<u>110,90</u>
		серед.	88,57	70,52	116,01
	20	набіг.	<u>93,34</u>	<u>80,87</u>	<u>108,78</u>
		серед.	93,97	67,21	120,74
	40	набіг.	<u>92,16</u>	<u>66,73</u>	<u>124,19</u>
		серед.	102,92	82,41	121,58

Максимальні значення вертикальних сил на внутрішній рейковій нитці були зафіксовані наступні (табл. 4.16): для вісей, що набігають – 121,72 кН; для середніх вісей – 134,12 кН.

Таблиця 4.16.

Середні ($\bar{P}$), мінімальні ($P_{\min}$) і максимальні спостережені ($P_{\max}$) значення вертикальних сил (кН) на дослідній ділянці по внутрішній рейковій нитці при русі в парному напрямку

Локомотив	Швидкість	Вісь	Вертикальні сили, кН		
			$\bar{P}$	$P_{\min}$	$P_{\max}$
2М62 №0876 та №1076	5	набіг.	<u>99,27</u>	<u>87,25</u>	<u>110,74</u>
		серед.	122,34	111,85	126,95
	12	набіг.	<u>95,17</u>	<u>75,56</u>	<u>121,72</u>
		серед.	115,30	93,11	134,12
	20	набіг.	<u>91,52</u>	<u>77,74</u>	<u>101,23</u>
		серед.	102,53	70,24	121,92
	40	набіг.	<u>90,83</u>	<u>67,57</u>	<u>113,57</u>
		серед.	100,38	88,02	116,61

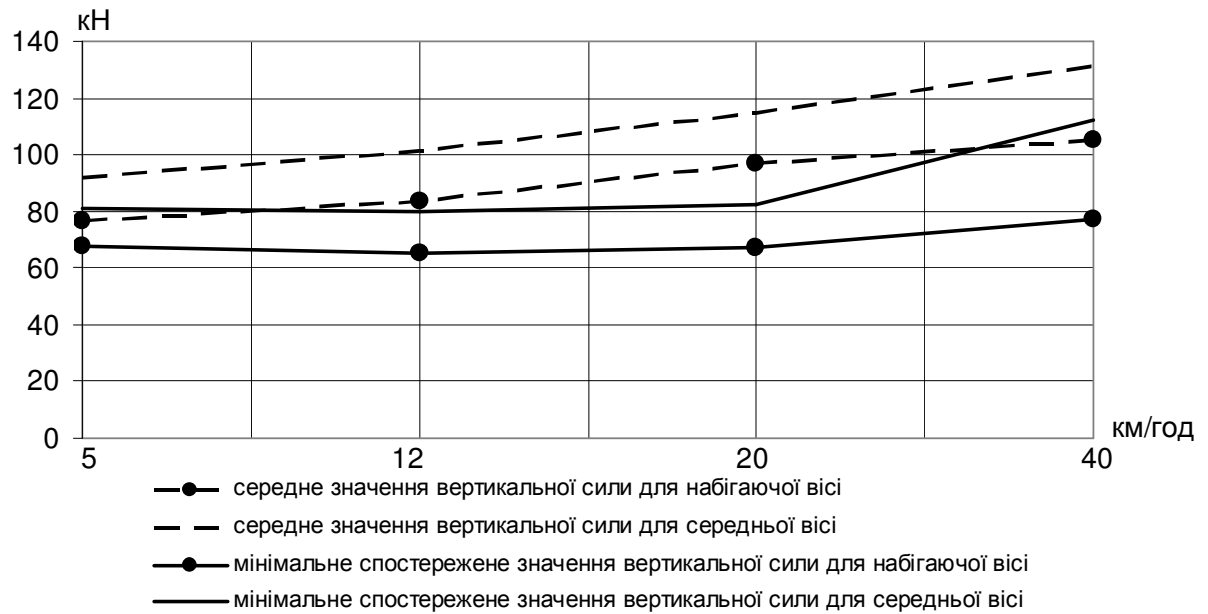


Рис. 4.14. - Залежність вертикальних сил для зовнішньої рейкової нитки, від швидкості руху дослідного поїзда для вісей, що набігають та для середніх вісей при русі в непарному напрямку

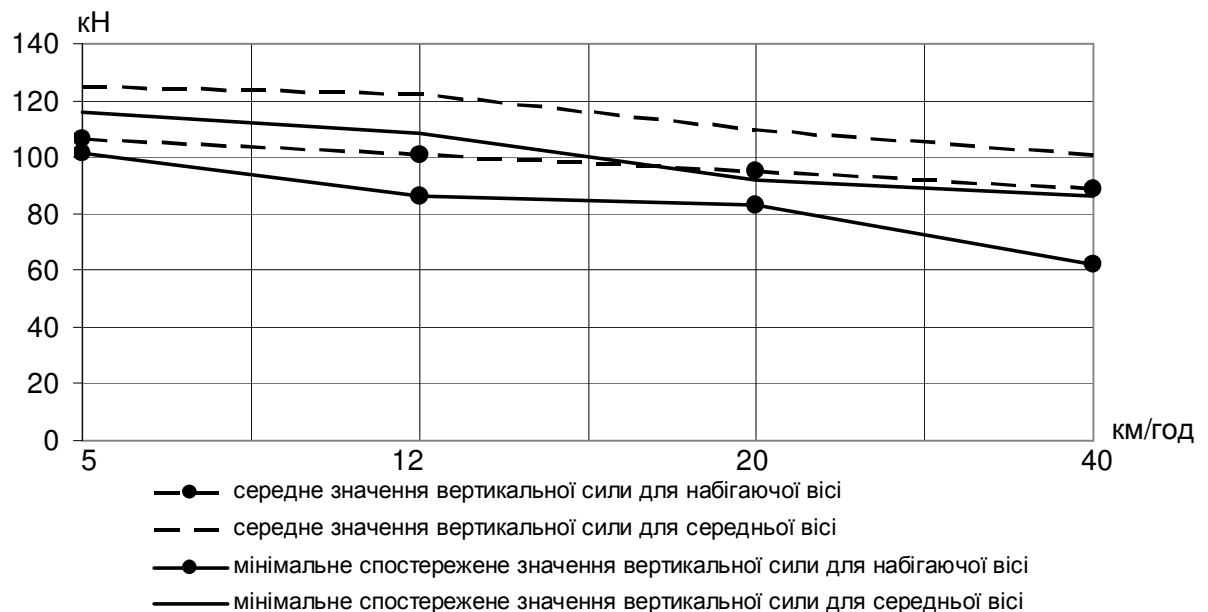


Рис. 4.15. - Залежність вертикальних сил для внутрішньої рейкової нитки, від швидкості руху дослідного поїзда для вісей, що набігають та для середніх вісей при русі в парному напрямку

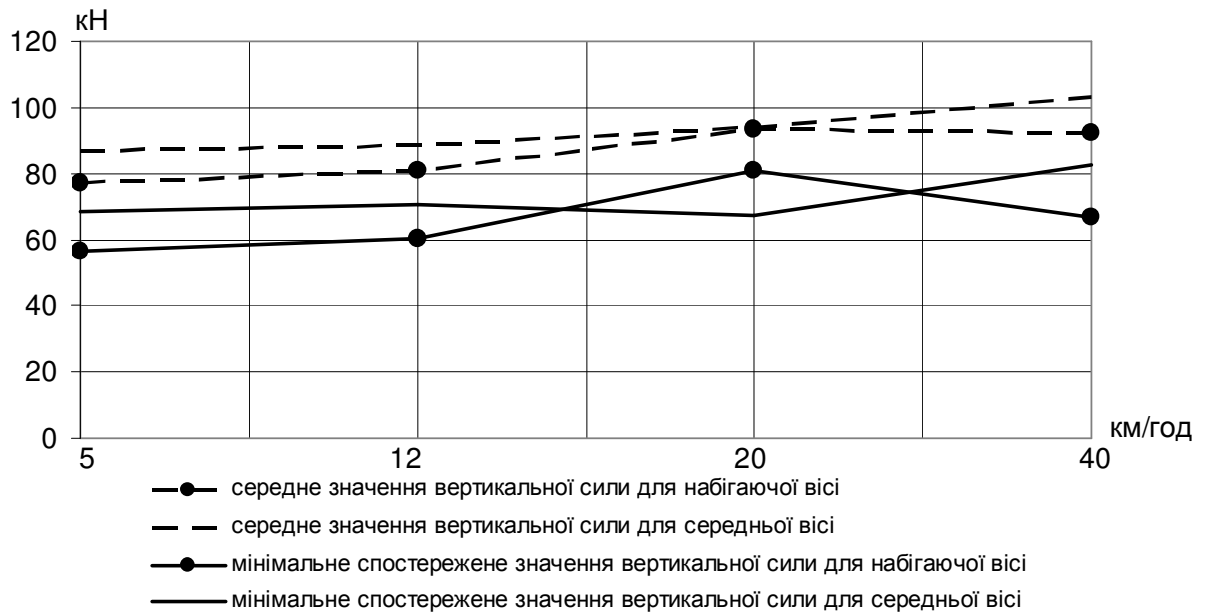


Рис. 4.16. - Залежність вертикальних сил для зовнішньої рейкової нитки, від швидкості руху дослідного поїзда для вісей, що набігають та для середніх вісей при русі в парному напрямку

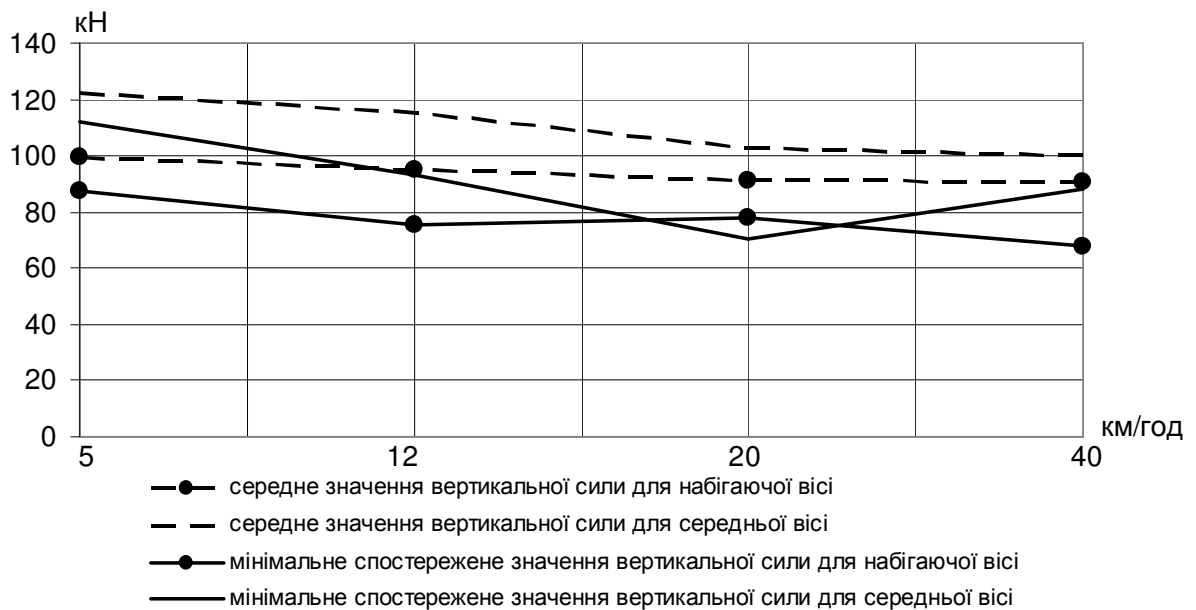


Рис. 4.17. - Залежність вертикальних сил для внутрішньої рейкової нитки, від швидкості руху дослідного поїзда для вісей, що набігають та для середніх вісей при русі в непарному напрямку

Середні ($\bar{P}$) і мінімальні спостережені ($P_{\min}$) значення
вертикальних сил (кН) на дослідній ділянці

Локомотив	Вісь	по зовнішній рейковій нитці		по внутрішній рейковій нитці	
		$\bar{P}$	$P_{\min}$	$\bar{P}$	$P_{\min}$
1	2	3	4	5	6
2М62 №0759	набіг.	<u>60.03</u>	<u>53.96</u>	<u>109.26</u>	<u>44.70</u>
	серед.	49.60	44.70	109.08	88.78
2М62 №0765	набіг.	<u>54.08</u>	<u>32.02</u>	<u>73.73</u>	<u>36.86</u>
	серед.	55.21	36.86	108.08	85.48
2М62 №0831	набіг.	<u>65.99</u>	<u>57.78</u>	<u>75.73</u>	<u>49.06</u>
	серед.	56.48	49.06	94.57	82.22
2М62 №0861	набіг.	<u>56.13</u>	<u>52.94</u>	<u>82.11</u>	<u>41.36</u>
	серед.	44.54	41.36	98.55	82.76
2М62 №0875	набіг.	<u>45.00</u>	<u>16.01</u>	<u>87.90</u>	<u>13.76</u>
	серед.	38.33	13.76	110.67	86.82
2М62 №1086	набіг.	<u>68.48</u>	<u>55.12</u>	<u>84.71</u>	<u>47.49</u>
	серед.	56.33	47.49	105.13	76.41
2М62 №1087	набіг.	<u>69.97</u>	<u>63.16</u>	<u>91.11</u>	<u>50.01</u>
	серед.	53.21	40.01	108.90	98.95
2М62 №1089	набіг.	<u>60.55</u>	<u>56.89</u>	<u>78.86</u>	<u>44.90</u>
	серед.	46.77	44.90	93.47	87.31
2М62 №1253	набіг.	<u>49.62</u>	<u>48.03</u>	<u>111.96</u>	<u>47.29</u>
	серед.	49.43	47.29	123.44	62.02
2М62 №1683	набіг.	<u>50.64</u>	<u>32.98</u>	<u>78.31</u>	<u>36.66</u>
	серед.	42.67	36.66	91.48	72.13
М62 №1285	набіг.	<u>67.27</u>	<u>60.30</u>	<u>107.73</u>	<u>49.87</u>
	серед.	57.38	49.87	107.38	84.02
М62 №1683	набіг.	<u>53.65</u>	<u>32.70</u>	<u>82.31</u>	<u>19.76</u>
	серед.	41.95	19.76	98.91	45.50
М62 №1685	набіг.	<u>59.75</u>	<u>30.12</u>	<u>86.83</u>	<u>28.62</u>
	серед.	52.29	28.62	94.09	49.47
М62 №314	набіг.	<u>76.28</u>	<u>71.95</u>	<u>89.15</u>	<u>60.57</u>
	серед.	63.02	60.57	104.21	97.23
ЧМС3 300	набіг.	<u>61.97</u>	<u>57.30</u>	<u>102.80</u>	<u>51.31</u>
	серед.	54.85	51.31	113.33	77.50
ЧМС3 3083	набіг.	<u>58.32</u>	<u>31.48</u>	<u>84.28</u>	<u>28.48</u>
	серед.	51.65	28.48	95.43	55.32

Також було проведено аналіз щодо нерівномірності розподілу ваги рухомого складу під час рух в залежності від швидкості і напрямку руху, і як наслідок – зміни величини вертикального впливу на колію вздовж дослідної ділянки.

Отримані результати наведені у вигляді таблиці 4.18.

Таблиця 4.18.

Зміна величин вертикальних сил вздовж колії по зовнішній рейковій нитці в межах дослідної ділянки, що передаються від трьохвісних візків локомотивів в залежності від швидкості і напрямку руху

Напрямок руху	Швидкість, км/год	Вісь візка	Середні ($\bar{P}$) значення вертикальних сил (кН) в залежності від перерізу колії					
			1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6	7	8	9
парний	5	1	105,55	79,66	86,28	77,17	92,09	102,30
		2	74,90	83,37	84,35	86,72	80,59	73,59
		3	85,96	103,37	95,77	102,51	93,72	90,51
	12	1	113,54	75,82	87,64	81,17	87,40	73,11
		2	80,03	80,29	84,22	88,57	75,78	57,27
		3	89,37	98,64	100,79	104,56	86,77	68,37
	20	1	107,93	72,28	79,86	93,34	81,07	78,47
		2	84,95	73,32	74,99	93,97	68,00	64,12
		3	85,06	89,24	90,98	103,66	78,98	71,19
	40	1	113,78	87,91	95,45	92,16	96,22	70,48
		2	91,46	98,50	93,43	102,92	86,31	56,96
		3	102,89	102,3	102,43	107,14	90,15	66,55
непарний	5	1	106,47	77,58	71,21	76,88	93,52	97,28
		2	65,90	81,28	92,11	92,08	79,37	76,03
		3	94,02	107,54	103,08	97,44	93,52	93,09
	12	1	114,10	64,21	71,44	83,82	87,89	71,96
		2	64,68	74,82	87,95	101,20	77,52	59,42
		3	98,37	95,03	104,33	107,87	92,87	70,66
	20	1	99,97	82,44	79,34	96,62	86,86	87,05
		2	70,18	89,03	93,95	114,73	80,62	72,42
		3	91,77	103,27	103,98	111,15	89,64	85,15
	40	1	104,36	82,91	84,90	105,33	112,37	70,36
		2	87,39	94,03	96,34	131,27	110,70	57,45
		3	103,22	120,66	110,36	123,38	117,72	67,85

Розподіл вертикальних сил між вісями візка тепловоза 2М62 у різних перерізах дослідної ділянки показаний на рис. 4.18 – 4.25.

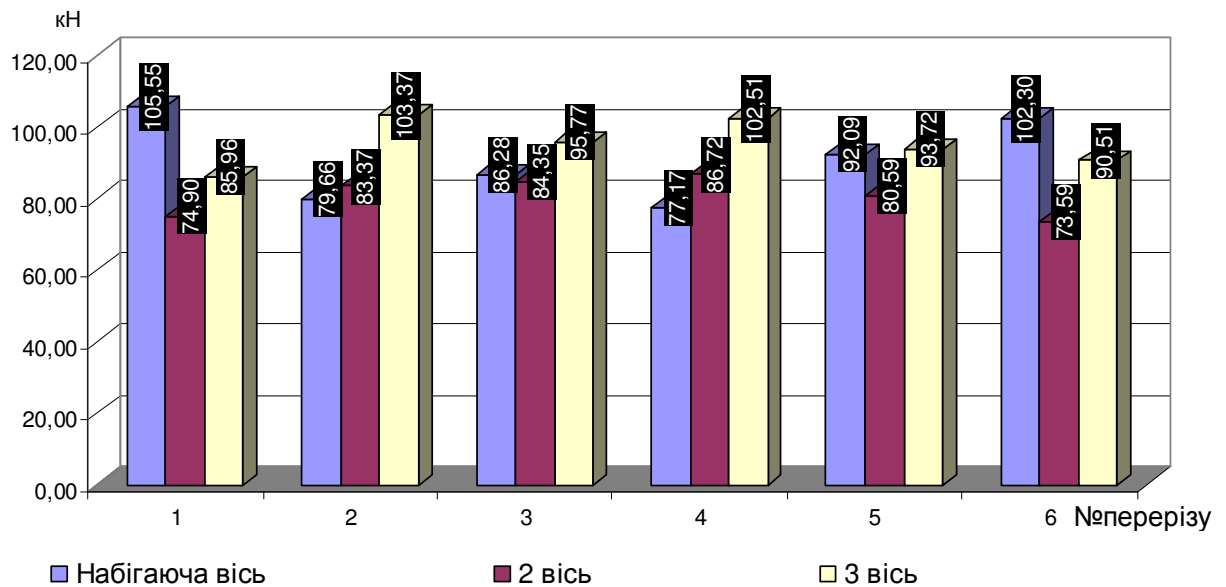


Рис. 4.18. - Значення вертикальних сил вздовж колії по зовнішній рейковій нитці в межах дослідної ділянки, що передаються від тривісних візків локомотивів при швидкості руху 5 км/год в парному напрямку

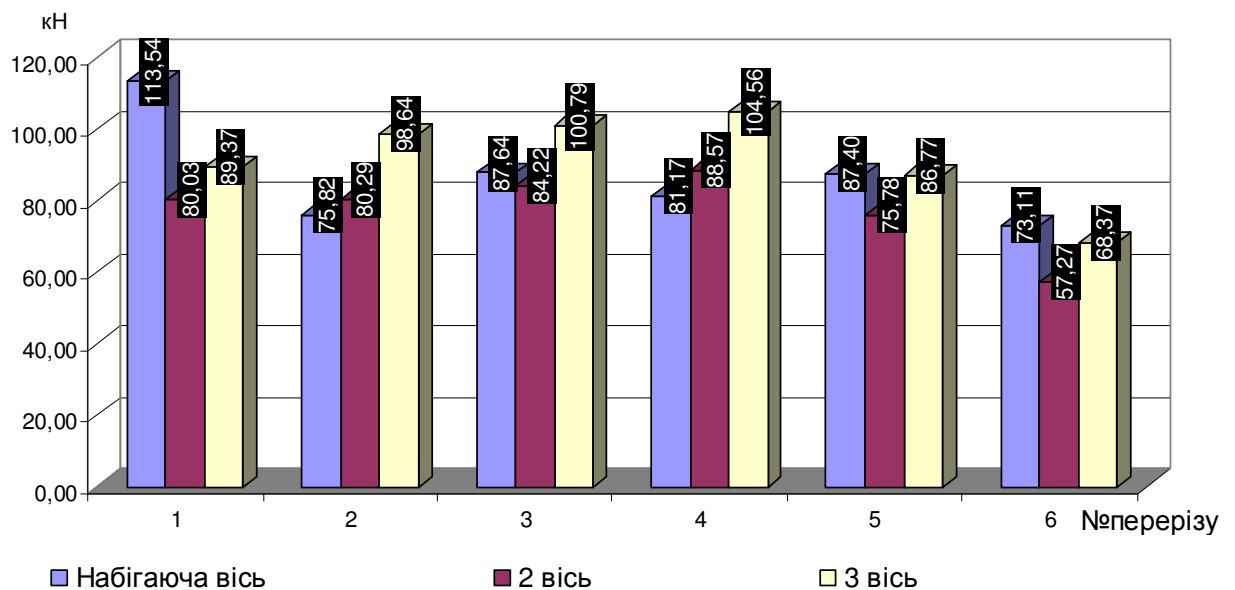


Рис. 4.19. - Значення вертикальних сил вздовж колії по зовнішній рейковій нитці в межах дослідної ділянки, що передаються від тривісних візків локомотивів при швидкості руху 12 км/год в парному напрямку

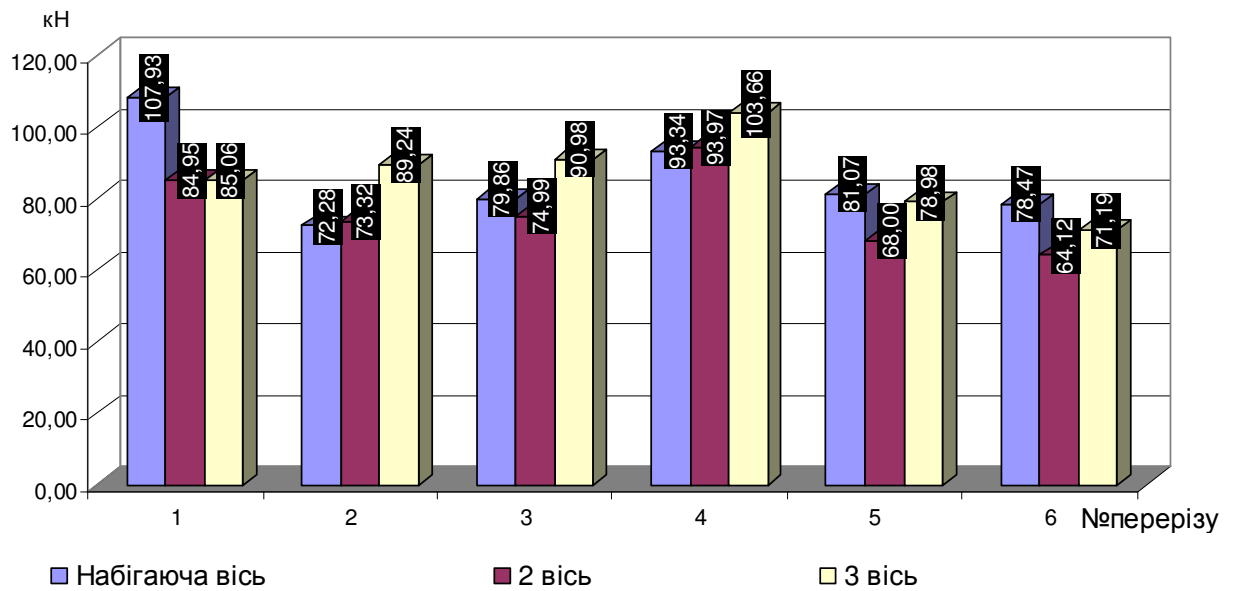


Рис. 4.20. - Значення вертикальних сил вздовж колії по зовнішній рейковій нитці в межах дослідної ділянки, що передаються від тривісних візків локомотивів при швидкості руху 20 км/год в парному напрямку

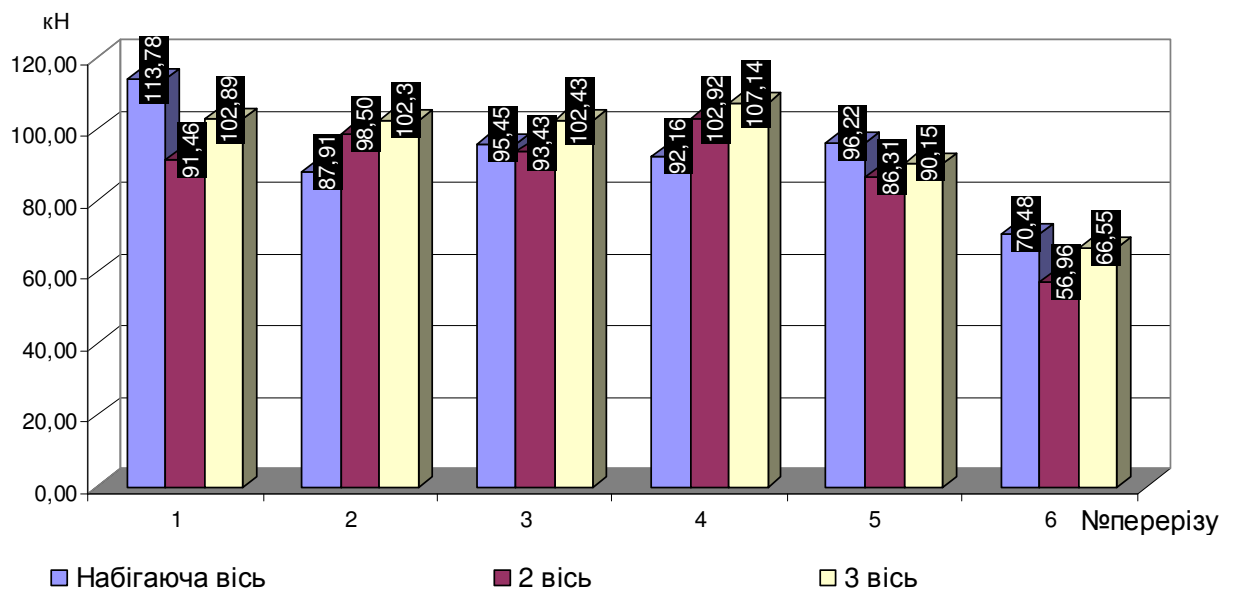


Рис. 4.21. - Значення вертикальних сил вздовж колії по зовнішній рейковій нитці в межах дослідної ділянки, що передаються від тривісних візків локомотивів при швидкості руху 40 км/год в парному напрямку

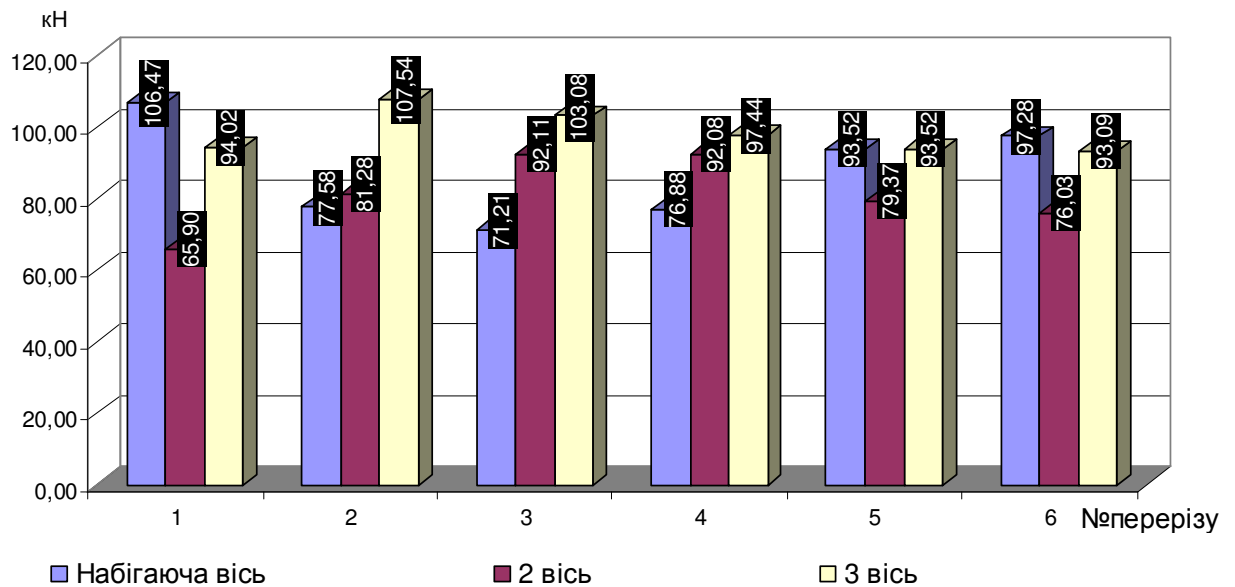


Рис. 4.22. - Значення вертикальних сил вздовж колії по зовнішній рейковій нитці в межах дослідної ділянки, що передаються від тривісних візків локомотивів при швидкості руху 5 км/год в непарному напрямку

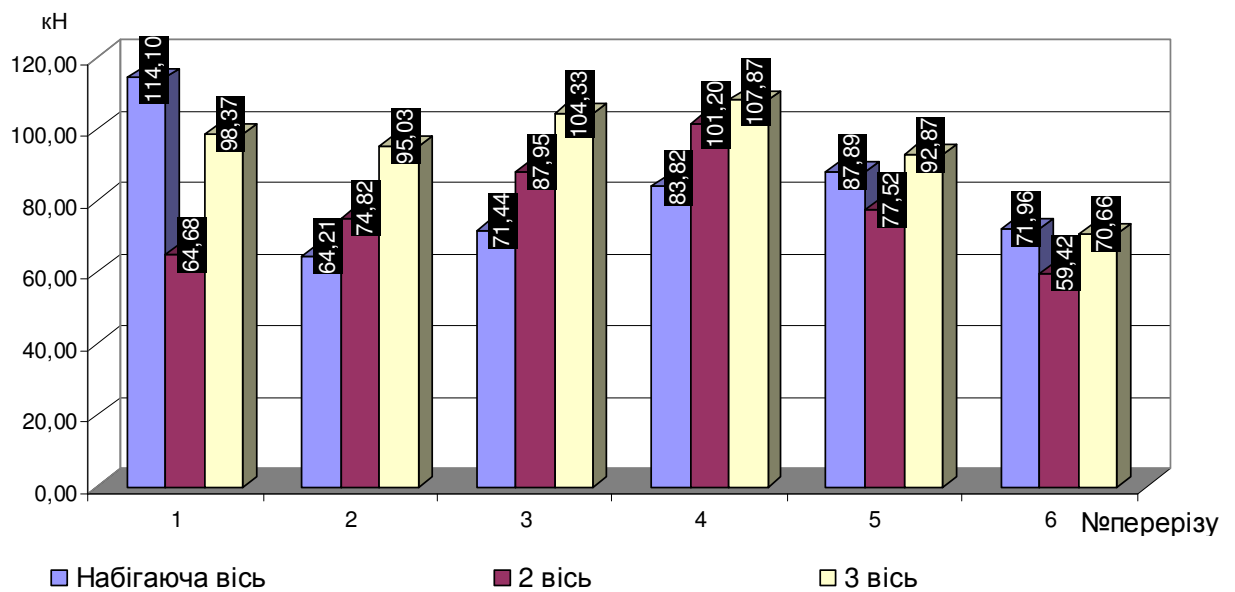


Рис. 4.23. - Значення вертикальних сил вздовж колії по зовнішній рейковій нитці в межах дослідної ділянки, що передаються від тривісних візків локомотивів при швидкості руху 12 км/год в непарному напрямку

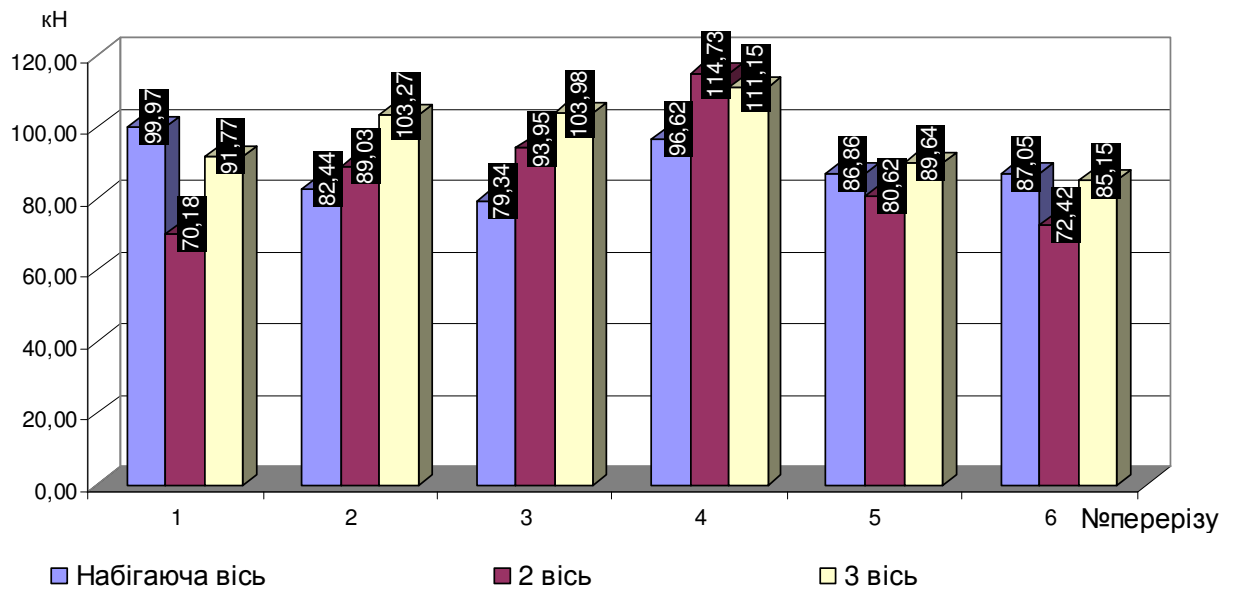


Рис. 4.24. - Значення вертикальних сил вздовж колії по зовнішній рейковій нитці в межах дослідної ділянки, що передаються від тривісних візків локомотивів при швидкості руху 20 км/год в непарному напрямку

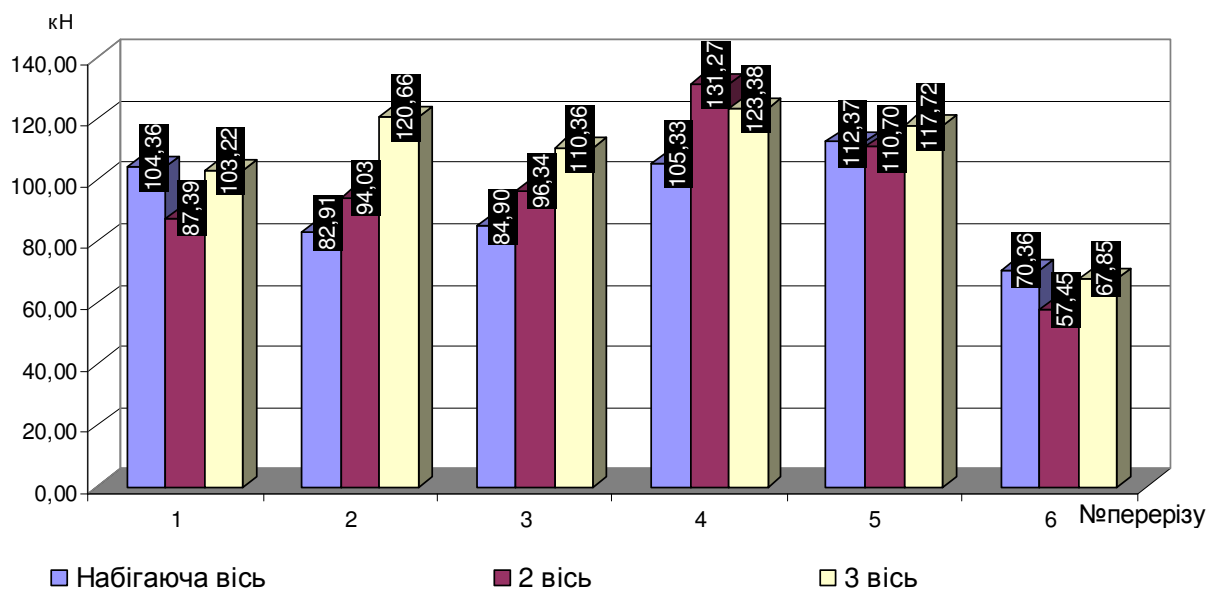


Рис. 4.25. - Значення вертикальних сил вздовж колії по зовнішній рейковій нитці в межах дослідної ділянки, що передаються від тривісних візків локомотивів при швидкості руху 40 км/год в непарному напрямку

4.3 Аналіз експериментальних досліджень впливу тепловоза М62 на колію

Аналіз таблиць 4.2–4.18 і графіків (рис 4.6–4.25) показав, що на дослідній ділянці спостерігається залежність величин бокових сил і горизонтальних віджимів головки рейки від швидкості дослідного состава. По зовнішній нитці бокові сили, передані на колію, збільшуються з ростом швидкості, а по внутрішній нитці їхня величина з ростом швидкості зменшується. Теж відбувається з величинами горизонтальних віджимів головки рейки в кривій ділянці колії.

Аналізуючи одержані в експерименті дані, слід відзначити, що при справному стані колії і відсутності в кривій несправностей, що вимагають обмеження швидкості руху поїздів, мають місце значні коливання величин, які характеризують дію тепловоза М62 на колію.

Так найбільші напруження в кромках підшви зовнішньої рейки під направляючими осями становлять 137 МПа за середніми значеннями і 185 МПа максимальні. Під ненаправляючими осями, в той же час середні напруження становлять 23...45 МПа і максимальні 46...82 МПа (табл. 4.2). Зі зміною швидкості руху від 5 до 40 км/год ці значення змінюються мало (рис. 4.6).

Дуже велика різниця в напруженнях має місце між різними локомотивами. Так, під направляючими осями в зовнішній рейковій нитці середні напруження під тепловозом 2М62 № 1253 становлять 64 МПа, а під тепловозами № 1285 і № 0759 – 140...143 МПа, а максимальні напруження відповідно 104 МПа і 180...183 МПа (табл. 4.4).

В цілому за абсолютною величиною напруження в рейках значно менші від допустимих, що дорівнюють 240 МПа.

На напруження в підшві впливають в першу чергу вертикальні і горизонтальні поперечні (бокові) сили, що передаються від коліс тепловоза на рейки.

Дані таблиці 4.13-4.14 свідчать про закономірне зростання навантаження на зовнішню рейкову нитку при збільшенні швидкості по направляючій вісі від 77 до 105 кН за середніми і від 82 до 141 кН за максимальними значеннями. В той же час мінімальні вертикальні сили становили 65...77 кН при статичному навантаженні 90...95 кН.

Вимірювання під поїздами, що рухаються за графіком, також свідчать про широкий діапазон зміни вертикальних навантажень (табл. 4.17). Так середні значення вертикальних сил від направляючих вісей змінюються від 45 до 76 кН, а найменші – від 16 до 72 кН. Тривожним є той факт, що в багатьох випадках вертикальні навантаження становлять 16...35 кН. Це означає, що на рейки діє тільки вага колісної пари і тягового двигуна, і опір вкочуванню гребеня колеса на рейку при наявності горизонтальної поперечної сили значно знижується.

Горизонтальні поперечні навантаження на рейки оцінюються за величиною бокових сил. Бокові сили за середніми значеннями дорівнюють 79...81 кН, а за максимальними – 106...110 кН під направляючими вісями тепловозів дослідного поїзда (табл. 4.5-4.7). Більш широкий діапазон бокових сил має місце під дією тепловозів поїздів, що рухаються за графіком (табл. 4.9). Під направляючими вісями на зовнішній рейковій нитці кривої середні значення бокових сил знаходяться в межах від 40 до 90 кН, а максимальні – від 75 до 126 кН.

Слід зазначити, що допустима за умовами запобігання розпору колії бокова сила не повинна перевищувати такого рівня [118]:

$$H_{\delta} = \frac{68.9}{1 - 0.002 \cdot P_o} = \frac{68.9}{1 - 0.002 \cdot 190} = 111 \text{ кН} ,$$

де P_o - осьове навантаження; для тепловоза 2М62 $P_o=190$ кН.

Таким чином, значення бокових сил під окремими тепловозами (№ 0861, 1087, 1089, 1683) перевищує допустиме значення (табл. 4.9).

Про підвищений рівень бокової дії на зовнішню рейкову нитку кривої свідчить і величина зафіксованих віджимів головки рейки. Їх середня величина досягає 6,0...7,7 мм, а максимальна – 9,0...11,0 мм.

Умовою стійкості до зрушення під поїздом ланкової колії з дерев'яними шпалами і рейками Р65 є дотримання нерівності [118]

$$H_p \leq 12,5 + 0,50P_0, \quad (4.1)$$

де P_0 - осьові навантаження для тепловоза 2М62 $P_0=190$ кН.

Тоді $H_p \leq 107,5$ кН.

Для направляючих вісей тепловоза рамна сила дорівнює

$$H_p = H_a - f \cdot P_{at}, \quad (4.2)$$

де $f \cdot P_{at}$ - сила тертя в контактi колеса і головки рейки внутрішньої нитки кривої. Для тепловоза 2М62 $f \cdot P_{at} = 23,75$ кН.

Найбільше значення бокової сили H_b було зафіксовано для направляючих осей дослідного поїзда 110,7 кН і для поїздів, що рухаються згідно графіка, 126 кН. Рамні сили H_p в цих випадках становлять 86,9 кН і 102,2 кН відповідно, що менше допустимого значення і загрози зрушення колії немає. Для колії з рейками типу Р50 допустиме значення рамної сили становить 92,2 кН, що менше значення 102,2 кН, одержаного під поїздами, що рухаються за графіком.

Стійкість проти вкочування гребеня колеса тепловоза на головку рейки забезпечується при виконанні умови [118]

$$K_B = \frac{H_B}{P} \leq 1,23, \quad (4.3)$$

де P ; H_B – відповідно вертикальна і бокова сила, що одночасно передаються від колеса на рейку, кН.

В ході досліджень зафіксовані середні значення бокових сил 40...90 кН, а максимальні – 75...126 кН.

Для забезпечення стійкості від вкочування гребня колеса на головку рейки вертикальні навантаження P повинні бути не меншими наведених у таблиці 4.19.

Вертикальні сили, що забезпечують стійкість від вкочування

Значення H_0 , кН	40	60	80	100	120	126
Вертикальна сила P , кН	32,5	48,8	65	81,3	97,6	102,4

Порівнюючи дані табл. 4.19 з результатами експериментів слід зазначити, що в багатьох випадках вертикальні сили, що діють від колеса направляючої вісі на зовнішню рейку кривої, менші наведених в табл. 4.19. Наведені дані свідчать, що сходи тепловозів можливі.

Стосовно вертикальних сил, що передаються від колеса тепловоза на рейку, слід відзначити дуже широкий діапазон їх зміни. Так, під дослідним поїздом по зовнішній рейковій нитці максимальні сили, що діють від колеса на рейку, становлять 141...154 кН, при осьовому навантаженні – 190 кН, а мінімальні – 77...84 кН. Під поїздами, що рухаються за графіком, зафіксовані мінімальні навантаження від колеса на рейку в діапазоні 16...33 кН, що відповідає вазі колісної пари і тягового двигуна.

Вертикальні і горизонтальні сили, зафіксовані одночасно під різними вісями тепловоза при різних швидкостях руху наведені в табл. 4.24-4.25.

Для оцінки стійкості проти вкочування коліс на рейку важливо одночасно вимірювати значення сил H_0 і P під конкретним колесом.

В табл. 4.20 і 4.21 наведені значення K_B , одержані при максимальних величинах H_0 . Як видно з цих даних у багатьох випадках стійкість проти вкочування коліс на рейку не забезпечується. Відсутність сходів тепловозів під час досліджень можна пояснити тільки тим, що вказані в табл. 4.20 і 4.21 значення K_B є миттєвими. При збільшенні часу, протягом якого $K_B > 1,23$, вкочування коліс на рейку може стати реальним. Збільшується небезпека вкочування коліс на рейки і при зростанні коефіцієнта тертя між гребенем колеса і головкою рейки і зменшенні вертикального навантаження від колеса на рейку.

Співвідношення максимальної горизонтальної сили ($H_{\max}$) і відповідної їй вертикальної сили (P) в залежності від швидкості руху по зовнішній рейковій нитці на дослідній ділянці при непарному напрямку руху

Швидкість, км/год	Сили, кН	Вісь локомотива за напрямком руху			
		1		4	
5	$H_{\max}$	104,19	$K_B = 1.72$	92,49	$K_B = 1.23$
	P	60,60		75,22	
12	$H_{\max}$	106,07	$K_B = 2.03$	103,60	$K_B = 1.65$
	P	52,28		62,87	
20	$H_{\max}$	110,69	$K_B = 1.71$	103,86	$K_B = 1.27$
	P	64,78		81,48	
40	$H_{\max}$	86,08	$K_{\epsilon} = 1.24$	76,49	$K_{\epsilon} = 0.83$
	P	69,51		92,21	

Графічні результати розподілу максимальних горизонтальних сил і відповідних їм вертикальних сил для набігаючих вісей візків локомотива наведені на рис. 4.22-4.25.

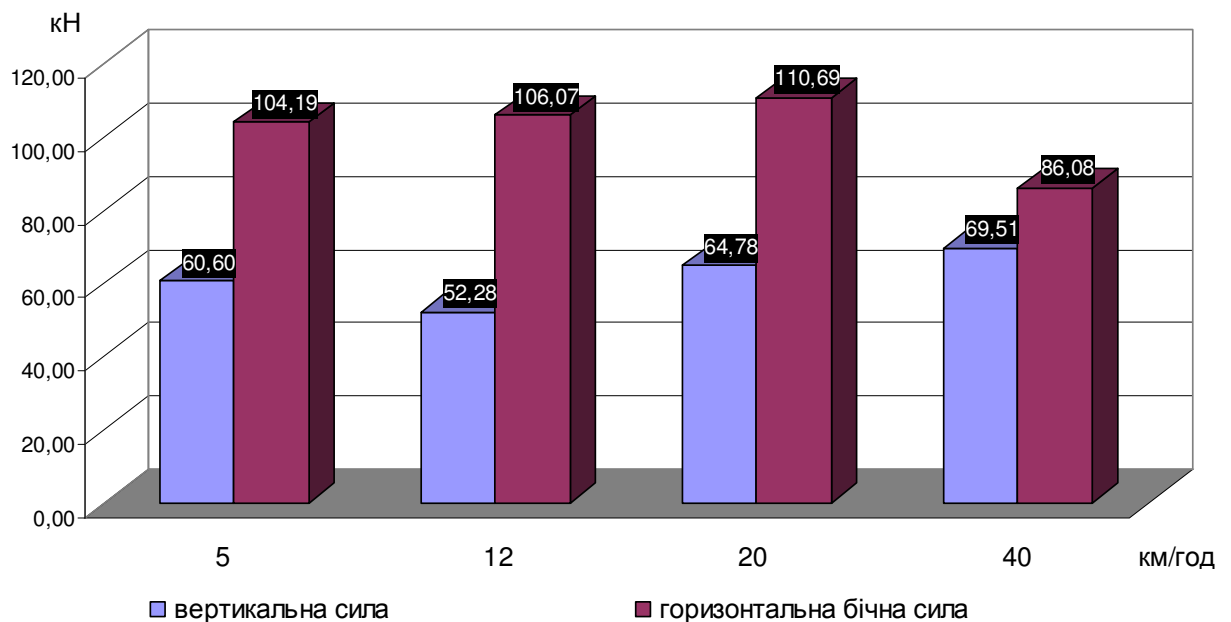


Рис. 4.26. - Максимальні горизонтальні сили ($H_{\max}$) і відповідні їм вертикальні сили (P) для 1 вісі локомотива в залежності від швидкості руху по зовнішній рейковій нитці на дослідній ділянці при непарному напрямку руху

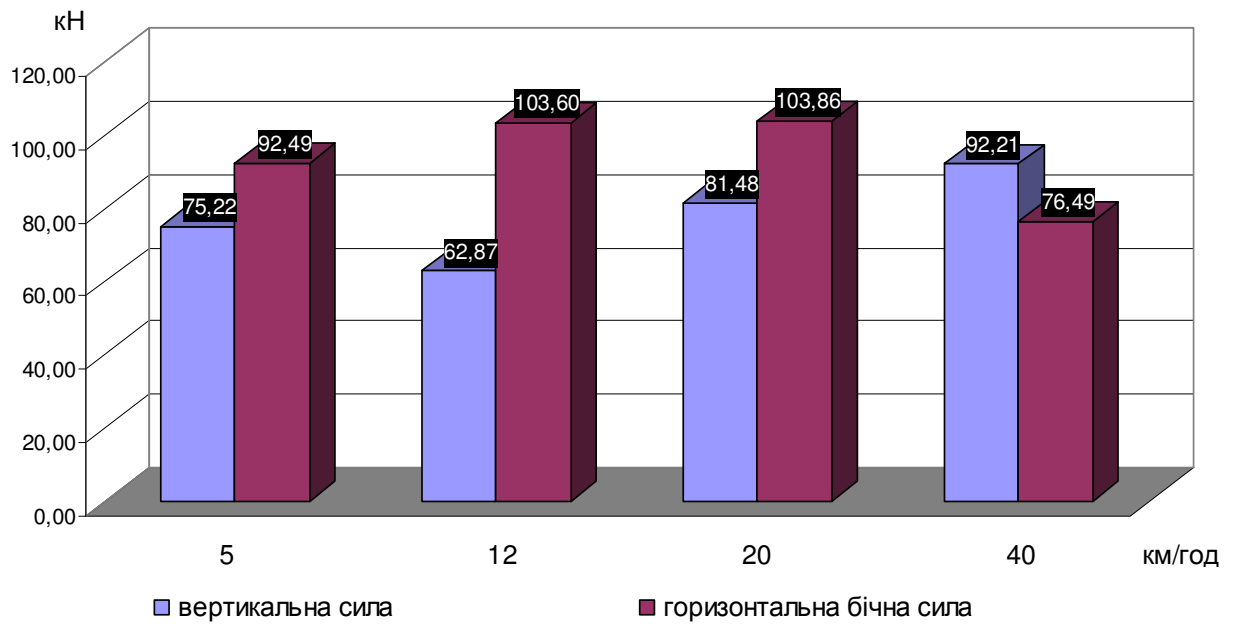


Рис. 4.27. - Максимальні горизонтальні сили ($H_{\max}$) і відповідні їм вертикальні сили (P) для 4 вісі локомотива в залежності від швидкості руху по зовнішній рейковій нитці на дослідній ділянці при непарному напрямку руху

Таблиця 4.21.

Співвідношення максимальної горизонтальної сили ($H_{\max}$) і відповідної їй вертикальної сили (P) в залежності від швидкості руху по зовнішній рейковій нитці на дослідній ділянці при парному напрямку руху

Швидкість, км/год	Сили, кН	Вісь локомотива за напрямком руху			
		1		4	
5	$\frac{H_{\max}}{P}$	$\frac{66,39}{86,43}$	$K_{\epsilon} = 0.77$	$\frac{81,28}{69,67}$	$K_{\epsilon} = 1.17$
12	$\frac{H_{\max}}{P}$	$\frac{92,53}{82,33}$	$K_{\epsilon} = 1.12$	$\frac{101,86}{51,63}$	$K_{\epsilon} = 1.97$
20	$\frac{H_{\max}}{P}$	$\frac{98,61}{80,63}$	$K_{\epsilon} = 1.22$	$\frac{97,15}{54,83}$	$K_{\epsilon} = 1.77$
40	$\frac{H_{\max}}{P}$	$\frac{72,23}{81,82}$	$K_{\epsilon} = 0.88$	$\frac{60,87}{68,96}$	$K_{\epsilon} = 0.88$

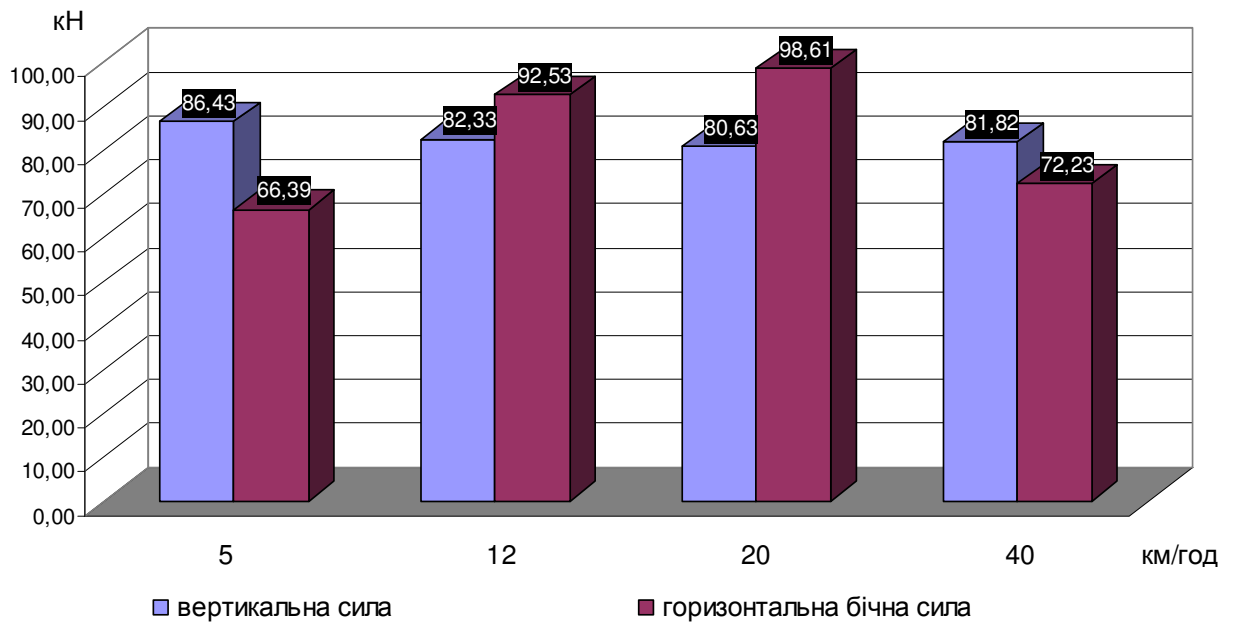


Рис. 4.28. - Максимальні горизонтальні сили ($H_{\max}$) і відповідні їм вертикальні сили (P) для 1 вісі локомотива в залежності від швидкості руху по зовнішній рейковій нитці на дослідній ділянці при непарному напрямку руху

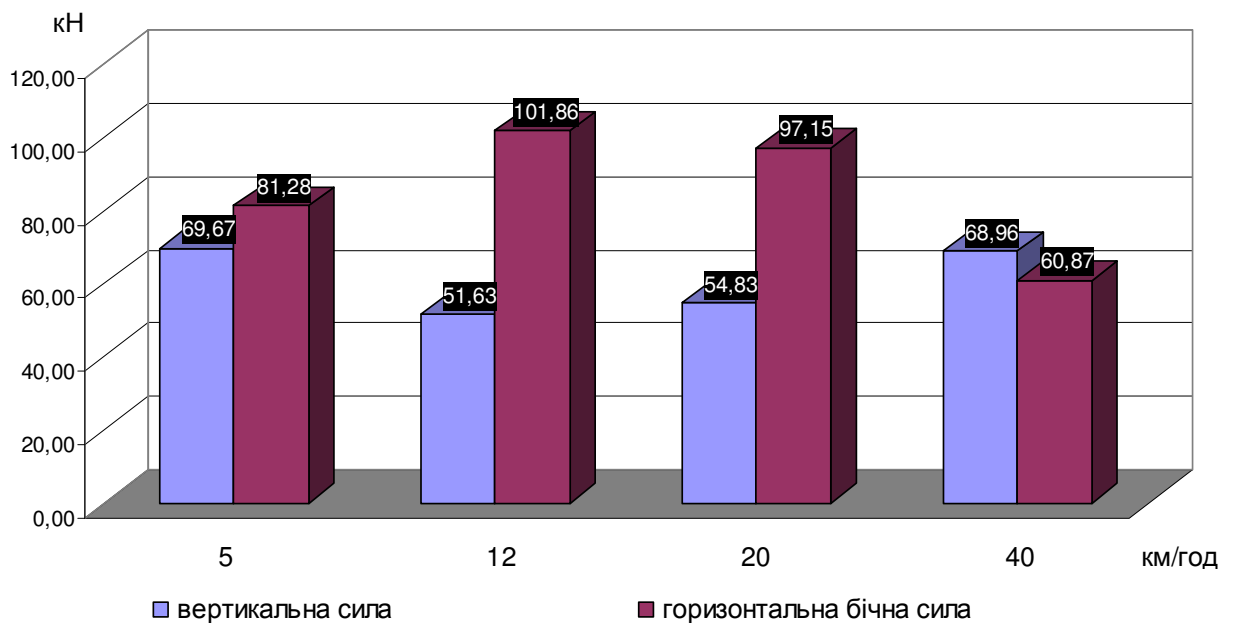


Рис. 4.29. - Максимальні горизонтальні сили ($H_{\max}$) і відповідні їм вертикальні сили (P) для 4 вісі локомотива в залежності від швидкості руху по зовнішній рейковій нитці на дослідній ділянці при парному напрямку руху

Співвідношення горизонтальної сили ($H_{\max}$) і вертикальної($\bar{P}$) в залежності від швидкості руху по зовнішній рейковій нитці на дослідній ділянці у момент часу при непарному напрямку руху

Швидкість км/год	Сили, кН	Вісь локомотива за напрямком руху					
		1	2	3	4	5	6
5	$\frac{H_{\max}}{\bar{P}}$	<u>78,30</u>	<u>-4,95</u>	<u>19,00</u>	<u>76,22</u>	<u>9,36</u>	<u>15,98</u>
		106,09	99,34	103,33	56,39	74,08	88,25
12	$\frac{H_{\max}}{\bar{P}}$	<u>84,06</u>	<u>-3,18</u>	<u>26,08</u>	<u>77,17</u>	<u>2,52</u>	<u>17,27</u>
		122,50	94,58	106,39	84,28	71,58	106,14
20	$\frac{H_{\max}}{\bar{P}}$	<u>75,50</u>	<u>-4,17</u>	<u>21,22</u>	<u>65,20</u>	<u>4,13</u>	<u>22,16</u>
		109,54	98,33	101,72	73,61	87,43	98,68
40	$\frac{H_{\max}}{\bar{P}}$	<u>72,01</u>	<u>9,17</u>	<u>26,59</u>	<u>50,90</u>	<u>21,70</u>	<u>29,18</u>
		124,10	107,48	112,27	92,15	79,14	100,60

Таблиця 4.23.

Співвідношення горизонтальної і ($H_{\max}$) вертикальної($\bar{P}$) сили в залежності від швидкості руху по зовнішній рейковій нитці на дослідній ділянці у один момент часу при парному напрямку руху

Швидкість км/год	Сили, кН	Вісь локомотива за напрямком руху					
		1	2	3	4	5	6
5	$\frac{H_{\max}}{\bar{P}}$	<u>78,30</u>	<u>-4,95</u>	<u>19,00</u>	<u>76,22</u>	<u>9,36</u>	<u>15,98</u>
		106,04	79,43	101,00	80,46	73,82	93,99
12	$\frac{H_{\max}}{\bar{P}}$	<u>104,23</u>	<u>1,79</u>	<u>28,40</u>	<u>77,89</u>	<u>11,12</u>	<u>19,24</u>
		107,13	70,32	98,41	79,81	85,73	105,70
20	$\frac{H_{\max}}{\bar{P}}$	<u>86,69</u>	<u>0,71</u>	<u>20,32</u>	<u>75,29</u>	<u>23,75</u>	<u>24,09</u>
		97,35	83,95	93,92	76,79	104,30	90,44
40	$\frac{H_{\max}}{\bar{P}}$	<u>79,76</u>	<u>5,31</u>	<u>27,06</u>	<u>68,03</u>	<u>10,15</u>	<u>11,38</u>
		107,80	95,27	105,98	73,02	97,64	93,41

Співвідношення горизонтальної ($H_{\max}$) і вертикальної сили ($P_{\min}$) в залежності від швидкості руху по зовнішній рейковій нитці на дослідній ділянці у один момент часу при парному напрямку руху

Швидкість км/год	Сили, кН	Вісь локомотива за напрямком руху					
		1	2	3	4	5	6
5	$\frac{H_{\max}}{P_{\min}}$	<u>78,30</u>	<u>-4,95</u>	<u>19,00</u>	<u>76,22</u>	<u>9,36</u>	<u>15,98</u>
		106,09	99,34	103,33	56,39	74,08	88,25
12	$\frac{H_{\max}}{P_{\min}}$	<u>84,06</u>	<u>-3,18</u>	<u>26,08</u>	<u>77,17</u>	<u>2,52</u>	<u>17,27</u>
		112,26	80,18	96,25	69,63	60,38	95,25
20	$\frac{H_{\max}}{P_{\min}}$	<u>75,50</u>	<u>-4,17</u>	<u>21,22</u>	<u>65,20</u>	<u>4,13</u>	<u>22,16</u>
		107,13	96,11	95,90	73,41	80,88	97,32
40	$\frac{H_{\max}}{P_{\min}}$	<u>72,01</u>	<u>9,17</u>	<u>26,59</u>	<u>50,90</u>	<u>21,70</u>	<u>29,18</u>
		116,92	96,70	110,25	91,26	66,74	92,00

Таблиця 4.25.

Співвідношення горизонтальної ($H_{\max}$) і вертикальної сили ($P_{\min}$) в залежності від швидкості руху по зовнішній рейковій нитці на дослідній ділянці у один момент часу при парному напрямку руху

Швидкість км/год	Сили, кН	Вісь локомотива за напрямком руху					
		1	2	3	4	5	6
5	$\frac{H_{\max}}{P_{\min}}$	<u>78,30</u>	<u>-4,95</u>	<u>19,00</u>	<u>76,22</u>	<u>9,36</u>	<u>15,98</u>
		106,04	79,43	101,00	80,46	73,82	93,99
12	$\frac{H_{\max}}{P_{\min}}$	<u>104,23</u>	<u>1,79</u>	<u>28,40</u>	<u>77,89</u>	<u>11,12</u>	<u>19,24</u>
		101,18	58,99	91,84	73,33	73,80	102,08
20	$\frac{H_{\max}}{P_{\min}}$	<u>86,69</u>	<u>0,71</u>	<u>20,32</u>	<u>75,29</u>	<u>23,75</u>	<u>24,09</u>
		96,28	80,11	88,24	73,33	90,00	83,04
40	$\frac{H_{\max}}{P_{\min}}$	<u>79,76</u>	<u>5,31</u>	<u>27,06</u>	<u>68,03</u>	<u>10,15</u>	<u>11,38</u>
		105,36	86,10	99,10	72,75	97,64	91,68

4.4 Порівняння теоретичних досліджень і результатів експерименту

Для перевірки відповідності розробленої моделі необхідно порівняти результати експериментальних досліджень взаємодії рухомого складу і колії з теоретичними.

Розроблена модель відрізняється від існуючих моделей врахуванням ширини колії, та розподілом вертикальних сил, що передаються від рухомого складу на колію, як між колісними парами, так і між колесами у парі. Тому для перевірки відповідності розробленої моделі доцільно порівнювати значення вертикальних сил, отриманих за моделлю з отриманими в експерименті.

Порівняння результатів розрахунків вертикальних сил і експерименту, наведені в табл. 4.26 для варіанту взаємодії магістрального локомотива при русі зі швидкістю 40 км/год.

Таблиця 4.26.

Зміна величин вертикальних сил вздовж колії по зовнішній рейковій нитці в межах дослідної ділянки, що передаються від трьохвісних візків локомотивів в залежності від швидкості і напрямку руху

Напрямок руху	Швидкість, км/год	Вісь візка	Розраховані за моделлю, кН	Середні експериментальні значення вертикальних сил в залежності від перерізу колії, кН					
				1	2	3	4	5	6
1	2	3		4	5	6	7	8	9
парний	40	1	98,32	113,78	87,91	95,45	92,16	96,22	70,48
		2	116,08	91,46	98,50	93,43	102,92	86,31	56,96
		3	98,32	102,89	102,3	102,43	107,14	90,15	66,55
непарний	40	1	98,32	104,36	82,91	84,90	105,33	112,37	70,36
		2	116,08	87,39	94,03	96,34	131,27	110,70	57,45
		3	98,32	103,22	120,66	110,36	123,38	117,72	67,85

Значення вертикальних сил що отримані в експерименті змінюються в тому ж діапазоні, що й розраховані за моделлю.

4.5 Висновки до розділу 4

1. При встановленні допустимої швидкості і підвищення зовнішньої рейки в кривій слід уникати ситуацій, коли встановлене підвищення перевищує розраховане за середньозваженою швидкістю [8]. Це дозволить запобігати значного зменшення навантаження на зовнішню рейкову нитку при зменшенні швидкості руху.

2. Для зменшення величини бокових сил допустимі швидкості мають реалізуватися при непогашених поперечних прискореннях $\alpha_{\text{пп}}$ менших $0,7 \text{ м/с}^2$, бажано при $\alpha_{\text{пп}} = \pm 0,3 \text{ м/с}^2$.

3. Для запобігання сходів слід вивчити причини нерівномірного розподілу вертикального навантаження між вісями тепловоза, яке має нівелюватися роботою ресорного підвішування. Необхідно також вивчити причини, що призводять до значного зростання бокових сил окремих тепловозів порівняно з іншими і вжити заходів до покращення вписування тепловозів в криві ділянки колії.

РОЗДІЛ 5

ОБҐРУНТУВАННЯ ОСНОВНИХ ВИМОГ ДО РОЗДІЛЬНИХ СКРІПЛЕНЬ ДЛЯ КРИВИХ ДІЛЯНОК КОЛІЇ РАДІУСОМ МЕНШЕ 350 М ТА РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЇ ЗІ СКЛАДАННЯ ТА ПОТОЧНОГО УТРИМАННЯ КОЛІЇ У ТАКИХ КРИВИХ

Досвід експлуатації залізниць показав, що для всіх видів дерев'яних і залізобетонних підрейкових основ найбільші складнощі викликають питання конструкції вузла проміжного скріплення. Колійні роботи з утримання й ремонту колії, пов'язані з особливостями конструкції скріплень, і складають переважну частину трудових витрат при експлуатації колії.

На перших етапах розвитку залізниць рейка прикріплювалася до дерев'яних шпал за допомогою металевої підкладки й костилів, і ця проста й економічна конструкція скріплення тривалий час залишалася практично без змін, при порівняно невеликих швидкостях руху поїздів. Зі збільшенням швидкостей і вантажонапруженості залізниць, до рейкової колії стали пред'являтися підвищені вимоги, яким існуючі на той час конструкції скріплень не відповідали й були по своїй суті, не тільки важко виконуваними, але й у більшості випадків суперечливими. Необхідно було забезпечити: максимальне зниження динамічних навантажень; однорідність колії по всій довжині і її просторову пружність; надійність колії й стабільність її функціонування протягом усього часу експлуатації. Одночасно необхідно, щоб скріплення було простим по конструкції, малодетальним, ремонтпридатним і економічно вигідним.

Розвиток залізниць відбувався в усіх напрямках: удосконалювався рухомий склад, рейкові колії, штучні споруди; здійснювалася автоматизація й комп'ютеризація всього процесу перевезень; широко застосовувалися нові матеріали.

Одним з важливих питань розвитку колійного господарства було вдосконалювання конструкцій проміжних рейкових скріплень, створення яких не обійшлося без певного компромісу: оптимальні динамічні й міцнісні параметри елементів скріплень максимально узгоджувались із вимогами простоти, ремонтпридатності й економічності [108].

На сьогоднішній день застосовуються проміжні рейкові скріплення 3-х типів: нероздільні, роздільні й змішані. При цьому скріплення можуть бути підкладковими й безпідкладковими.

При дерев'яних шпалах дотепер поширене костильне скріплення змішаного типу Д0. Крім того, на дерев'яних шпалах ланкової колії найбільше поширення одержало роздільне скріплення типу Д2 із жорсткими клемами. Зварні пліті й зрівнювальні рейки безстикової колії до залізобетонних шпал прикріплюються скріпленнями роздільного – КБ, або нероздільного типу – КПП-5. Останнє застосовується при вантажонапруженості до 60 млн.т км бр./км у рік.

На залізницях України експлуатується майже 390 км колії з радіусом від 201 м до 299 м, близько 250 км колії з радіусом від 300 м до 349 м, а на Львівській залізниці експлуатується майже 40 км колії з радіусами менше 200 м. У кривих ділянках з радіусами менше 350 м застосовуються тільки дерев'яні шпали.

Сьогодні, колія на дерев'яних шпалах складає: 53 % протяжності Львівської залізниці, а на решті залізниць доля дерев'яних шпал складає від 22 до 30 % їх загальної протяжності.

При тому, що вартість дерев'яної шпали на 46 % перевищує вартість залізобетонної, дерев'яних шпал катастрофічно не вистачає не тільки для проведення планових, але й поточних ремонтів. Навіть для ділянок, де вкладено дерев'яні шпали, термін їх служби складає біля 7 - 7,5 років, що у 2 – 2,5 рази менше від розрахункового. Основна причина скорочення терміну служби пов'язана з механічними пошкодженнями деревини внаслідок частих перешивок рейкових ниток.

Відповідно до інструкції ЦП-0138 [117] у кругових кривих при радіусах від 200 м до 450 м дозволено укладати спеціальні залізобетонні шпали з нормою ширини колії 1535 мм. Шпали для цього проекту одержали найменування «Ш-6». Дослідні ділянки із цими шпалами були покладені ще в 2006 – 2007 роках на Південно-Західній, Придніпровській і Південній залізницях. Радіус кругових кривих на дослідних ділянках становив від 286 до 405 м. Але досвід їхньої експлуатації виявився досить невдалий. Так, наприклад, при промірах ширини колії, проведеним на третій-четвертий день після укладання, було встановлено, що максимальна ширина колії досягала 1540 мм і більше. У ході дослідної експлуатації ширина колії в зоні укладання шпал типу Ш-6 становила 1544 – 1548 мм. Крім того відвід ширини колії в перехідних кривих за рахунок шпал типу Ш-6 реалізувати неможливо. За результатами дослідної експлуатації Головним управлінням колійного господарства Укрзалізниці ухвалено рішення про недоцільність подальшої їх експлуатації.

Тому для ділянок колії радіусами менше 350 м, які мають потребу в розширенні колії, виникла потреба розробити проміжні рейкові скріплення для залізобетонних шпал з можливістю регулювання ширини колії на базі існуючих конструкцій.

5.1 Основні вимоги до проміжних скріплень для кривих ділянок

Не торкаючись динаміки системи «колесо-рейка», що є предметом самостійних досліджень, відмітимо основні положення, що характеризують проміжні скріплення як важливу пружнодесипативну ланку, що складається з набору елементів, які в процесі експлуатації зазнають багатовекторні статичні і динамічні навантаження, що мають у більшості нелінійний і стохастичний характер.

Динамічні зусилля, що передаються колесом на рейку мають досить складну природу: під їх впливом рейка здійснює пружні коливання, опускаючись під колесами і припіднімаючись між ними. У зв'язку з цим між рейкою і підкладкою у вертикальній площині утворюється деякий зазор, завдяки якому підкладка також коливається. Крім того, при розмиканні силового ланцюга внаслідок розладів колії підкладка коливається і у горизонтальній площині: амплітуда коливань може сягати 2-3 мм. Такі коливання з часом призводять до зносу шпал, підкладок і прокладок [110, 127, 128].

Для усунення руйнуючої дії динамічних навантажень і зменшення амплітуди коливань рейок і підкладок скріплень застосовують резинові прокладки, як підрейкові, так і нашпальні.

Загальні вимоги, що висуваються до сучасних конструкції проміжних скріплень, сформульовані В.В. Говорухою у роботі [108]:

- оптимальність фізико-механічних характеристик скріплення повинна гарантувати просторову пружність рейкової колії: по вертикалі, по горизонталі, вздовж і поперек колії;

- конструкції скріплень повинні забезпечувати сталість зусиль натягнення прикріплювачів, тому що при різних умовах може виникнути неоднорідність колії за його протягом довжин;

- фізико-механічні параметри скріплень повинні звести до мінімуму високочастотні коливання; при високих амплітудах коливань динамічні напруження, що виникають, можуть призвести до руйнування елементів скріплень, до зламу металевих підкладок, до руйнування резинових прокладок, до зламу рейок і ін.;

- пружні елементи скріплень – пружні клеми, резинові прокладки і інші елементи конструкції рейкової колії – повинні мати такі в'язко-пружні і дисипативні властивості, щоб при будь-яких можливих статичних і динамічних навантаженнях зберігалось достатнє притиснення клем до рейок і щоб загальна вертикальна жорсткість скріплення мало змінювалась

(у межах допустимих значень) від ступеня завантаження рейки, кліматичних умов і стану рухомого складу і рейкової колії;

- пружні характеристики всіх складових елементів скріплень повинні бути такими, що забезпечити оптимальні властивості рейкової колії, а також надійність і стабільність її функціонування протягом всього терміну експлуатації.

Крім того, до скріплень для кривих ділянок, що вкладаються на залізобетонні шпали, додатково виникають наступні вимоги:

- можливість застосування з існуючими типовими конструкціями залізобетонних шпал, насамперед, типу Ш-1, та Ш-6;

- установити шаблон колії від 1520 до 1535 мм із залізобетонними шпалами;

- передбачати можливість плавної зміни ширини колії у зоні перехідної кривої з відводом розширення в межах 1 мм на 1 пог. м колії;

- при поточному утриманні надавати можливість регулювати ширину колії у кривих ділянках на звуження – від 1 до 28 мм із кроком 1 мм.

- на ділянках колії, де існує звуження колії (наприклад, при застосуванні старопридатних рейок), скріплення повинно дозволяти регулювати ширину колії на розширення від 1 до 14 мм із кроком розширення 1 мм;

- можливість регулювання колії у плані у вузьких місцях, наприклад, на металевих мостах із плитами БМП шляхом поперечного переміщення рейок у межах від 1 до 7 мм із кроком регулювання 1 мм;

- для розрядки кушової гнилої колії з дерев'яними шпалами в зоні кривих ділянок із застосуванням залізобетонних шпал.

5.2 Конструкція скріплення СКД65-Б і можливості його застосування

Дніпропетровським національним університетом залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна при безпосередній участі автора разом з Головним управлінням колійного господарства Укрзалізниці розроблена, запатентована й впроваджена конструкція проміжного рейкового скріплення для рейок типу Р65 для кривих ділянок колії з радіусами 350 м і менше, що одержала назву «тип СКД65» (скріплення для кривих ділянок): для залізобетонних шпал – СКД65-Б, а для дерев'яних шпал – СКД65-Д.

Конструкція скріплення СКД65-Б практично не відрізняється від скріплення КБ65 і призначена для застосування в колії із залізобетонними шпалами Ш-1-1 та Ш-6. Конструкція кленового вузла проміжного скріплення з регулюючими картками показана на рис. 5.2.

Від скріплення КБ65 відрізняється конструкцією підкладки (рис. 5.3) та наявністю регулювальних карток (далі карток), зображених на рис. 5.1, які вкладаються вертикально між бічними гранями підшви рейки і ребрами підкладки. У кожне проміжне скріплення одночасно вкладається набір із трьох карток товщиною 2 мм та 3 мм. Сумарна товщина трьох карток складає 7 мм. Картки виготовляються сталеві. Від руху вздовж рейки картки фіксуються конструктивно клевою. Для цього використовують пази верхньої частини картки.

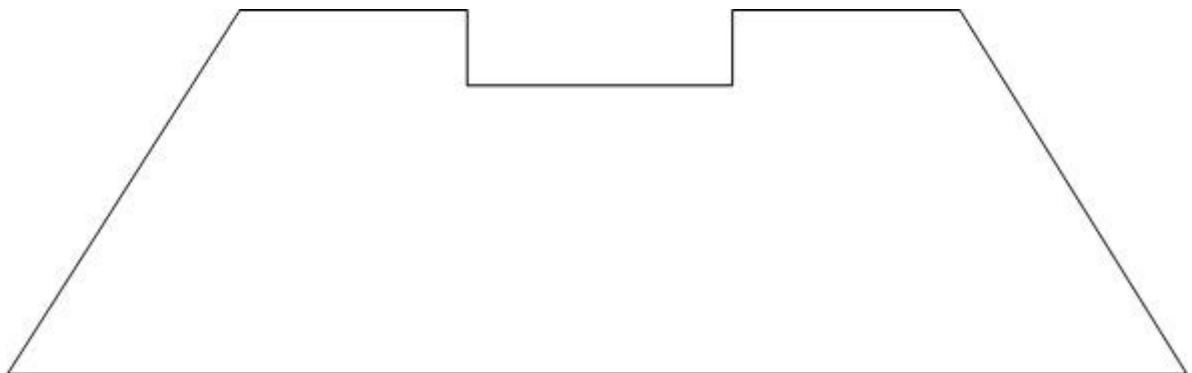


Рис. 5.1. - Вигляд регулюючої картки

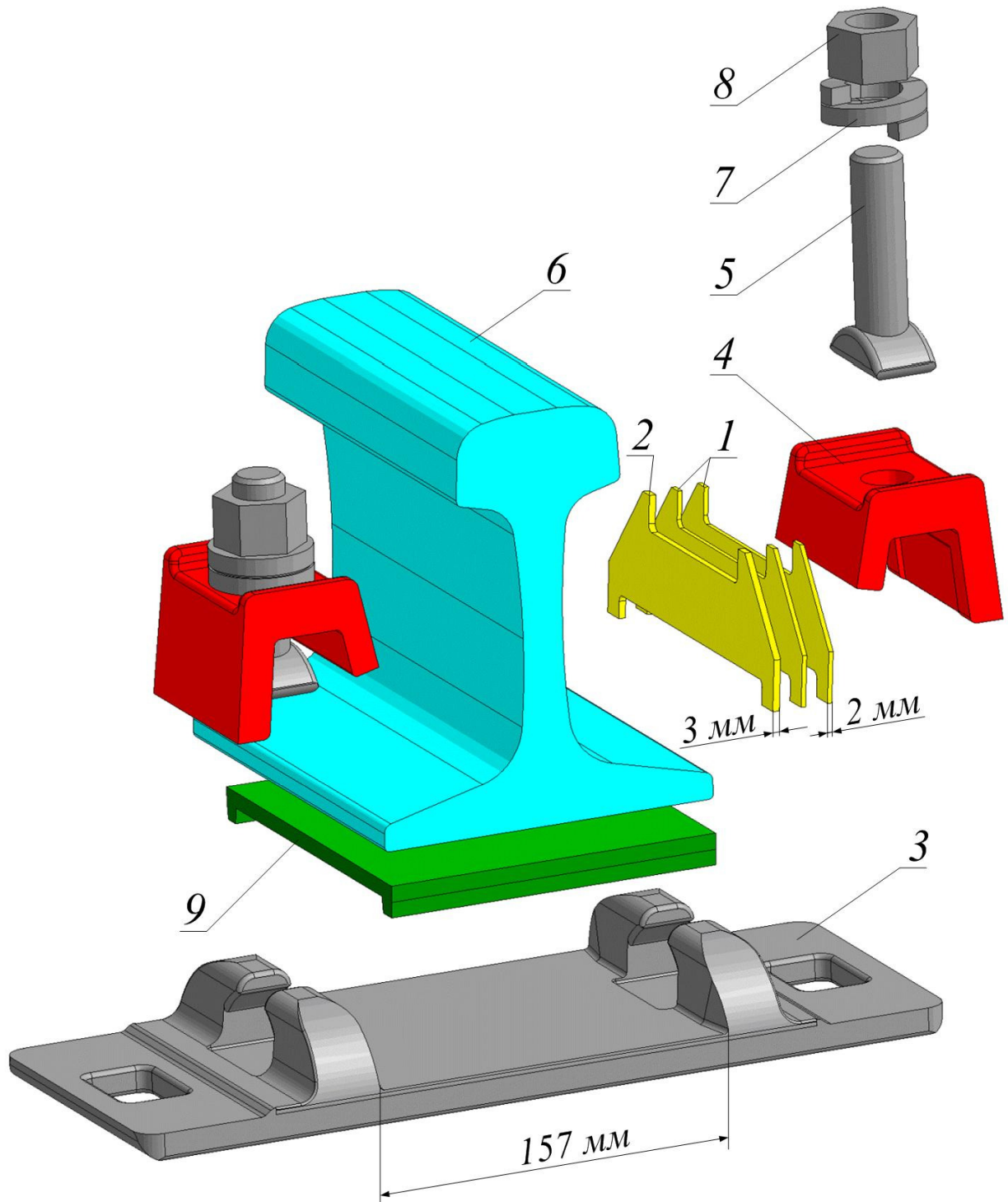


Рис. 5.2. - Роздільне скріплення СКД65-Б

1 – Регулююча картка товщиною 2 мм; 2 – Регулююча картка товщиною 3 мм;

3 – Підкладка 2КБЛ-65; 4 – Клема ПКЛ-10; 5 – Болт М22; 6 – Рейка Р65;

7 – Шайба двовиткова; 8 – Гайка М22; 9 – Прокладка ПРБ-4.

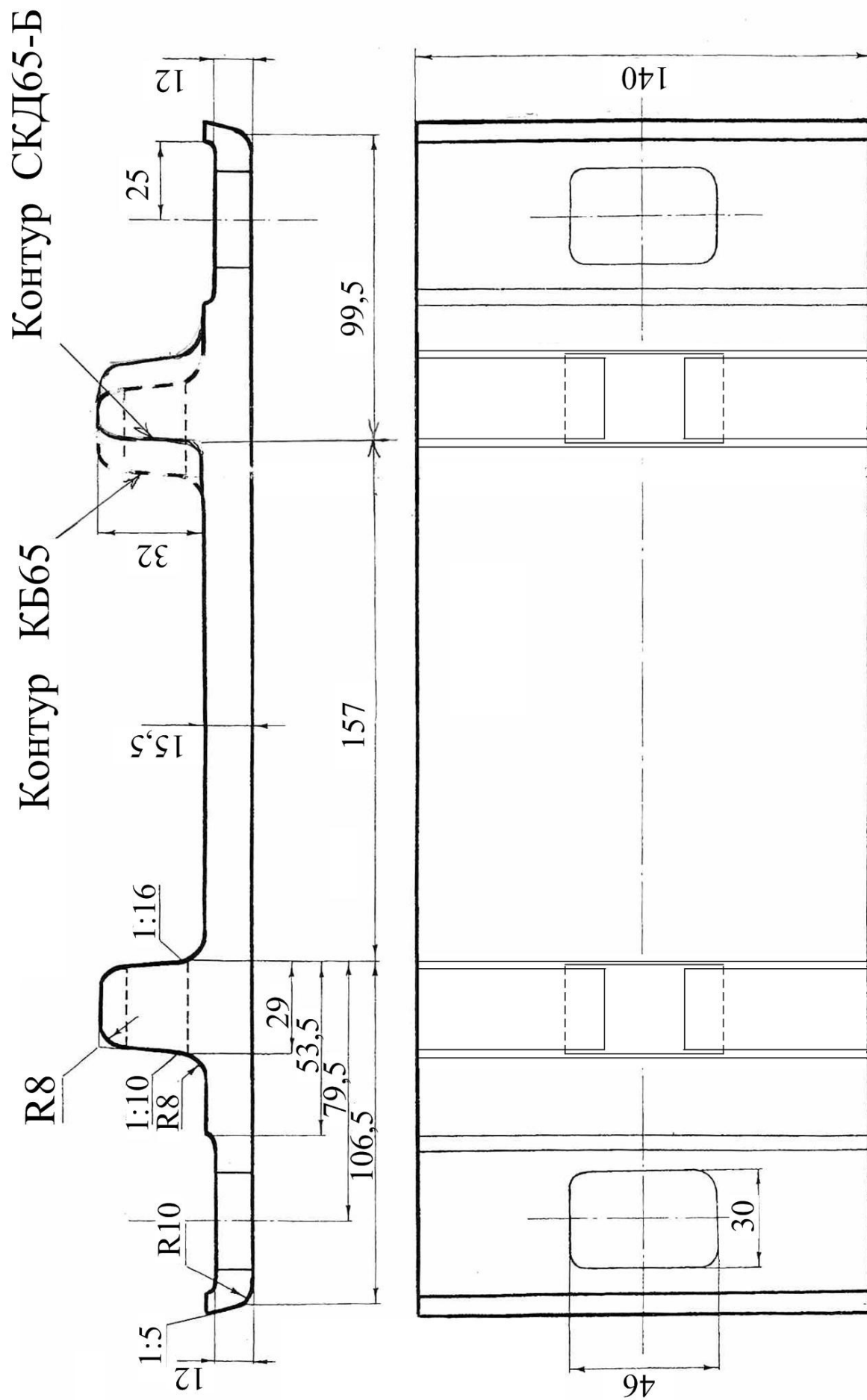


Рис. 5.3. Підкладка роздільного скріплення СКД65-Б

За допомогою скріплення СКД65-Б можна вирішити такі задачі:

- 1) створити колію із залізобетонними шпалами Ш-1-1 на кривих ділянках радіусом від 450 до 200 м, із шириною колії від 1520 до 1534 мм, у тому числі змінної ширини в зоні перехідної кривої з кроком змінності ширини 1 мм;
- 2) при поточному утриманні за допомогою карток скріплення СКД65-Б можна регулювати ширину колії в кривих ділянках на звуження
 - від 1 до 28 мм – при застосуванні шпал Ш-1-1;
 - від 1 до 14 мм – при застосуванні шпал Ш-6;
- 3) на ділянках колії, де існує звуження колії (наприклад, при застосуванні старопридатних рейок), скріплення СКД65-Б дозволяє регулювати ширину колії на розширення від 1 до 14 мм із кроком розширення 1 мм;
- 4) на металевих мостах із плитами БМП існує можливість регулювання колії у плані шляхом поперечного переміщення рейок у межах від 1 до 7 мм із кроком регулювання 1 мм;
- 5) для розрядки кушової гнилої колії з дерев'яними шпалами в зоні кривих ділянок із застосуванням шпал Ш-1-1 і Ш-6.

5.3 Визначення ділянки відводу розширення колії у межах перехідної кривої при застосуванні скріплень СКД65-Б

Перед складанням рейко-шпальної решітки (далі РШР) виконуються виміри для встановлення чіткого положення початку та кінця перехідної кривої.

Далі визначається місце прив'язки ділянки відводу розширення колії від ширини колії 1520 мм до ширини 1535 мм.

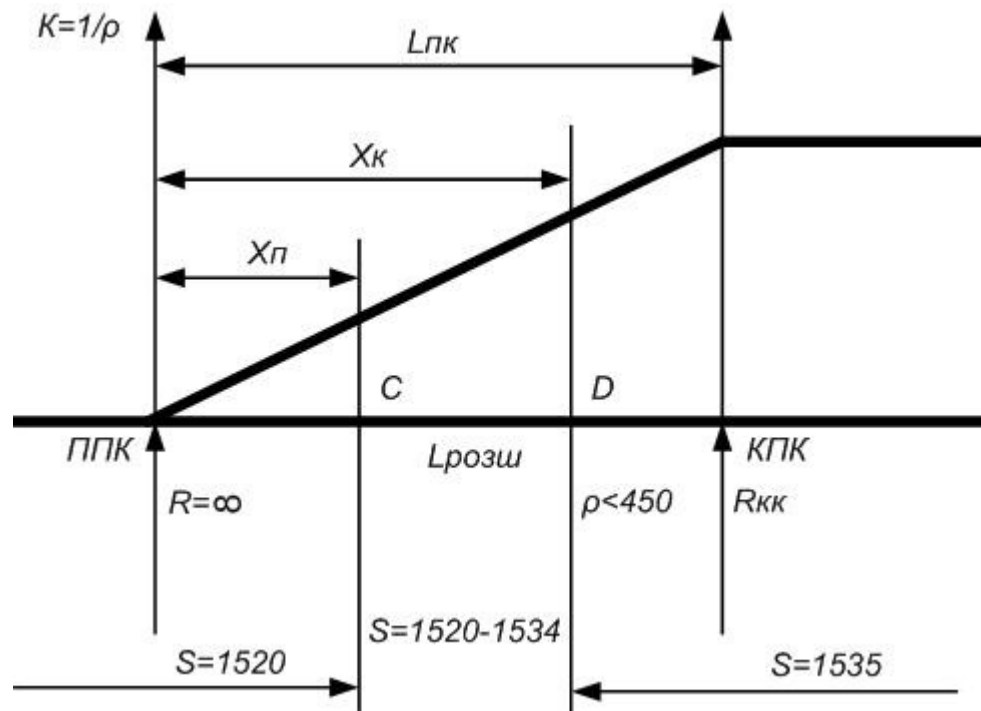


Рис. 5.4. – Схема прив'язки місця відводу розширення на перехідній кривій

Умовні позначення:

ППК, КПК – відповідно початок та кінець перехідної кривої;

X_P, X_K – відповідно початок та кінець ділянки відводу розширення колії від 1520 мм до 1532 мм;

$L_{ПК}, L_{РОЗШ}$ – відповідно довжина перехідної кривої та ділянки відводу розширення колії;

R_{KK} – радіус кругової кривої;

ρ – радіус, із якого починається колія шириною 1535 мм. $\rho = 450$ м.

Кінець відводу розширення визначається за формулою:

$$X_K = \frac{R_{KK} \cdot L_{ПК}}{\rho}, \quad (5.1)$$

Умовні позначення дивись на рис. 5.4.

Початок відводу розширення визначається за формулою:

$$X_P = X_K - 33 \cdot b, \text{ м} \quad (5.2)$$

де: b – відстань між сусідніми шпалами. Залежить від епюри шпал, м.

33 – кількість шпал, що знаходяться на ділянці відводу розширення.

Тобто відвід розширення виконується на ділянці, де вкладається 33 шпали.

Приклад:

Крива радіусом $R_{KK} = 200$ м. Довжина перехідної кривої $L_{ПК} = 100$ м. Епюра шпал 2000 шт./км. Колія шириною 1535 мм починається на перехідній кривій у точці, де радіус кривої $\rho = 450$ м.

Визначається кінець ділянки відводу розширення

$$X_K = \frac{R_{KK} \cdot L_{ПК}}{\rho} = \frac{200 \cdot 100}{450} \approx 44,5 \text{ м.}$$

Для епюри шпал 2000 шт./км, відстань між шпалами $b = 0,5$ м, кінець ділянки відводу розширення визначається за формулою (5.2)

$$X_{II} = X_K - 33 \cdot b = 44,5 - 33 \cdot 0,5 = 28 \text{ м}$$

Таким чином, до точки **С**, що знаходиться на відстані $X_{II} = 28$ м від початку перехідної кривої, ширина колії складає 1520 мм.

На ділянці **CD** – плавне розширення колії від 1520 до 1535 мм.

Від точки **D** і далі на перехідній і круговій кривій ширина колії складає 1535 мм.

5.4 Технологія складання колії зі скріпленням СКД65-Б на ділянці відводу розширення колії

На стенді для збирання рейко-шпальної решітки на довжині рейки 25 м розкладають шпали Ш-1-1, згідно зі встановленою епюрою.

На шпалах до ділянки відводу розширення укладають скріплення КБ65 і створюють ширину колії 1520 мм.

На ділянці відводу розширення, що налічує 33 шпали, розкладають усі елементи скріплення СКД65-Б для створення колії змінної ширини.

Підкладки укладають коротшим кінцем від реборди в зовнішню від вісі колії сторону, зболчують вузли закладних болтів, укладають рейки.

Далі слід користуватись стандартною для всіх можливих випадків схемою монтажу решітки на відводі розширення (рис. 5.5).

На кожній групі шпал як по внутрішній нитці, так і по зовнішній з польової і внутрішньої сторони рейки крейдою на шпалах надписується величина набору карток між рейкою і ребордою підкладки. Для цього слід користуватись стандартною для всіх випадків схемою цієї інструкції (рис. 5.5). Згідно з написами ліворуч і праворуч від кожної рейкової нитки на шпалу розкладаються картки.

Оскільки відсутня картка товщиною 1 мм у зоні першої групи шпал (№1-3), розширення складає не 1, а 2 мм. Із тих самих міркувань відсутня можливість створення картками розширення 13 мм. На решті ділянки, йдучи від групи до групи шпал, колія розширюється плавно через 1 мм.

На круговій кривій також рекомендується укласти скріплення СКД65-Б, яке дозволить створити колію шириною 1534 мм, і при поточному утриманні дозволяє регулювати ширину колії. При цьому підкладки укладаються коротшим кінцем від реборди в зовнішню від вісі колії сторону, а регулюючі картки - в середину колії.

Картки у вузол скріплення слід ставити так, щоб вони спиралися на поверхню підкладки, а не на підрейкову прокладку. Після цього зболчуються вузли закладних і клемних болтів. Закладні болти закручуються на нормативний крутний момент 150 Нм по обох рейкових нитках, а клемні закручуються на нормативний крутний момент 200 Нм – лише по зовнішній рейковій нитці. По внутрішній нитці клемні болти закручуються із утворенням люфта 1 мм між клемою і поверхнею підшви рейки. Послаблення клемних болтів внутрішньої рейкової нитки необхідне для полегшення укладання і рихтування решітки на кривих ділянках колії.

Для зручності при укладанні колії та поточному її утриманні початок і кінець відводу розширення колії необхідно позначати олійною фарбою – двома поперечними рисками на шийці рейки із зовнішньої та внутрішньої сторони рейки з відповідним написом ширини колії, наприклад, 1520 мм і 1535 мм.

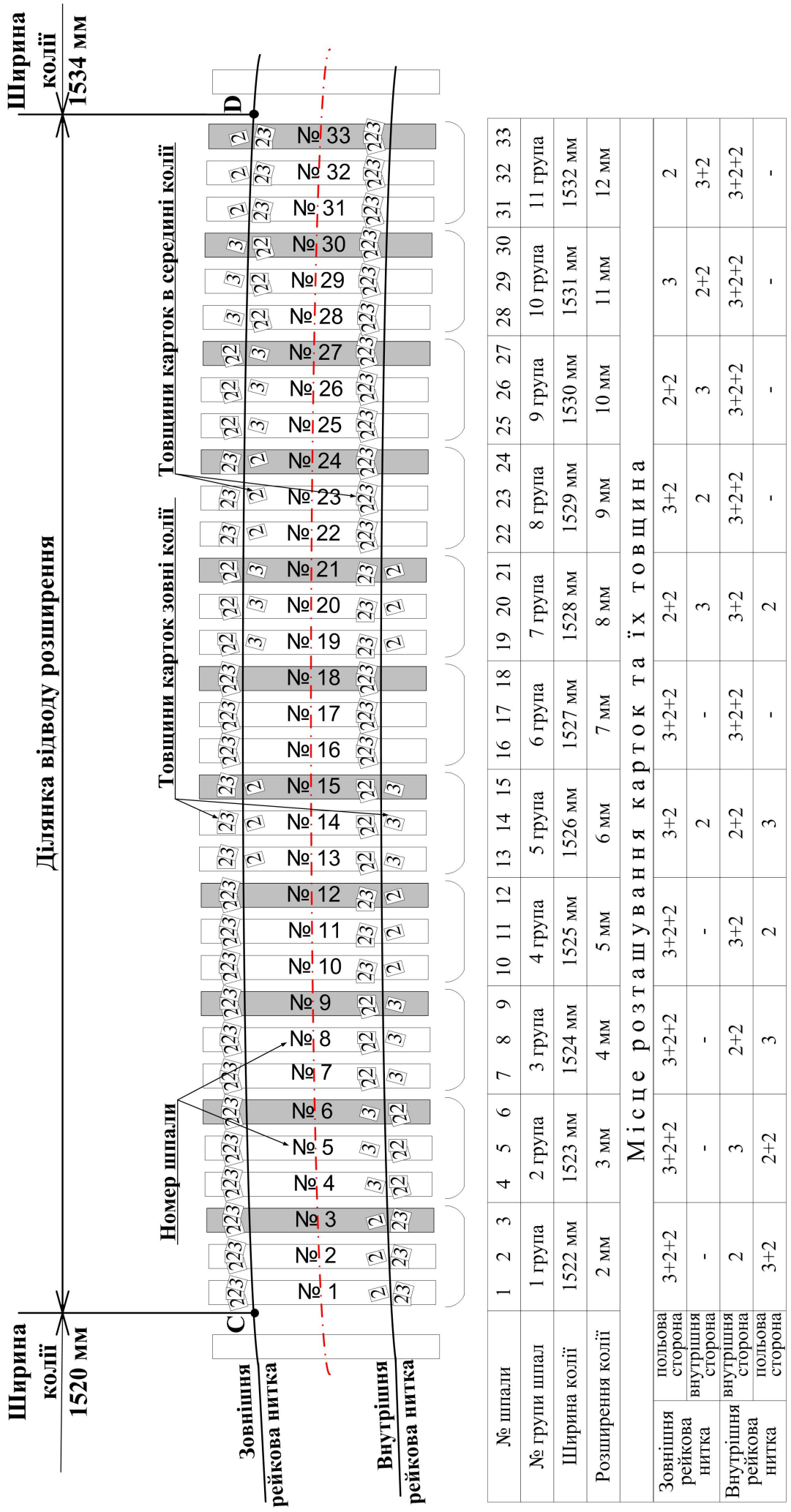


Рис. 5.5. Типова схема вкладання карток регулювання ширини колії на відводі розширення для колії зі шпалами Ш-1-1, епюра шпал 1840шт./км, радіус кривої 450 – 150 метрів

5.5 Регулювання ширини колії зі скріпленням СКД65-Б

За допомогою скріплень СКД65-Б можливо виконувати суцільне і локальне регулювання ширини колії.

Під *суцільним* розуміють регулювання ширини колії по всій довжині кривої ділянки, а *локальним* названо регулювання ширини колії на частині кривої ділянки колії.

Розроблено наступні методики суцільного і локального регулювання ширини колії:

- суцільне регулювання ширини колії на 7 мм за допомогою карток внутрішньої рейкової нитки;
- суцільне регулювання ширини колії на 7 мм за рахунок розвороту підкладки СКД65-Б на 180°;
- суцільне регулювання ширини колії на 7 мм за допомогою карток зовнішньої рейкової нитки;
- суцільне регулювання ширини колії зі скріпленням СКД65-Б на звуження 14 мм
- локальне регулювання ширини колії на звуження картками скріплення СКД65-Б;
- локальне виправлення ширини колії шляхом перезакріплення вузла скріплення СКД65-Б;

Розглянемо методику суцільного регулювання ширини колії до 7 мм за допомогою карток внутрішньої рейкової нитки

Така технологія використовується при регулюванні ширини колії на звуження до 7 мм за рахунок переміщення регулювальних карток по внутрішній рейковій нитці з внутрішньої сторони на польову при застосуванні скріплень СКД65-Б.

Суцільне регулювання перший раз застосовується після укладання колії в експлуатацію, якщо з якихось причин ширина колії на всій довжині кругової кривої досягла практично однакової величини 1543-1545 мм, тобто колію необхідно звужити.

Регулювання ширини колії виконується за рахунок карток внутрішньої рейкової нитки, які у вузлі скріплення розташовані всередині колії.

При виконанні робіт із регулювання ширини колії швидкість руху поїздів слід обмежити до 25 км/год.

Технологія регулювання колії на звуження така:

1. Вилучаються усі картки внутрішньої рейкової нитки і кладуться на поверхню шпали всередину колії.

Методика вилучення карток.

1.1. Уся крива ділиться на відрізки довжиною по 3 шпали в кожному.

1.2. Розкручуються клемні болти на кожній 3-й шпалі.

1.3. Вилучаються картки з вузла і кладуться на поверхню шпали.

1.4. Змащуються і закручуються клемні болти 3-ої шпали так, щоб вони були ослаблені, а утворені люфти між рейкою і клемою дозволяли змістити рейку вздовж шпали від зовнішньої (польової) реборди підкладки до внутрішньої.

1.5. Розкручуються клемні болти по внутрішній нитці на решті шпал (дві шпали з кожних трьох) та змащуються, також вилучаються картки і кладуться на поверхню шпали всередину колії.

2. Рейка і підрейкова прокладка зміщуються до упору від зовнішньої реборди підкладки до внутрішньої. Рухаючись від початку кривої, у демонтовані клемні вузли з польової сторони рейкової нитки ставиться комплект карток товщиною 7 мм.

Для зручності підрейкову прокладку можна переміщувати по підкладці за допомогою молотка та наставки (циліндрична трубка, або стержень), які зображені на рис. 5.6.

3. Закріплюються демонтовані клемні вузли на величину нормативного крутного моменту 200 Нм.

4. Розкручуються ослаблені клемні болти по внутрішній рейковій нитці, які розташовані на кожній 3-й шпалі і набір карток, загальною товщиною 7 мм, ставиться у вузол з польової сторони рейкової нитки.

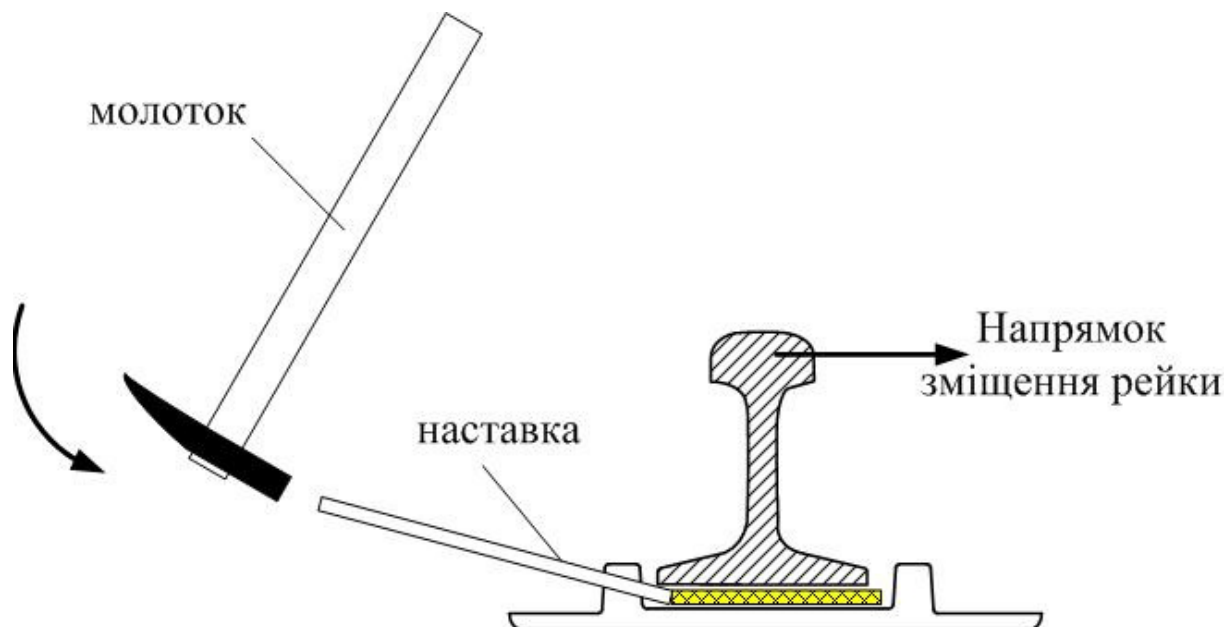


Рис. 5.6. - Схема переміщення підрейкової підкладки

Закручуються клемні вузли на кожній 3-й шпалі на крутний момент 200 Нм.

Роботу виконує бригада з шести монтерів колії під керівництвом бригадира.

Інші методики суцільного і локального регулювання ширини колії викладено у додатку В.

Розроблена автором конструкція рейкових скріплень для типових залізобетонних шпал (Ш-1, Ш-6) типу СКД65, що дає можливість складання та регулювання ширини колії у кривих ділянках будь-якого радіусу як в межах кругових, так і перехідних кривих захищена 2 вітчизняними [5, 6] та 2 іноземними [4, 7] патентами на винаходи та корисні моделі.

Проведено дослідну експлуатацію розробленої конструкції рейкових скріплень на мережі залізниць України.

Станом на 01.01.2011 р. на головних коліях тільки Львівської залізниці вкрито більше 5,5 км колії зі скріпленням СКД65-Б. Перелік ділянок головних колій Львівської залізниці де вкрито скріплення СКД65-Б наведено у табл. Д.1. додатку Д.

5.6 Техніко-економічна ефективність

Техніко-економічна ефективність застосування залізобетонних шпал і розроблених норм улаштування та утримання колії для кривих з радіусами менше 350 метрів полягає в першу чергу в переході з дерев'яних шпал на залізобетонні, що можливе при застосуванні розробленого проміжного скріплення типу СКД65.

У Техніко-економічних розрахунках виконується комплексна оцінка ефективності варіантів конструкції верхньої будови колії по економічних та технічних показниках.

Для вибору кращого варіанта необхідно визначити порівняльну економічну ефективність капітальних вкладень з мінімуму сумарних приведених витрат.

За викладеною методикою [123] визначимо економічну ефективність на ділянках колії із близькими до середньосіткових експлуатаційних параметрів. У приблизно однакових умовах експлуатації приймаються два варіанта конструкції верхньої будови колії. У розрахунках врахований досвід їхнього укладання й експлуатації на Придніпровській і Львівській залізницях й використані надані дорогами необхідні дані.

Для порівняння приймаємо два варіанта:

Варіант 1: рейки типу Р65, шпали дерев'яні, епюра 2000 шт./км, скріплення Д65, ланкова колія.

Варіант 2: рейки типу Р65, шпали залізобетонні, епюра 2000 шт./км, скріплення СКД65-Б, ланкова колія.

Розрахунки викладені у Додатку Г.

Результати аналізу розрахунків техніко-економічної ефективності:

1 Розрахункові сумарні приведені витрати склали:

- по першому варіанту: $\Pi^I = 4\,096,01$ тис. грн.
- по другому варіанту: $\Pi^{II} = 3\,810,08$ тис. грн.

2 Сумарний економічний ефект по грошовим показникам (тобто по приведеним витратам) від впровадження залізобетонних шпал зі скріпленням типу СКД65 при збереженні рейок типу Р65 складає на кожний 1 км колії $E_{I-II} = 285,93$ тис. грн./км. Різниця склала 7,50%. Що складає 8,32% від вартості повного оновлення (тобто модернізації) 1 км колії.

3 Аналіз графіків залежності приведених витрат Π_i від часу дає можливість зробити висновки, що для порівнювальних варіантів, які відрізняються між собою й розмірами капітальних вкладень, й розмірами експлуатаційних витрат за весь період порівняння. Дані показують, що при базовому періоді 9 років найбільш вигідним варіантом являється другий варіант, де застосовуються залізобетонні шпали зі скріпленнями типу СКД65, рейки Р65 та епюра шпал 2000 шт./км. Найдорожчим виявився 1-й варіант, де застосовуються дерев'яні шпали з проміжними скріпленнями Д65, рейки Р65 та епюра шпал 2000 шт./км.

4 Сумарний економічний ефект по натуральним показникам при використанні залізобетонних шпал замість дерев'яних, скріплень типу СКД65 замість типових Д65 складає на кожний 1 км колії:

- по шпалам (по вартості шпал) $2000 \cdot (320,00 - 219,00) = 202,00$ тис. грн./км;
- по скріпленням (по вартості) $2000 \cdot 2 \cdot (115,12 - 126,00) = -43,52$ тис. грн./км;
- по протиугонам 102,61 тис. грн./км;

Разом на 1 км колії $= 202,00 - 43,52 + 102,61 = 261,09$ тис. грн./км.

Зокрема економічний ефект від використання розроблених норм улаштування та утримання колії із залізобетонними шпалами

у кривих ділянках колії з радіусами менше 350 м на головних коліях Львівської залізниці за 2010 рік склав 1 151,407 тис. грн, що підтверджено актом (див. додаток Е).

5.7 Висновки до розділу 5

1. При масовому впровадженні конструкції колії на залізобетонних шпалах, що обґрунтовано техніко-економічними показниками (термін служби залізобетонної шпали більше за дерев'яну на 62%, а вартість – менше на 46%), сфера застосування залізобетонних шпал обмежена на кривих ділянках з радіусом менше 350 м через відсутність обґрунтованих норм улаштування колії з такою конструкцією.

Зазначене обумовлено, по-перше, тим, що є необхідність обов'язкового розширення ширини колії в кривих ділянках при відсутності конструктивного рішення цього питання, а саме, можливості улаштування колії із обґрунтованою шириною колії в межах кругових кривих та відводу розширення в межах перехідних кривих. По-друге, така конструкція повинна передбачати можливість регулювання ширини колії, яка змінюється в процесі експлуатації. Нарешті, існуючі на сьогодні норми ширини колії у кривих ділянках встановлені для умов вписування застарілого парку рухомого складу (довгобазні вагони та вантажні вагони з тривісними візками) й тим самим не відповідають сучасним умовам експлуатації і задачам поліпшення якості колії.

2. Комплексні експериментально-теоретичні дослідження дозволили обґрунтувати теоретичні підходи і розробити додаткові конструктивні вимоги до рейкових скріплень для сучасних умов експлуатації у кривих ділянках колії:

– можливість застосування з існуючими типовими конструкціями залізобетонних шпал, насамперед, типу Ш-1, та Ш-6;

- установити шаблон колії від 1520 до 1535 мм із залізобетонними шпалами;
- передбачати можливість плавної зміни ширини колії у зоні перехідної кривої з відводом розширення в межах 1 мм на 1 пог. м колії;
- при поточному утриманні надавати можливість регулювати ширину колії у кривих ділянках на звуження – від 1 до 28 мм із кроком 1 мм;
- на ділянках колії, де існує звуження колії (наприклад, при застосуванні старопридатних рейок), скріплення повинно дозволяти регулювати ширину колії на розширення від 1 до 14 мм із кроком розширення 1 мм;
- можливість регулювання колії у плані у вузьких місцях, наприклад, на металевих мостах із плитами БМП шляхом поперечного переміщення рейок у межах від 1 до 7 мм із кроком регулювання 1 мм;
- для розрядки кущової гнилої колії з дерев'яними шпалами в зоні кривих ділянок із застосуванням залізобетонних шпал.

Розроблені конструктивні вимоги у повному обсязі використані автором при розробці проміжних рейкових скріплень типу СКД65 для залізобетонних шпал.

3. На основі теоретичних розрахунків і дослідної експлуатації розробленої автором конструкції рейкових скріплень дані рекомендації Головному управлінню колійного господарства Укрзалізниці по використанню скріплень типу СКД65 на мережі залізниць України.

За допомогою скріплення СКД65-Б можна вирішити такі задачі:

- створити колію із залізобетонними шпалами Ш-1-1 на кривих ділянках радіусом від 450 до 200 м, із шириною колії від 1520 до 1534 мм, у тому числі змінної ширини в зоні перехідної кривої з кроком змінності ширини 1 мм;
- при поточному утриманні за допомогою карток скріплення СКД65-Б можна регулювати ширину колії в кривих ділянках на звуження від 1 до 28 мм при застосуванні шпал Ш-1-1; і від 1 до 14 мм – при застосуванні шпал Ш-6;

- на ділянках колії, де існує звуження колії (наприклад, при застосуванні старопридатних рейок), скріплення СКД65-Б дозволяє регулювати ширину колії на розширення від 1 до 14 мм із кроком розширення 1 мм;

- на металевих мостах із плитами БМП існує можливість регулювання колії у плані шляхом поперечного переміщення рейок у межах від 1 до 7 мм із кроком регулювання 1 мм;

- для розрядки кущової гнилої колії з дерев'яними шпалами в зоні кривих ділянок із застосуванням шпал Ш-1-1 і Ш-6.

4. Результати дисертаційної роботи використано в науково-дослідних розробках кафедри «Колія та колійне господарство» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна за напрямками дослідження експлуатаційних характеристик ділянок колії із новими скріпленнями та визначення напружено-деформованого стану колії та аналізу причин сходів рухомого складу в кривих ділянках колії радіусом до 350 м і розробки конструкцій з метою їх запобігання, що виконувалися за завданням Укрзалізниці.

Розроблені в дисертаційній роботі методики суцільного та локального регулювання ширини колії використані при розробці нормативно-технічного документа Укрзалізниці «Інструкція зі складання та поточного утримання колії зі скріпленнями типу СКД65» ЦП-0199.

5. Сумарний економічний ефект від впровадження залізобетонних шпал зі скріпленням типу СКД65 при збереженні рейок типу Р65 на 1 км колії дорівнює 285,93 тис. грн./км; різниця склала 7,50%, що відповідає 8,32% від вартості повного оновлення (тобто модернізації) 1 км колії.

6. Сумарний економічний ефект по фактичним показникам при використанні залізобетонних шпал замість дерев'яних, скріплень типу СКД65 замість типових Д65 складає на кожний 1 км колії: по шпалам (по вартості шпал) 202,00 тис. грн./км; по скріпленням (по вартості скріплень) –43,52 тис. грн./км; по протиугонам 102,61 тис. грн./км; разом на 1 км колії 261,09 тис. грн./км.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі на основі виконаних теоретичних та експериментальних досліджень вирішена важлива науково-технічна задача підвищення ефективності експлуатації та якості улаштування залізничної колії у кривих ділянках. Отримані результати у сукупності мають суттєве значення в області рейкового транспорту та його колійного господарства. Основні наукові результати, висновки та практичні рекомендації полягають у наступному.

1. При масовому впровадженні конструкції колії на залізобетонних шпалах, що обґрунтовано техніко-економічними показниками (термін служби залізобетонної шпали більше за дерев'яну на 62%, а вартість – менше на 46%), сфера застосування залізобетонних шпал обмежена на кривих ділянках з радіусом менше 350 м через відсутність обґрунтованих норм улаштування колії з такою конструкцією.

Зазначене обумовлено, по-перше, тим, що є необхідність обов'язкового розширення ширини колії в кривих ділянках при відсутності конструктивного рішення цього питання, а саме, можливості улаштування колії із обґрунтованою шириною колії в межах кругових кривих та відводу розширення в межах перехідних кривих. По-друге, така конструкція повинна передбачати можливість регулювання ширини колії, яка змінюється в процесі експлуатації. Нарешті, існуючі на сьогодні норми ширини колії у кривих ділянках встановлені для умов вписування застарілого парку рухомого складу (довгобазні вагони та вантажні вагони з тривісними візками) й тим самим не відповідають сучасним умовам експлуатації і задачам поліпшення якості колії.

2. Найбільш ефективним і достовірним методом аналізу процесів взаємодії в системі «колесо-рейка» є метод силової взаємодії, що базується на математичній моделі системи, в якій враховано зміну ширини колії,

а також розподіл вертикальних сил, що передаються від рухомого складу на колію, як між колісними парами, так і між колесами у парі.

3. За розрахунками по моделі розподілу вертикальних сил, що передаються від коліс рухомого складу на колію, максимальна різниця у завантаженні колісних пар у візку вантажного напіввагону може досягати 63,9 кН, що складає 28,0% у порівнянні із паспортним статичним навантаженням від колісної пари на рейку 228,0 кН. При величині допустимого непогашеного поперечного прискорення для поїздів з вантажними вагонами ($[\alpha_{\text{III}}] = \pm 0,3 \text{ м/с}^2$) відбувається додаткове розвантаження одного і довантаження іншого колеса у колісній парі на величину до 5,06 кН, що складає 4,44% відносно статичного навантаження. При цьому різниця між максимальною і мінімальною вертикальною силою, що передається від колеса на рейку у візку, може досягати величини у 42,0 кН, що складає 36,9% у порівнянні з статичним навантаженням від колеса на рейку 114,0 кН, що обумовлено як величиною непогашеного прискорення, так і величиною полюсної відстані при вписуванні візка.

4. Обчислення величини полюсної відстані до тепер було ускладнено, через що значення величини полюсної відстані в інженерних розрахунках ширини колії приймалося рівним величині жорсткої бази вагона з тривісними візками. Удосконалення алгоритму розрахунку, розробленої в дисертації моделі, силового вписування для масового виду рухомого складу, якими є вагони з двовісними візками із жорсткою базою 1,85 м, показують, що полюсні відстані у двовісних візків відрізняються від величини жорсткої бази у бік більших значень до 2,49 м (при довантаженні набігаючої колісної пари) у круговій кривій з радіусом кривої 350 м, а для вантажних вагонів з тривісними візками – полюсна відстань співвимірна із значенням величини жорсткої бази 3,50 м у круговій кривій з тим самим радіусом, але такі вагони відсутні у вагонному парку України.

5. Найменші значення коефіцієнта стійкості проти вкочування колеса на головку рейки в кривих з радіусами кривих менше 350 м отримано при менших значеннях завантаження набігаючого колеса вертикальною силою 108,98 кН і допустимій величині непогашеного прискорення $[\alpha_{\text{нп}}] = -0,3 \text{ м/с}^2$ в залежності від радіуса кривої ділянки: при $R=350 \text{ м}$ – $k = 2,44$; при $R=300 \text{ м}$ – $k = 2,31$; при $R=250 \text{ м}$ – $k = 2,18$; при $R=200 \text{ м}$ – $k = 2,06$. Зі збільшенням величини непогашеного прискорення до $[\alpha_{\text{нп}}] = +0,3 \text{ м/с}^2$ значення коефіцієнта k в залежності від радіуса кривої ділянки – збільшуються: при $R=350 \text{ м}$ – $k = 2,64$; при $R=300 \text{ м}$ – $k = 2,50$; при $R=250 \text{ м}$ – $k = 2,37$; при $R=200 \text{ м}$ – $k = 2,24$.

Стійкість колеса вантажного вагона гарантується при значеннях коефіцієнта $k \geq 1,3$; при умові задовільного стану колії і екіпажа.

6. Фактор зносу гребенів набігаючих коліс Φ зменшується при збільшенні величини радіусу R кривої ділянки колії (якщо $[\alpha_{\text{нп}}] = +0,3 \text{ м/с}^2$ та $S=1530 \text{ мм}$): при $R=250 \text{ м}$ – $\Phi = 0,773$; при $R=300 \text{ м}$ – $\Phi = 0,617$; при $R=350 \text{ м}$ – $\Phi = 0,506$. Фактор зносу збільшується при збільшенні величини непогашеного прискорення $\alpha_{\text{нп}}$ (якщо $S=1525 \text{ мм}$ та $R=350 \text{ м}$): при $[\alpha_{\text{нп}}] = -0,3 \text{ м/с}^2$ – $\Phi = 0,501$; при $\alpha_{\text{нп}} = 0,0 \text{ м/с}^2$ – $\Phi = 0,503$; при $[\alpha_{\text{нп}}] = +0,3 \text{ м/с}^2$ – $\Phi = 0,505$. Фактор зносу збільшується при збільшенні ширини колії S в межах кривої ділянки колії (якщо $[\alpha_{\text{нп}}] = +0,3 \text{ м/с}^2$ та $R=250 \text{ м}$): при $S=1525 \text{ мм}$ – $\Phi = 0,771$; при $S=1530 \text{ мм}$ – $\Phi = 0,773$; при $S=1535 \text{ мм}$ – $\Phi = 0,775$.

7. На величину фактору зносу суттєво впливає радіус кривої, а вплив непогашеного прискорення впливає менше ніж на 0,5%, вплив ширини колії також біля 0,5%. Отже, при зміні норми ширини колії небезпеки значного збільшення величини зносу гребенів коліс і рейок по зовнішній рейковій нитці не наступає. Але грубі відхилення від норм утримання елементів верхньої будови колії та ходових частин рухомого складу можуть впливати на збільшення величини фактору зносу на окремих ділянках.

8. На основі досліджень, отриманих за допомогою розробленої моделі комплексного аналізу показників силової взаємодії рухомого складу і колії, безпеки руху, а також факторного аналізу основних показників взаємодії екіпажа і колії обґрунтовано та запропоновано норми ширини рейкової колії для кривих ділянок з радіусами менше 350 м на залізобетонних шпалах:

- при радіусах 350 м і більше 1520 мм;
- при радіусах менше 350 м до 230 м 1530 мм;
- при радіусах менше 230 м до 160 м 1535 мм;
- при радіусах менше 160 м 1540 мм.

9. Комплексні експериментально-теоретичні дослідження дозволили обґрунтувати теоретичні підходи і розробити додаткові конструктивні вимоги до рейкових скріплень для сучасних умов експлуатації у кривих ділянках колії:

- можливість застосування з існуючими типовими конструкціями залізобетонних шпал, насамперед, типу Ш-1, та Ш-6;
- установити шаблон колії від 1520 до 1535 мм із залізобетонними шпалами;
- передбачати можливість плавної зміни ширини колії у зоні перехідної кривої з відводом розширення в межах 1 мм на 1 пог. м колії;
- при поточному утриманні надавати можливість регулювати ширину колії у кривих ділянках на звуження – від 1 до 28 мм із кроком 1 мм;
- на ділянках колії, де існує звуження колії (наприклад, при застосуванні старопридатних рейок), скріплення повинно дозволяти регулювати ширину колії на розширення від 1 до 14 мм із кроком розширення 1 мм;
- можливість регулювання колії у плані у вузьких місцях, наприклад, на металевих мостах із плитами БМП шляхом поперечного переміщення рейок у межах від 1 до 7 мм із кроком регулювання 1 мм;
- для розрядки кущової гнилої колії з дерев'яними шпалами в зоні кривих ділянок із застосуванням залізобетонних шпал.

Розроблені конструктивні вимоги у повному обсязі використані автором при розробці проміжних рейкових скріплень типу СКД65 для залізобетонних шпал.

10. На основі теоретичних розрахунків і дослідної експлуатації розробленої автором конструкції рейкових скріплень дані рекомендації Головному управлінню колійного господарства Укрзалізниці по використанню скріплень типу СКД65 на мережі залізниць України.

За допомогою скріплення СКД65-Б можна вирішити такі задачі:

- створити колію із залізобетонними шпалами Ш-1-1 на кривих ділянках радіусом від 450 до 200 м, із шириною колії від 1520 до 1534 мм, у тому числі змінної ширини в зоні перехідної кривої з кроком змінності ширини 1 мм;
- при поточному утриманні за допомогою карток скріплення СКД65-Б можна регулювати ширину колії в кривих ділянках на звуження від 1 до 28 мм при застосуванні шпал Ш-1-1; і від 1 до 14 мм – при застосуванні шпал Ш-6;
- на ділянках колії, де існує звуження колії (наприклад, при застосуванні старопридатних рейок), скріплення СКД65-Б дозволяє регулювати ширину колії на розширення від 1 до 14 мм із кроком розширення 1 мм;
- на металевих мостах із плитами БМП існує можливість регулювання колії у плані шляхом поперечного переміщення рейок у межах від 1 до 7 мм із кроком регулювання 1 мм;
- для розрядки кущової гнилої колії з дерев'яними шпалами в зоні кривих ділянок із застосуванням шпал Ш-1-1 і Ш-6.

11. Результати дисертаційної роботи використано в науково-дослідних розробках кафедри «Колія та колійне господарство» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна за напрямками дослідження експлуатаційних характеристик ділянок колії із новими скріпленнями та визначення напружено-деформованого стану колії та аналізу причин сходів рухомого складу в кривих ділянках колії радіусом до 350 м і розробки конструкцій з метою їх запобігання, що виконувалися за завданням Укрзалізниці.

Розроблені в дисертаційній роботі методики суцільного та локального регулювання ширини колії використані при розробці нормативно-технічного документа Укрзалізниці «Інструкція зі складання та поточного утримання колії зі скріпленнями типу СКД65» ЦП-0199.

12. Сумарний економічний ефект від впровадження залізобетонних шпал зі скріпленням типу СКД65 при збереженні рейок типу Р65 на 1 км колії дорівнює 285,93 тис. грн./км; різниця склала 7,50%, що відповідає 8,32% від вартості повного оновлення (тобто модернізації) 1 км колії.

13. Сумарний економічний ефект по фактичним показникам при використанні залізобетонних шпал замість дерев'яних, скріплень типу СКД65 замість типових Д65 складає на кожний 1 км колії: по шпалам (по вартості шпал) 202,00 тис. грн./км; по скріпленням (по вартості скріплень) –43,52 тис. грн./км; по протиугонам 102,61 тис. грн./км; разом на 1 км колії 261,09 тис. грн./км.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Губар О.В. Аналіз матеріалів розслідування сходів рухомого складу в кривих ділянках колії радіусом менше 350 м. [текст] / О.В. Губар, Н.В. Халіпова, В.В. Циганенко, В.В. Рибкін // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. тр-ту ім. акад. В. Лазаряна, – 2008. – Вип. 24. – С. 94–99.
2. Андреев В.С. Дослідження деформативної роботи колії зі скріпленнями типу APC-4 [текст] / В.С. Андреев, О.В. Губар, М.П. Настечик, В.В. Рибкін // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2009. – Вип. 27. – С. 125–129.
3. Губар О.В. Витрати, пов'язані з опором руху [текст] / О.В. Губар Р.С. Ліповський, М.І. Уманов, О.С. Чернишова // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2009. – Вип. 28. – С. 58–60.
4. Пат. 2398923 Российская федерация, МПК7 Е 01 В 9/44 Рельсовое скрепление / А.В. Губарь, Н.П. Настечик, П.В. Рагулин, В.В. Рыбкин К.В. Корноухова, В.А. Яковлев; заявители и патентообладатели А.В. Губарь, Н.П. Настечик, П.В. Рагулин, В.В. Рыбкин К.В. Корноухова, В.А. Яковлев – № 2008120277/11; заявл. 21.05.2008; опубл. 10.09.2010, Бюл. №25.
5. Пат. 31032 Україна МПК7: Е 01 В 9/44 Рейкове скріплення / О.В. Губар, М.П. Настечик, П.В. Рагулин, В.В. Рибкін, К.В. Корноухова, В.О. Яковлев; заявники та власники О.В. Губар, М.П. Настечик, П.В. Рагулин, В.В. Рибкін, К.В. Корноухова, В.О. Яковлев – № 200712086; заявл. 01.11.2007, опубл. 25.03.2008, Бюл. №6.
6. Пат. 35693 Україна МПК7 Е 01 В 9/44 Комплект регулюючих елементів / Є.В. Губар, О.В. Губар, В.В. Циганенко; заявники та власники Є.В. Губар, О.В. Губар, В.В. Циганенко – № 200807464; заявл. 30.05.2008, опубл. 25.09.2008, Бюл. №18.
7. Пат. 79103 Российская федерация, МПК7 Е 01 В 9/44 Рельсовое скрепление / А.В. Губарь, Н.П. Настечик, П.В. Рагулин, В.В. Рыбкин

- К.В. Корноухова, В.А. Яковлев; заявители и патентообладатели А.В. Губарь, Н.П. Настечик, П.В. Рагулин, В.В. Рыбкин, К.В. Корноухова, В.А. Яковлев –№ 2008120213/22; заявл. 21.05.2008; опубл. 20.12.2008, Бюл. №35.
8. Інструкція зі складання та поточного утримання колії зі скріпленнями типу СКД65 / О.В. Губар, М.П. Настечик ЦП-0199: затверджено наказом Укрзалізниці від 10.12.2008 р. № 534-Ц – К.:Транспорт України, 2008. – 44 с.
 9. Губар О.В. Результати експериментального дослідження дії тепловоза М62 на колію в кривій ділянці / О.В. Губар, В.В. Циганенко / [Тези доповідей 67 Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту». – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2007. – С. 185–186.
 10. Губар О.В. Дослідження безпеки руху вантажних вагонів у кривих ділянках колії малого радіусу [текст] / О.В. Губар, Н.В. Халіпова, В.В. Циганенко // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Митна політика та актуальні проблеми економічної та митної безпеки України на сучасному етапі» Д.: Вид-во Акад. митн. служби України, 2008. – С. 252–254.
 11. Арбузов М.А. Техніко-економічне обґрунтування можливості використання колії на залізобетонних шпалах у кривих радіусом менше 350 м / М.А. Арбузов, О.В. Губар, О.С. Набоченко, М.П. Настечик, М.П. Сисин, О.В. Чорноволенко / [Тези доповідей XII Міжнародної конференції «Проблеми механіки залізничного транспорту»]. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2008. – С. 113.
 12. Губар О.В. Витрати, пов'язані з опором руху від колії / О.В. Губар, М.І. Уманов, О.С. Чернишова // [Тези доповідей VIII Міжнародної

наукової конференції «Проблеми економіки транспорту»]. – Д.: – 2009. – С. 71.

13. Губар О.В. Конструкція скріплення СКД65-Б, можливості його застосування та визначення ділянки відводу розширення колії у межах перехідної кривої / О.В. Губар, М.П. Настечик // [Тези доповідей 69 Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту»] . – Д.: – 2009. – С. 155.
14. Губар О.В. До удосконалення скріплення КБ та СКД / О.В. Губар, Р.В. Маркуль, М.П. Настечик, / [Тези доповідей 70 Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту». – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2010. – С. 193–194.
15. Губар О.В. Обґрунтування норм ширини колії у кривих ділянках колії з радіусами менше 350 метрів колії / О.В. Губар // [Тези доповідей 71 Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту»] . – Д.: – 2011. – С. 71.
16. Смирнов С.Н. Курс подвижного состава и тяги / С.Н. Смирнов – Петербург, Институт инженеров путей сообщения, 1895. – 125 с.
17. Холодецкий А.А. Исследование влияния внешних сил на верхнее строение железнодорожного пути // А.А. Холодецкий – К.: Инженер 1896. – №12. – С. 507–517; № 1, 1897. – С. 8–22, № 2, 1897. – С. 66–76, № 3, 1897. – С. 124–131, № 4, 1897. – С. 183–193.
18. Цеглинский К.Ю. Железнодорожный путь в кривых / К.Ю. Цеглинский - М.: 1903. – 155 с.
19. Юбелакер Г. Исследование движения локомотивов на тележках в кривых участках / Г. Юбелакер // «Organ f. d. F.» - Beilage: 1903.
20. Николаев И.И. Вариант точного геометрического вписывания локомотивов в кривые / И.И. Николаев // Тр. МИИТа – М.: 1958. Вып. 89. – С. 118–131.

21. Хейман Х. Графическое определение центра трения / Х. Хейман // «Organ f. d. F.» - Beilage: 1913, № 6, 7, 8, 9.
22. Инженерный совет / «Журнал комиссии подвижного состава, тяги и мастерских» - М.: 1910, № 8, 26; 1911, № 11.
23. Беддекер. Боковая грань катания рельсов, закругленный профиль колесных бандажей и сопротивление на кривых подвижного состава с жесткой базой / Беддекер // «Zentrall bl. Der Bauverw», - 1914, Heft 71.
24. Шевалин В.А. Критерий бокового износа рельсов и гребней бандажей электровозов в кривых / В.А. Шевалин // Сборник трудов ЛИИЖТа, - Л.: 1941. Вып. 135.
25. Жуковский Н.Е. Трение бандажей железнодорожных колес о рельсы т. VII / Н.Е. Жуковский // Собрание сочинений, - М.: Гостехиздат, 1950.
26. Соломянский А.В. Вписывание в кривые паровоза серии ИС / А.В. Соломянский - М.: «Транспортное машиностроение», 1938 №11.
27. Королев К.П. Вписывание паровозов в кривые участки пути / К.П. Королев // Труды ЦНИИ – М.: Трансжелдориздат, 1950. – Вып. 37. – С 233.
28. Шестаков В.Н. Определение боковых давлений электровозов и тепловозов с вращающимися устройствами в кривых участках пути / В.Н. Шестаков // Вестник Всесоюзн. научн.-исслед. ин-та ж.-д. транспорта - М.: 1959, №4.
29. Хлебников В.Н. Определение направляющих усилий при движении многотележечных сочлененных электровозов по кривым участкам пути / В.Н. Хлебников // Вопросы электрификации железных дорог – М.: 1959, вып. 1 ИКТП АН СССР.
30. Мелик-Асланов Х. Силы, действующие на железнодорожный путь от подвижного состава, и связь их со скоростями поездов / Х. Мелик-Асланов – М.: 1918. – 38 с.
31. Митюшин Н.Т. Динамические напряжения железнодорожного пути в кривых / Н.Т. Митюшин – М.: 1917. – 185 с.

32. Годыцкий-Цвирко А.М. Взаимодействие пути и подвижного состава [монография] / А.М. Годыцкий-Цвирко – М.: Гострансиздат, 1931. – 215 с.
33. Марье Г. Взаимодействие пути и подвижного состава / Г. Марье // Труды Науч.-эксперимент. Конструкт. ин-та ЦНТУ НКПС - Вып. 2 – М.: Госжелдориздат, 1933. - 336 с.
34. Степкин С.А. О местных напряжениях в рельсах при кручении / С.А. Степкин // Труды ЛИИЖТ. – Вып. 127. – М: Трансжелдориздат, 1937. – С. 66-85.
35. Медель В.Б. Динамика электровоза / В.Б. Медель – М.: Трансжелдориздат, 1937.
36. Медель В.Б. Влияние локомотивов / В.Б. Медель // Тр. МИИТ. – М.: 1948. – Вып. 55. С 32-79.
37. Медель В.Б. Взаимодействие электровоза и пути / В.Б. Медель – М.: Трансжелдориздат, 1956. - 335 с.
38. Медель В.Б. Исследование движения железнодорожных экипажей в кривых / В.Б. Медель // Тр. Том электромех. ин-та ж.-д. транспорта – Томск.: 1955. – Вып. 20. - 207 с.
39. Куценко С.М. Установившееся движение локомотивов в кривых участках железнодорожного пути / С.М. Куценко // Вписывание локомотивов в кривые участки железнодорожного пути. Устойчивость движения локомотивов. –М.: Машгиз. 1954. – С. 4-47.
40. Куценко С.М. Об устойчивости движения локомотивов / С.М. Куценко // Вписывание локомотивов в кривые участки железнодорожного пути. Устойчивость движения локомотивов. – М.: Машгиз. 1954. – С. 88-113.
41. Граве И.П. Устройство и содержание железнодорожных кривых малых радиусов / О.П. Ершков // 166 юбилейный выпуск трудов ЛИИЖТа. – М.: Трансжелдориздат. – 1959. – 189 с.
42. Muller T. Dynamische Probleme der Bogenlaufes von Eisenbahn / T. Muller – fahrzeugen. «Glaser's Annalen» – 1955. #8 206. – 241 s.

43. Ершков О.П. Построение графиков удельных характеристик и графиков-паспортов вписывания железнодорожных экипажей в кривые / О.П. Ершков // Тр. ВНИИЖТ. – М.: 1963. – Вып. 268. – С. 64-125.
44. Ершков О.П. Построение графиков-паспортов вписывания тележечных локомотивов в кривые / О.П. Ершков // Тр. ВНИИЖТ. – М.: 1965. – Вып. 296. – С. 191-243.
45. Ершков О.П. Расчеты поперечных горизонтальных сил в кривых / О.П. Ершков // Тр. ВНИИЖТ. – М.: 1966. – Вып. 301. – 235 с.
46. Ершков О.П. Установление коэффициентов, учитывающих боковой изгиб и кручение рельсов / О.П. Ершков // Труды ВНИИЖТ. – Вып. 97. – М.: Трансжелдориздат. – 1955. – С. 189-325.
47. Цыганенко В.В. Определение горизонтальных поперечных сил в кривых с учетом продольных сил, действующих в составе / В.В. Цыганенко // Исследования взаимодействия пути и подвижного состава Труды ДИИТа – Вып. 88. – Д.: 1968. – С. 106-118.
48. Цыганенко В.В. Исследования горизонтальных поперечных сил взаимодействия подвижного состава и пути в кривых при рекуперативном торможении поездов: дис. канд. техн. наук: 5.22.06 / Владимир Вениаминович Цыганенко. – Д., 1969. – 256 с.
49. Уманов М.И. Определение величины горизонтальных поперечных сил, действующих на путь, при вписывании в кривые экипажей с несочлененными многоосными тележками / М.И. Уманов, В.В. Цыганенко // Вопросы взаимодействия подвижного состава с верхним строением пути и искусственными сооружениями Труды ДИИТа – Вып. 196. – Д.: 1977. – С. 102-107.
50. Уманов М.И. Исследования работы пути в кривых малых радиусов с учетом влияния продольных сил в поезде: дис. канд. техн. наук: 5.22.06 / Марк Ионович Уманов. – Д., 1974. – 245 с.

51. Взаимодействие пути и подвижного состава / [М.Ф. Вериго, В.Н. Данилов, Е.М. Бромберг, М.А. Фришман]. – М.: Трансжелдориздат, 1956. – 280 с.
52. Шахунянц Г.М. Модули упругости различных подрельсовых оснований / Г.М. Шахунянц, Н.М. Хазинский // Труды МИИТа. – Вып. 382. – М.: Транспорт, 1973. – С. 30-42.
53. Фришман М.А. Исследования особенностей изменения вертикальной жесткости пути по его длине / М.А. Фришман, И.С. Леванков // Труды ДИИТа – Вып. 138. – Д., 1972. – С. 48-56.
54. Фришман М.А. Об особенностях изменения вертикальной жесткости вдоль пути с тяжелым типом верхнего строения / М.А. Фришман, И.С. Леванков // Труды ДИИТа. – Вып. 142. – Д., 1973. – С. 3-10.
55. Экспериментальное исследование работы пути с новыми промежуточными скреплениями [М.А. Фришман, Л.Я. Воробейчик, А.Н. Орловский, В.А. Радычук]. – Д., Труды ДИИТ. – Вып.151. 1974. – С. 98-109.
56. Амелин С.В. Работа скреплений с железобетонными шпалами в пути / С.В. Амелин, Г.Е. Андреев // Труды ЛИИЖТа – Вып. 328. – Л.: Транспорт, 1971. – С. 3-22.
57. Амелин С.В. О работе скреплений КБ-65 / С.В. Амелин, Г.Е. Андреев, Т.Л. Лapidус // Путь и путевое хозяйство. – М., 1970. – № 7. – С. 6-7.
58. Амелин С.В. Работа скреплений КБ-65 на участках скоростного движения поездов / С.В. Амелин и др. // Путь и путевое хозяйство. – М., 1970. – № 6. – С. 61-64.
59. Андреев Г.Е. Совершенствовать промежуточные скрепления / Г.Е. Андреев // Путь и путевое хозяйство. – М., 1966. – С. 11-27.
60. Андреев Г.Е. Экспериментальные наблюдения за работой в пути скреплений на железобетонных шпалах / Г.Е. Андреев // Труды ЛИИЖТа – Вып. 282. – Л.: Транспорт, 1968. – С. 11-27.

61. Андреев Г.Е. Бесстыковому пути – надежные скрепления / Г.Е. Андреев, Т.А. Лapidус , А.В. Васин // Железнодорожный транспорт. – 1972. – №3. – С. 60-64.
62. Андреев Г.Е. Продлить срок службы скреплений / Г.Е. Андреев, Т.А. Лapidус // Путь и путевое хозяйство. – М., 1975. – №7. – С. 26-27.
63. Андреев Г.Е. Совершенствовать конструкцию скреплений / Г.Е. Андреев // Путь и путевое хозяйство. – М., 1978. – №1. – С. 22-24.
64. Лысюк В.С. Влияние жесткости и неровностей пути на деформации, вибрации и силы взаимодействия его элементов / Под ред. В.С. Лысюка // Труды ВНИИЖТ. – Вып. 370. – М.: Транспорт, 1969. – 161 с.
65. Лысюк В.С. Влияние упругости прокладок на напряженно-деформированное состояние элементов пути / В.С. Лысюк, В.Ф. Барабошин, Б.А. Евдокимов // Вестник ВНИИЖТа, 1968. – С. 44-48.
66. Барабошин В.Ф. Колебания рельса и железобетонной шпалы в зоне стыка / В.Ф. Барабошин, Н.И. Ананьев // Вестник ВНИИЖТа, 1970. – №1. – С. 1-4.
67. Твердомед В.М. Вплив поперечних та поздовжніх горизонтальних сил на роботу безпідкладкової та підкладкової конструкції рейкової колії: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.22.06 «Залізнична колія» / Володимир Миколайович Твердомед. – К., 2010. – 24 с.
68. Вериго М.Ф. Взаимодействие пути и подвижного состава / М.Ф. Вериго , А.Я. Коган – М.: Транспорт, 1986. – 559 с.
69. Радченко Н.А. Криволинейное движение рельсовых транспортных средств / Н.А. Радченко // К.: Наукова думка, 1988. 211 с.
70. Коган А.Я. Динамика пути и его взаимодействие с подвижным составом / А.Я. Коган – М.: Транспорт, 1997. – 326 с.
71. Петров Н.П. Напряжения в рельсах от изгибов в вертикальной плоскости и вероятность определения этих напряжений опытами / Н.П. Петров – С.-Петербург, 1906. – 107 с.

72. Петров Н.П. Напряжения в рельсах от изгибов от вертикальных давлений катящихся колес. Влияние скорости и неправильного вида колес / Н.П. Петров –С. Петербург, 1907. – 120 с.
73. Петров Н.П. К вопросу прочности рельсов / Н.П. Петров – С.-Петербург, 1912. – 84 с.
74. Петров Н.П. Давление колес на рельсы железных дорог / Н.П. Петров // Прочность рельсов и устойчивость пути – Петроград, 1915.
75. Холодецкий А.А. К вопросу влияния скорости и неправильного вида колес подвижного состава на динамические прогибы рельса / А.А. Холодецкий – М., 1915. – 93 с.
76. Митюшин Н.Т. Влияние выбоин на динамические прогибы рельсов / Н.Т. Митюшин // Труды МИИТа – Вып. 22. – 1932., С. 35-51.
77. Филоненко-Бородич М.М. О проходе подвижного состава по неровностям рельса / М.М. Филоненко-Бородич // Труды МИИТа – Вып. 4. – 1927.
78. Шахунянц Г.М. Устройство железнодорожного пути Т. III. / Г.М. Шахунянц – М.: Трансжелдориздат, 1944. – 238 с.
79. Мищенко К.М. Устройство железнодорожного пути. Т. III, глава V, §9 / К.М. Мищенко –М.: Трансжелдориздат, 1944. – 238 с.
80. Попов А.А. К вопросу о динамическом действии колеса на рельс при прохождении неровностей пути / А.А. Попов // Труды ЦНИИ МПС. – Вып. 33. – М.: Трансжелдориздат, 1939.
81. Drawbridge C.F. Railway and maintenance / C.F. Drawbridge // Railway and maintenance – 1947 #12.
82. Blair T.A. Railway and maintenance / T.A. Blair // Railway and maintenance – 1947 #12.
83. Труды 33-го совещательного съезда инженеров службы пути 1922 – М., 1922.

84. Козийчук П.Г. Техничко-экономические обоснования целесообразности унификации ширины колеи в прямых и кривых участках пути / П.Г. Козийчук, К.П. Королев, А.А. Барсегов // Рукопись МТЭИ, 1951.
85. Фришман М.А. Унификация ширины колеи в прямых и кривых / М.А. Фришман, Т.М. Шпак // Информационное письмо №5 ДИИТа – Д., 1957.
86. Ершков О.П. Расчеты железнодорожного пути в кривых и нормы его устройства / О.П. Ершков, Л.П. Мелентьев, М.С. Яхов // Тр. ЦНИИ МПС, Вып. 192. – М., Трансжелдориздат, 1960. – 204 с.
87. Ляшенко Т.И. Проект новых допусков в содержании рельсовой колеи железнодорожного пути / Т.И. Ляшенко // В журнале «Железнодорожное дело» №1 1933.
88. Tahr T. Zeiytung des Vereis Deutscher Eisenbahnwerwaltung / T. Tahr // Zeitschrift №4 April, 1927
89. Baseller Gleistechnik / Baseller – 1944, №7/12
90. Правила производства расчетов верхнего строения железнодорожного пути на прочность – М.: Трансжелдориздат, 1954. - 70 с.
91. Оценка воздействия на путь современных электровозов и тепловозов [М.В. Алексеев, М.Ф. Вериго, О.П. Ершков, С.С. Крепкогорский]. – М.: Трансжелдориздат, 1961. – 137 с.
92. Ершков О.П. Исследование жесткости железнодорожного пути и ее влияние на работу рельсов в кривых участках / О.П. Ершков // Труды ВНИИЖТа – Вып. 264. – М., 1963. – 152 с.
93. Ibing R. Untersuchung über Festigkeitswerte von Buchenholzschwellen Form 1 und Betonschwellen Type B / R. Ibing, Grossmann // Verkehr und Technik № 10, 11, 12, 1956.
94. Вериго М.Ф. Основные положения методики расчета сил, действующих на железобетонные шпалы / М.Ф. Вериго // Труды ВНИИЖТа – Вып. 257. – 1963. – М.: Трансжелдориздат.– С.5–39.

95. Федулов В.Ф. О накоплении остаточных деформаций щебеночной призмы на пути с железобетонными шпалами / В.Ф. Федулов // Труды ВНИИЖТа – Вып. 217. – М.: Трансжелдориздат, 1961. – С. 107–115.
96. Исаенко Э.П. Надежность упругих креплений / Э.П. Исаенко, М.В. Безруков // Путь и путевое хозяйство. – М.: Транспорт, 2000. – №9. – С. 11–13.
97. Бекиш Л.А. Параметры колеи с новыми креплениями / Л.А. Бекиш // Путь и путевое хозяйство. – М.: Транспорт, 2003. – №3. – С. 16–18.
98. Современное состояние путевого хозяйства железных дорог Украины и пути его совершенствования и развития / Э.И. Даниленко, В.И. Койдан, Я.Т. Гавриш, А.П. Кутах / Труды ДИИТа - Д., 1990. - С. 3-19.
99. Современные конструкции верхнего строения железнодорожного пути / Под ред. В.Г. Альбрехта и А.Ф. Золотарского – М. : Транспорт, 1975. - 279 с.
100. Железнодорожные шпалы для рельсового пути / Под ред. А.Ф. Золотарского – М. : Транспорт, 1980. - 270 с.
101. Амелин С.В. Верхнее строение пути [учеб. для вузов ж.-д. трансп.] / С.В. Амелин – Л.: ЛИИЖТ 1973. – 237 с.
102. Ангелейко В.И. Исследование сроков службы железобетонных шпал / В.И. Ангелейко, А.М. Иванов // – Труды МИИТа – 1979, Вып. 646.
103. Андреев Г.Е. Выбор конструкции пути / Г.Е. Андреев, Е.К. Смыков, Т.А. Столяров – Гомель, 1987. – 68 с.
104. Амелин С.В. Устройство и эксплуатация пути / С.В. Амелин, Г.Е. Андеев – М. Транспорт. 1986. – 238 с.
105. Альбрехт В.Г. Устойчивость костыльного крепления / В.Г. Альбрехт, В.Ф. Афанасьев // Путь и путевое хозяйство – М.:1981. №7. – С. 25-26.
106. Говоруха В.В. Современные конструкции промежуточных рельсовых креплений / В.В. Говоруха // Геотехническая механика. – Вып. 31. – Д., 2002. – С. 49-77.

107. Говоруха В.В. Упругие элементы промежуточных рельсовых креплений / В.В. Говоруха // Геотехническая механика. – Вып. 31. –Д., 2002. – С. 78-94.
108. Говоруха В.В. Механика деформирования и разрушения упругих элементов промежуточных рельсовых креплений [монография] / В.В. Говоруха –Д.: Лира ЛТД, 2005. - 388 с.
109. Ермаков В.М. Оценка качества и совершенствование элементов верхнего строения / В.М. Ермаков, В.М. Федин, А.И. Борц // Путь и путевое хозяйство. – М. 2000. -№3. –С. 20-23.
110. Карпущенко Н.И. Совершенствование рельсовых креплений / Н.И. Карпущенко, Н.И. Антонов – Новосибирск : изд-во СГУПСа. 2003. - 300 с.
111. Белорусов А.И. Размещение экипажа внутри колеи кривого участка пути / А.И. Белорусов – Межвуз. сборник научных трудов – Вып. 646. – М.: 1979. – С. 117–131.
112. Даніленко Е.І. Сучасні пружні рейкові скріплення і специфікація вимог до вітчизняних скріплень на залізобетонних шпалах / Е.І. Даніленко, М.Д. Костюк, О.М. Жученко // Журнал Залізничний транспорт України №6 К., 2002. - С. 6-11.
113. Даніленко Е.І. Вибір раціональних параметрів пружності для вітчизняних скріплень на залізобетонних шпалах / Е.І. Даніленко, М.Д. Костюк, О.М. Жученко // Збірник наукових праць КУЕТТа – К., 2003. - С. 3-15.
114. Волошко Ю.Д. Техничко-економические расчеты по выбору конструкции верхнего строения пути [Текст] учеб. пособие для вузов / Ю.Д. Волошко, Л.Я. Воробейчик // Днепрпетр. ин-т инженеров ж.-д. трансп. – Д.: ДИИТ, 1987. - 47 с.
115. Новакович В.И. Бесстыковой путь со сверхдлинными рельсовыми плетями [Текст]: Учебное пособие / В.И. Новакович – М.: Маршрут, 2005. – 144 с.

116. Технічні вказівки щодо оцінки стану рейкової колії за показниками колієвимірювальних вагонів та забезпечення безпеки руху поїздів при відступах від норм утримання рейкової колії: ЦП-0020 – К.: Укрзалізниця, 2005. – 33 с.
117. Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України: ЦП-0138 / Е.І. Даніленко, А.М. Орловський, А.П. Татуревич та інші. – К.: Транспорт України, 1999. – 248 с.
118. Тепловоз 2М62 – М.: Транспорт, 1977, – 280 с.
119. Яковлев В.Ф. Расчет вписывания экипажей в кривых малых радиусов с учетом угла набегания / В.Ф. Яковлев, Е.П. Дудкин // Исследование расчетных характеристик и динамики железнодорожного пути: межвуз. сб. научн. тр. – Днепропетровск : ДИИТ, 1985, - 121 с.
120. Лысюк В.С. Причины и механизмы схода колеса с рельса / В.С. Лысюк // Проблемы износа колес и рельсов 2-е изд. – М.: Транспорт, 2002. – 215 с.
121. Ершков О.П. Как вписывается тепловоз ЧМЭЗ в крутые кривые / О.П. Ершков, М.Г. Зак // Журнал «Путь и путевое хозяйство» № 7, 1980.
122. Настечик М.П. Інструкція зі складання та поточного утримання колії зі скріпленнями типу СКД65 Б [Звіт за НДР] / М.П. Настечик, О.В. Губар – Д.: ДНУЗТ, 2008, – 34 с.
123. Волошко Ю.Д. Техніко-економічні розрахунки на вибір конструкції верхньої будови колії [Навчальний посібник] / Сост.: Ю.Д. Волошко, Л.Я. Воробейчик. Д., 1987.
124. Положення про проведення планово-запобіжних ремонтно-колійних робіт на залізницях України. Затверджено наказом Укрзалізниці від 05.07.2000 року № 18-ЦЗ.
125. Правила розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість: ЦП-0117: Е.І. Даніленко, В.В. Рибкін.– К.:Транспорт України, 2004. – 69 с.
126. Правила технічної експлуатації залізниць України: ЦРБ-0004 - К.: Вид-во «Видавничий дім «Сам», 2003. - 133 с.

127. Циганенко В.В. Аналіз причин сходів рухомого складу в кривих ділянках колії радіусом до 350 м і розробка конструкцій з метою їх запобігання [Звіт за НДР] / В.В. Циганенко, О.В. Губар – Д.: ДНУЗТ, 2007, – 128 с.
128. Настечик М.П. Дослідження експлуатаційних характеристик ділянок колії зі скріпленням типу АРС-4 та визначення напружено-деформованого стану колії [Звіт за НДР] / Настечик М.П., Рибкін В.В. Андрєєв В.С. та інш. – Д.: ДНУЗТ, 2008, – 33 с.
129. Шахунянц Г.М. Железнодорожный путь: Учебник для вузов ж.-д. трансп. – 3-е изд., перераб. И доп / Г.М. Шахунянц – М.: Транспорт, 1987. – 479 с.
130. Разработка рекомендаций по снижению износа колес и рельсов за счет снижения сил динамического взаимодействия железнодорожных экипажей и пути с учетом стационарных и нестационарных режимов движения : отчет по научно-исследовательской работе / [Е. Блохин, А. Пшинько, В. Данович и др.]. – Д.: Днепропетр. гос. техн. ун-т железнодорож. трансп.-та, 1998. – 369 с.
131. Уманов М.І. Определение величины горизонтальных поперечных сил, действующих на путь, при вписывании в кривые экипажей с несочлененными многоосными тележками / М.І. Уманов, В.В. Цыганенко // Вопросы взаимодействия подвижного состава с верхним строением пути и искусственными сооружениями. Межвуз. сборник научных трудов – Вып. 196/19. – Д.: 1977. – С. 102–107.
132. Певзнер В.О. Влияние ширины колеи : (Проблемы износа колес и рельсов) / В.О. Певзнер // Ж.-д. транспорт. М.: – 1996. N12. – С. 36–39.
133. Певзнер В.О. Влияние нормы ширины колеи на интенсивность её уширения / В.О. Певзнер, О.Ю. Белоцветова, И.Б. Петропавловская, Т.И. Громова // Журнал Путь и путевое хозяйство: М. – 2010. N 2– С.4–5

ДОДАТОК А

МАТЕРІАЛИ РОЗСЛІДУВАННЯ СХОДІВ РУХОМОГО СКЛАДУ В КРИВИХ ДІЛЯНКАХ КОЛІЇ

Таблиця А.1.

Матеріали розслідування сходів рухомого складу в кривих ділянках колії

Залізниця	Радіус, м	Підви- щення, мм	Швидкість, км/год		Вид рухомого складу, що зійшов	Причина
			вста- новлена	факти- чна		
Донецька	113.6	40	15	3	дані відсутні	звуження колії
Донецька	156	30	15	3	ЧМЕЗ	набігання гребня на упорну ланку, кут у плані
Донецька	184	25	15	3	вагон	відсутність плавного відводу
Львівська	125	0	25	25	піввагон, цистерна	невкриття гостряка та гострокінцевий накат колеса вагона
Львівська	130	40	25	12	кран ЕДК-300	перекіс 26 мм, осідання 30 мм
Львівська	140	10	25	8	піввагон	Розширення колії 1545 мм, перевантаження вагону 4,5 т
Львівська	178	60	40	12	2М62	Сукупність відступів по локомотиву та по колії, швидкість руху менше встановленої
Львівська	190	70	40	12	2М62	Сукупність відступів по локомотиву та по колії, швидкість руху менше встановленої
Львівська	200	40	15	10	піввагон	кущова непридатність шпал 4 шт. провисання рейок 15 мм
Львівська	200	0	40	15	піввагон, платформа	осідання на стрілочному переводі 25 мм
Львівська	200	0	25	10	пас вагон	перекіс 25 мм
Львівська	200	50	15	8	пас вагон	відвід рівня 5‰, відхилення профілю 30 мм на 12 м, швидкість руху менше встановленої

Продовження табл. А.1.

Залізниця	Радіус, м	Підви- щення, мм	Швидкість, км/год		Вид рухомого складу, що зійшов	Причина
			вста- новлена	факти- чна		
Львівська	200	40	40	23	критий вагон	кущова непридатність шпал 5 шт.
Львівська	200	0	25	12	ВЛ80	перекіс до 26 мм в перевідній кривій стрілочного переводу, швидкість руху менше встановленої
Львівська	200	60	15	8.5	2М62	швидкість руху менше встановленої,
Львівська	220	50	40	25	зерновоз	не вписування візка із-за відсутності зазорів ковзунів, кущова непридатність шпал 4 шт.
Львівська	234	40	40	25	піввагон	кут у плані 38 мм, осідання 20 мм, шаблон 1545 та відбій 8 мм, швидкість руху менше встановленої
Львівська	263	34	50	17	ВЛ11	відвід рівня 12‰, неякісна обробка колісної пари по чистоті, поверхня не відповідає профільному шаблону, швидкість руху менше встановленої
Львівська	276	50	40	12	2М62	7 мм відступи по шаблону на 1 п. м. мала швидкість поїзда, швидкість руху менше встановленої
Львівська	297	0	25	15	ВЛ80	боковий знос гостряка стрілочного переводу (дані про величину бокового зносу у справі відсутні)
Львівська	297	0	25	10	піввагон	боковий знос гостряка стрілочного переводу (дані про величину зносу у справі відсутні)
Львівська	300	0	40	5	ВЛ11	неякісна виправка стрілочного переводу по відводу рівня 8‰
Львівська	300	10	40	15	піввагон	кут у плані 35 мм, швидкість руху менше встановленої

Продовження табл. А.1.

Залізниця	Радіус, м	Підви- щення, мм	Швидкість, км/год		Вид рухомого складу, що зійшов	Причина
			вста- новлена	факти- чна		
Львівська	335	90	40	33	автомобілевоз	куті у плані 15 мм за 35 м до місця сходу, та наявність довгобазового вагону
Львівська	400	0	25	12	2М62	боковий знос гостряка 8 мм на стрілочному переводі, наявність полки на відстані 1,5 м, вищерблювання гостряка довжиною 5 мм та глибиною 3–4 мм, швидкість руху менше встановленої
Львівська	480	50	25	12	ВЛ80	швидкість руху менше встановленої
Львівська	650	90	120/100	60	кран грейферний	причина відсутня
Львівська	пряма	0	40	15	піввагон, платформа	зворотний рівень, швидкість руху менше встановленої
Одеська	285	20	15	10	ЧМЕЗ	не вписування в криву малого радіусу, перекіс 40 мм
Одеська	286	40	15	10	ЧМЕЗ	відступ від норм утримання по ширині у кривій ділянці колії
Одеська	300	–10	15	12	ВЛ80	відхилення утримання колії
Одеська	300	20	25	15	ВЛ80	відсутність плавного відводу по рівню 37 мм та нерівномірний знос від 5 до 10,5 мм
Одеська	300	60	40	22	ВЛ80	відступ від норм утримання колії у плані і наявність шорсткості на внутрішній грані головки рейки
Одеська	300	–	25	10	ВЛ60	відступ від норм утримання ширини колії 1548 мм, відбій 15 мм

Продовження табл. А.1.

Залізниця	Радіус, м	Підвищення, мм	Швидкість, км/год		Вид рухомого складу, що зійшов	Причина
			вста- новлена	факти- чна		
Одеська	365	20	15	10	ЧМЕЗ	кут у плані
Одеська	1373	80	80	60	вагон	відсутність плавного відводу, відступ від норм утримання по ширині та наявність перекосу
Одеська	без проекту	–	25	10	ЧС4	відхилення по рівню 18 мм, недотримання плавності відводу розширення
Південна	88	76	3	5	ЧМЕЗ	відступів від норм утримання колії не виявлено, перевищення швидкості
Південна	178	18	5	5	ЧМЕЗ	відступи від норм утримання відводу підвищення
Південна	193	79	15	6	ЧМЕЗ	кут у плані, звуження шаблону від нормативного 1535 мм на відстані 1м на 10 мм
Південна	200	–	15	10	ЭР2	відступ від норм утримання колії за рівнем перевідної кривої, та наявність бокового зносу
Південна	200	10	5	4	вагон	недостатнє підвищення зовнішньої рейки у кривій ділянці
Південна	200	50	15	12	ЧМЕЗ	кут у плані у зварному стику, відступи від норм утримання відводу підвищення
Південна	279	38	5	3	ЧМЕЗ	невписування колісної пари в S–образну криву малого радіусу
Південна	645	58	5	3	вагон сажовоз	зворотнє підвищення зовнішньої рейки
Південно-Західна	78	34	15	7	ЧМЕЗ	невідповідність радіусу кривої вписуванню бази локомотива

Продовження табл. А.1.

Залізниця	Радіус, м	Підвищення, мм	Швидкість, км/год		Вид рухомого складу, що зійшов	Причина
			вста- новлена	факти- чна		
Південно-Західна	108	12	15	8	цистерни	відхилення утримання колії, стріли вигину 18 мм на кожному метрі
Південно-Західна	120	52	15	10	вагон-думпкар	невідповідність радіусу кривої та порушення центру тяжіння при погрузці вантажу
Південно-Західна	138	40	15	10	пас вагон	сукупність факторів, відступи у стрілах прогину, недостатній кут повороту візка вагону
Південно-Західна	139	40	40	дані відсутні	ЧМЕЗ	відхилення у візку локомотива
Південно-Західна	151	20	5	дані відсутні	ЧМЕЗ	незадовільне вписування візка тепловоза
Південно-Західна	160	20	25	дані відсутні	ЧМЕЗ	незадовільне вписування візка тепловоза
Південно-Західна	163	20	40	дані відсутні	ЧМЕЗ	відхилення у візку локомотива
Південно-Західна	175		20	5	ЧМЕЗ	незадовільне вписування візка тепловоза, вкочування гребеня на голівку
Південно-Західна	175	30	5	5	ЧМЕЗ	незадовільне вписування візка тепловоза
Південно-Західна	200	28	15	10	цистерна	відхилення утримання колії
Південно-Західна	200	50	5	5	М62	невписування колісної пари
Південно-Західна	220		15	11	ЧМЕЗ	зворотне підвищення зовнішньої рейки

Продовження табл. А.1.

Залізниця	Радіус, м	Підвищення, мм	Швидкість, км/год		Вид рухомого складу, що зійшов	Причина
			встановлена	фактична		
Південно-Західна	250		15	15	цистерни з бензином, вагон, піввагон	перевантаження вагонів з вугіллям
Південно-Західна	250	30	15	4	ЧМЕЗ	невідповідність відводу підвищення по рівню
Південно-Західна	250	4	40	15	локомотив	викришування голівки гостряка, та наявність гострого напливу на гребні колеса локомотиву
Південно-Західна	251	70	60	5	струг СС-1М	порушення експлуатації машини
Південно-Західна	267	10	5	4	ЧМЕЗ	незадовільне вписування візка тепловоза
Південно-Західна	280	30	15	5	ЧМЕЗ	невідповідність відводу підвищення по рівню
Південно-Західна	286	30	25	15	вагон	зміщення вантажу
Південно-Західна	300	30	15	13	ВЛ80	недостатня міцність дерев'яних шпал
Південно-Західна	350	30	15	10	ЧМЕЗ	невідповідність відводу підвищення по рівню
Південно-Західна	390		15	8	піввагон	зворотне підвищення зовнішньої рейки
Південно-Західна	403	104	80	11	господарський поїзд	порушення технічних умов транспортування
Південно-Західна	806	110	100	29	пас вагон	відхилення утримання колії

Продовження табл. А.1.

Залізниця	Радіус, м	Підвищення, мм	Швидкість, км/год		Вид рухомого складу, що зійшов	Причина
			встановлена	фактична		
Південно-Західна	1110	80	120/80	—	вагон	незадовільний ремонт вагону
Південно-Західна	2000	70	100/80	45	КЖДЕ-16	порушення технічних умов транспортування, та кріплення робочих органів
Південно-Західна	2000	10	15	3	локомотив	неякісне поточне утримання колії
Південно-Західна	дані відсутні		30	25	3 пас вагони	незадовільне вписування колісної пари
Придніпровська	200	4	15	5	ЧМЕЗ	невписування колісної пари тепловозу
Придніпровська	200	10	25	20.5	піввагон	невписування колісної пари через перекіс 24 мм, зворотне підвищення 23 мм, осідання 23 мм
Придніпровська	605	130	70	70	цистерна	відступ у плані та по ширині, зазори в стиках до 26 мм, завищений на 2 мм сумарний зазор повзунів вагона
Придніпровська	856	100	70	50	цистерна	сукупність факторів: кут у плані в стику, провисання на 6 шпалах до 7 мм та інші фактори

ДОДАТОК Б
СТАН КОЛІЇ В КРИВИХ ДІЛЯНКАХ
ЗА ДАНИМИ ВАГОНІВ-КОЛІЄВИМІРЮВАЧІВ

Таблиця Б.1.

Відхилення в стані кривих III – IV ступенів за рівнем

№ п/п	Радіус	Довжина	Швидкість		Підвищення		Ступені відступів		
			встан	факт	норм	факт	III	IV	V
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Криві ділянки радіусом менше 180 м									
1	165	128	25	25	40	40		1	
2	174	281	40	40	60	80		1	
3	191	159	40	40	60	60	1	2	2
4	172	246	40	40	60	70	2		
5	175	122	40	40	60	60		1	3
6	174	290	40	40	60	100	3	2	1
7	660	154	40	40	50-60	70-90	1	1	
8	175	270	40	40	50-60	70-90	1		
9	173	275	40	40	60	60	3		
Разом							11	8	6
Криві ділянки радіусом від 180 м до 200 м									
1	182	175	40	40	60	58	2	1	
2	182	395	40	40	60	80	2		1
3	190	275	40	40	70	70	3	2	
Разом							7	3	1
Криві ділянки радіусом від 200 м до 299 м									
1	242	156	60	60	80	85	2	3	
2	252	135	40	40	70	87	2		1
3	245	323	70	70	100	95	1		
4	250	335	60	60	80	100	1		
5	245	274	60	60	85	85	1		
6	240	355	60	60	80	100		1	1
7	245	308	60	60	70	100	3		
8	249	682	60	60	70	110	2	3	
9	220	174	60	60	85	90	1	1	2
10	280	235	60	60	80	100	2		1
11	245	349	60	60	70	80	3	1	1
12	240	236	50	50	60	100	2	2	1
13	200	266	50	50	60	95	1		1
14	220	356	50	50	80	90	2	1	1
15	260	144	50	50	60	100		2	1
16	204	434	50	50	70	90	6	2	1
17	200	143	50	50	80	90	2	1	1
18	220	183	50	50	80	80		1	

Продовження табл. Б.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
19	230	236	60	60	80	65	2	1	
20	250	218	60	60	70	70	4	1	
21	235	122	60	60	90	70	1	1	
22	271	182	60	60	70	70	1	1	
23	246	374	60	60	110	110	2	1	
24	250	392	60	60	100	100	1		
25	250-200	537	40	40	60	70	4		
26	250-245	581	60	60	80	70	4		
27	240-251-230	609	60	60	80	80	1		
28	220-225	565	60	60	90	90	4	2	5
29	295	392	60	60	80	80			1
30	295-305-290	673	60	60	70	70	3		3
31	230	23	60	60	40	10		1	1
32	200	283	40	40	60	60	1		
33	200	255	40	40	60	80		1	1
34	200	205	40	40	70	70		1	
35	400-650-298	475	40	40	50	55	5	1	1
36	280	140	40	40	60	80	1		2
37	260	126	40	40	60	80			
38	200	250	40	40	70	90			
39	200	230	40	40	70	90	1		
40	200	218	40	40	70	90		2	
41	245	170	40	40	60	60	2		
42	290-565-280	500	40	40	40	40			
43	205	92	40	40	40	40	1	1	1
44	290	90	40	40	50	50	1	1	
45	202	138	40	40	60	70	1	1	
46	220	162	40	40	60	70	2	1	1
47	290	140	40	40	60	50	1	3	
48	235	262	40	40	50	60	2	1	
49	240	56	40	40	20	20	1		
50	240-200	183	40	40	55	50	3		
51	230-255	430	40	40	25-50	25-65	6	1	
52	247	390	40	40	60	69	5		1
53	275	493	40	40	60	90	5	2	2
54	200	545	40	40	70	65	6	2	1
55	240	146	40	40	50	40	1	1	2
56	200	372	40	40	70	70	2	1	
57	250	449	40	40	50	50	3		
58	250	410	40	40	70	50	3	1	
59	275	749	40	40	70	90	4	2	
60	249	400	40	40	70	70	4	1	
61	295	343	40	40	70	70		2	
62	250	251	40	40	80	80	5	1	

Закінчення табл. Б.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
63	250	224	40	40	70	90			
64	250	281	40	40	50	70	1	2	
65	250	375	40	40	60	85	2	2	
66	255–245	430	25	25	55	70	4	1	
67	250	354	25	25	55	80	2		1
68	230	181	25	25	50	56	2		
69	262	395	40	40	55	70	2		
70	240	255	40	40	60	100	2	1	
71	245	386	50	50	70	70			
72	250	279	50	50	70	70			
73	250	285	50	50	80	100			
74	251	329	50	50	80	100	2	1	1
75	290	168	50	50	60	70		2	
76	240	175	50	50	65	60	1	2	
77	225	169	50	50	45	55	2	1	1
78	200	273	50	50	60	70	3	2	
79	200	293	50	50	60	75	2	2	
80	202	372	40	40	50	70	3	2	
Разом							152	71	37
Криві ділянки радіусом від 300 м до 350 м									
1	350	392	60	60	70	79	4	2	1
2	300	211	60	60	80	100	1	1	
3	300	218	70	70	90	90			
4	300	604	60	60	85	90	8	3	1
5	300–500	226	60	60	60	60	2		1
6	300	99	60	60	70	70	1		
7	300	243	60	60	80	80	1		
8	300	243	60	60	80	86			
9	300	410	40	40	60	65	1		
10	300	284	40	40	60	70	2		
11	300	320	60	60	70	80			
12	300	85	40	40	30	30	1		
13	340	262	40	40	30	45	1		
14	680–327	560	40	40	50	60	6	3	1
15	300	230	40	40	60	80		1	
16	345	265	40	40	60	60	2	1	
17	345	253	40	40	55	52	3		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
18	300	424	40	40	65	65	1	1	
19	300	154	40	40	55	50	1		
20	330	134	40	40	50	80	2		
21	330	83	40	40	50	50	1		
22	320	243	40	40	40	40			
Разом							38	12	4

Таблиця Б.2.

Відхилення в стані кривих III – IV ступенів за напрямом у плані

№ п/п	Радіус	Довжина	Швидкість		Підвищення		Ступені відступів		
			встан	факт	норм	факт	III	IV	V
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Криві ділянки радіусом менше 180 м									
1	165	128	25	25	40	40	1	3	
2	174	281	40	40	60	80	1	2	3
3	191	159	40	40	60	60	1	2	1
4	172	246	40	40	60	70	3	2	
5	175	122	40	40	60	60	1	2	1
6	174	290	40	40	60	100	3	2	2
7	660	154	40	40	50-60	70-90	1	2	1
8	175	270	40	40	50-60	70-90	2	1	3
9	173	275	40	40	60	60	3		2
Разом							16	16	13
Криві ділянки радіусом від 180 м до 200 м									
1	182	175	40	40	60	58	3	3	
2	182	395	40	40	60	80	1	1	1
3	190	275	40	40	70	70		1	
Разом							4	5	1
Криві ділянки радіусом від 200 м до 299 м									
1	242	156	60	60	80	85	2	3	
2	252	135	40	40	70	87	2	2	1
3	245	323	70	70	100	95	2	3	1
4	250	335	60	60	80	100	2	1	
5	245	274	60	60	85	85	2	3	2
6	240	355	60	60	80	100	2	2	1
7	245	308	60	60	70	100	3	1	3
8	249	682	60	60	70	110	7	5	5
9	220	174	60	60	85	90		1	
10	280	235	60	60	80	100	1	2	1
11	245	349	60	60	70	80		2	1
12	240	236	50	50	60	100	3	3	
13	200	266	50	50	60	95	1	3	
14	220	356	50	50	80	90	3	2	1
15	260	144	50	50	60	100		2	
16	204	434	50	50	70	90	2	3	
17	200	143	50	50	80	90		1	
18	220	183	50	50	80	80			
19	230	236	60	60	80	65	1	1	
20	250	218	60	60	70	70	2		
21	235	122	60	60	90	70	2		1
22	271	182	60	60	70	70			
23	246	374	60	60	110	110	3	3	1

Продовження табл. Б.2.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
24	250	392	60	60	100	100	2	3	
25	250-200	537	40	40	60	70	4	1	
26	250-245	581	60	60	80	70		2	
27	240-251-230	609	60	60	80	80	2	4	2
28	220-225	565	60	60	90	90	3	2	7
29	295	392	60	60	80	80		1	
30	295-305-290	673	60	60	70	70		3	9
31	230	23	60	60	40	10		1	
32	200	283	40	40	60	60			
33	200	255	40	40	60	80			
34	200	205	40	40	70	70	1		
35	400-650-298	475	40	40	50	55	1	3	2
36	280	140	40	40	60	80	2	2	1
37	260	126	40	40	60	80	2	2	
38	200	250	40	40	70	90	1	1	
39	200	230	40	40	70	90		1	3
40	200	218	40	40	70	90			
41	245	170	40	40	60	60		2	1
42	290-565-280	500	40	40	40	40	4	3	
43	205	92	40	40	40	40			
44	290	90	40	40	50	50	2	1	
45	202	138	40	40	60	70	1	1	
46	220	162	40	40	60	70	2	1	
47	290	140	40	40	60	50		2	2
48	235	262	40	40	50	60	3	4	
49	240	56	40	40	20	20	1	1	
50	240-200	183	40	40	55	50	3	2	1
51	230-255	430	40	40	25-50	25-65			
52	247	390	40	40	60	69	4	4	1
53	275	493	40	40	60	90	4	3	
54	200	545	40	40	70	65	6	2	1
55	240	146	40	40	50	40	1	2	
56	200	372	40	40	70	70	3	1	
57	250	449	40	40	50	50	5	3	1
58	250	410	40	40	70	50	5		1
59	275	749	40	40	70	90	8		
60	249	400	40	40	70	70	4	4	
61	295	343	40	40	70	70	2	3	
62	250	251	40	40	80	80	3	2	1
63	250	224	40	40	70	90	1	1	1
64	250	281	40	40	50	70	5	3	
65	250	375	40	40	60	85	6	5	3
66	255-245	430	25	25	55	70	1	2	1
67	250	354	25	25	55	80	3		

Закінчення табл. Б.2.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
68	230	181	25	25	50	56	3	1	
69	262	395	40	40	55	70	1	1	
70	240	255	40	40	60	100	3	1	
71	245	386	50	50	70	70			
72	250	279	50	50	70	70			
73	250	285	50	50	80	100			
74	251	329	50	50	80	100	2	3	
75	290	168	50	50	60	70		3	
76	240	175	50	50	65	60	1	1	1
77	225	169	50	50	45	55	1		
78	200	273	50	50	60	70	3	2	
79	200	293	50	50	60	75	2	3	1
80	202	372	40	40	50	70	2	4	
Разом							153	140	58
Криві ділянки радіусом від 300 м до 350 м									
1	350	392	60	60	70	79	6	1	
2	300	211	60	60	80	100	2	1	
3	300	218	70	70	90	90	1	3	
4	300	604	60	60	85	90	5	4	
5	300-500	226	60	60	60	60	1	2	
6	300	99	60	60	70	70	1		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
7	300	243	60	60	80	80	2	1	1
8	300	243	60	60	80	86	1	1	1
9	300	410	40	40	60	65	3	2	
10	300	284	40	40	60	70	3	1	
11	300	320	60	60	70	80	2	1	
12	300	85	40	40	30	30	1	1	1
13	340	262	40	40	30	45	3	3	
14	680-327	560	40	40	50	60	6	2	
15	300	230	40	40	60	80	2	1	
16	345	265	40	40	60	60	3	1	
17	345	253	40	40	55	52	3	1	
18	300	424	40	40	65	65	2	2	1
19	300	154	40	40	55	50	2		1
20	330	134	40	40	50	80	1	3	
21	330	83	40	40	50	50	1	1	
22	320	243	40	40	40	40	1		
Разом							52	32	5

Відхилення в стані кривих III – IV ступенів за шириною колії

№ п/п	Радіус	Довжина	Швидкість		Підвищення		Ступені відступів		
			встан	факт	норм	факт	III	IV	V
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Криві ділянки радіусом менше 180 м									
1	165	128	25	25	40	40			1
2	174	281	40	40	60	80			
3	191	159	40	40	60	60			
4	172	246	40	40	60	70			
5	175	122	40	40	60	60			
6	174	290	40	40	60	100	1		
7	660	154	40	40	50-60	70-90		1	
8	175	270	40	40	50-60	70-90			
9	173	275	40	40	60	60			
Разом							1	1	1
Криві ділянки радіусом від 180 м до 200 м									
1	182	175	40	40	60	58	1		
2	182	395	40	40	60	80			
3	190	275	40	40	70	70	3		
Разом							4	0	0
Криві ділянки радіусом від 200 м до 299 м									
1	242	156	60	60	80	85	1		
2	252	135	40	40	70	87			
3	245	323	70	70	100	95			2
4	250	335	60	60	80	100			2
5	245	274	60	60	85	85	1		
6	240	355	60	60	80	100			
7	245	308	60	60	70	100			2
8	249	682	60	60	70	110			2
9	220	174	60	60	85	90		1	2
10	280	235	60	60	80	100			
11	245	349	60	60	70	80			1
12	240	236	50	50	60	100			1
13	200	266	50	50	60	95			2
14	220	356	50	50	80	90			
15	260	144	50	50	60	100			
16	204	434	50	50	70	90			5
17	200	143	50	50	80	90			3
18	220	183	50	50	80	80		1	
19	230	236	60	60	80	65			
20	250	218	60	60	70	70	1		
21	235	122	60	60	90	70			
22	271	182	60	60	70	70		1	
23	246	374	60	60	110	110			

Продовження табл. Б.3.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
24	250	392	60	60	100	100			
25	250-200	537	40	40	60	70			
26	250-245	581	60	60	80	70			
27	240-251-230	609	60	60	80	80	2	2	
28	220-225	565	60	60	90	90	2	1	
29	295	392	60	60	80	80		2	
30	295-305-290	673	60	60	70	70	1	2	
31	230	23	60	60	40	10			
32	200	283	40	40	60	60			
33	200	255	40	40	60	80			
34	200	205	40	40	70	70			
35	400-650-298	475	40	40	50	55	1	2	
36	280	140	40	40	60	80			
37	260	126	40	40	60	80	1		
38	200	250	40	40	70	90			
39	200	230	40	40	70	90	1	1	
40	200	218	40	40	70	90			
41	245	170	40	40	60	60	1		
42	290-565-280	500	40	40	40	40			
43	205	92	40	40	40	40			
44	290	90	40	40	50	50			
45	202	138	40	40	60	70			
46	220	162	40	40	60	70			
47	290	140	40	40	60	50			3
48	235	262	40	40	50	60			
49	240	56	40	40	20	20	1	1	
50	240-200	183	40	40	55	50			
51	230-255	430	40	40	25-50	25-65			
52	247	390	40	40	60	69			
53	275	493	40	40	60	90			
54	200	545	40	40	70	65			
55	240	146	40	40	50	40			
56	200	372	40	40	70	70			
57	250	449	40	40	50	50			
58	250	410	40	40	70	50			
59	275	749	40	40	70	90			
60	249	400	40	40	70	70	1		
61	295	343	40	40	70	70			
62	250	251	40	40	80	80			
63	250	224	40	40	70	90			
64	250	281	40	40	50	70			
65	250	375	40	40	60	85	1	1	
66	255-245	430	25	25	55	70		2	
67	250	354	25	25	55	80			

Закінчення табл. Б.3.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
68	230	181	25	25	50	56			
69	262	395	40	40	55	70			
70	240	255	40	40	60	100	1		
71	245	386	50	50	70	70			
72	250	279	50	50	70	70			
73	250	285	50	50	80	100			
74	251	329	50	50	80	100			
75	290	168	50	50	60	70			
76	240	175	50	50	65	60			
77	225	169	50	50	45	55			
78	200	273	50	50	60	70	2		
79	200	293	50	50	60	75			
80	202	372	40	40	50	70	4		
Разом							22	17	25
Криві ділянки радіусом від 300 м до 350 м									
1	350	392	60	60	70	79			
2	300	211	60	60	80	100			2
3	300	218	70	70	90	90			5
4	300	604	60	60	85	90	2	2	1
5	300-500	226	60	60	60	60	1		
6	300	99	60	60	70	70			
7	300	243	60	60	80	80			
8	300	243	60	60	80	86			
9	300	410	40	40	60	65			
10	300	284	40	40	60	70			
11	300	320	60	60	70	80			
12	300	85	40	40	30	30	1		
13	340	262	40	40	30	45	1	1	
14	680-327	560	40	40	50	60	2		
15	300	230	40	40	60	80			
16	345	265	40	40	60	60			
17	345	253	40	40	55	52			
18	300	424	40	40	65	65	3	3	
19	300	154	40	40	55	50			
20	330	134	40	40	50	80			
21	330	83	40	40	50	50	1		
22	320	243	40	40	40	40	3		
Разом							14	6	8

Таблиця Б.4.

Відхилення в стані кривих III – IV ступенів по осіданнях рейкової нитки

№ п/п	Радіус	Довжина	Швидкість		Підвищення		Ступені відступів		
			встан	факт	норм	факт	III	IV	V
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Криві ділянки радіусом менше 180 м									
1	165	128	25	25	40	40	1		
2	174	281	40	40	60	80			
3	191	159	40	40	60	60	1		
4	172	246	40	40	60	70	1		
5	175	122	40	40	60	60	1		
6	174	290	40	40	60	100			
7	660	154	40	40	50-60	70-90			
8	175	270	40	40	50-60	70-90	2		
9	173	275	40	40	60	60			
Разом							6	0	0
Криві ділянки радіусом від 180 м до 200 м									
1	182	175	40	40	60	58	1		
2	182	395	40	40	60	80			
3	190	275	40	40	70	70			
Разом							1	0	0
Криві ділянки радіусом від 200 м до 299 м									
1	242	156	60	60	80	85	2	1	
2	252	135	40	40	70	87	2		
3	245	323	70	70	100	95			
4	250	335	60	60	80	100			
5	245	274	60	60	85	85	2		
6	240	355	60	60	80	100			
7	245	308	60	60	70	100	2		
8	249	682	60	60	70	110			
9	220	174	60	60	85	90			
10	280	235	60	60	80	100			
11	245	349	60	60	70	80	1		
12	240	236	50	50	60	100			
13	200	266	50	50	60	95			
14	220	356	50	50	80	90			
15	260	144	50	50	60	100			
16	204	434	50	50	70	90			
17	200	143	50	50	80	90			
18	220	183	50	50	80	80			
19	230	236	60	60	80	65			
20	250	218	60	60	70	70	1		
21	235	122	60	60	90	70			
22	271	182	60	60	70	70			
23	246	374	60	60	110	110			

Продовження табл. Б.4.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
24	250	392	60	60	100	100			
25	250-200	537	40	40	60	70			
26	250-245	581	60	60	80	70			
27	240-251-230	609	60	60	80	80	1		
28	220-225	565	60	60	90	90	4		
29	295	392	60	60	80	80			
30	295-305-290	673	60	60	70	70	6	1	
31	230	23	60	60	40	10			
32	200	283	40	40	60	60	1	1	
33	200	255	40	40	60	80	1		
34	200	205	40	40	70	70			
35	400-650-298	475	40	40	50	55	1		
36	280	140	40	40	60	80	1		
37	260	126	40	40	60	80			
38	200	250	40	40	70	90			
39	200	230	40	40	70	90			
40	200	218	40	40	70	90			
41	245	170	40	40	60	60			
42	290-565-280	500	40	40	40	40			
43	205	92	40	40	40	40			
44	290	90	40	40	50	50			
45	202	138	40	40	60	70			
46	220	162	40	40	60	70			
47	290	140	40	40	60	50			
48	235	262	40	40	50	60			
49	240	56	40	40	20	20	1		
50	240-200	183	40	40	55	50	2		
51	230-255	430	40	40	25-50	25-65			
52	247	390	40	40	60	69	1		
53	275	493	40	40	60	90	7	2	
54	200	545	40	40	70	65	4		
55	240	146	40	40	50	40	2		
56	200	372	40	40	70	70	1		
57	250	449	40	40	50	50	2		
58	250	410	40	40	70	50	2		
59	275	749	40	40	70	90			
60	249	400	40	40	70	70	2	1	
61	295	343	40	40	70	70			
62	250	251	40	40	80	80	7		
63	250	224	40	40	70	90	2		
64	250	281	40	40	50	70	3		
65	250	375	40	40	60	85	1		
66	255-245	430	25	25	55	70			
67	250	354	25	25	55	80			

Закінчення табл. Б.4.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
68	230	181	25	25	50	56			
69	262	395	40	40	55	70			
70	240	255	40	40	60	100			
71	245	386	50	50	70	70			
72	250	279	50	50	70	70			
73	250	285	50	50	80	100			
74	251	329	50	50	80	100			
75	290	168	50	50	60	70			
76	240	175	50	50	65	60	1		
77	225	169	50	50	45	55	1		
78	200	273	50	50	60	70			
79	200	293	50	50	60	75			
80	202	372	40	40	50	70	1		
Разом							65	6	0
Криві ділянки радіусом від 300 м до 350 м									
1	350	392	60	60	70	79	1		
2	300	211	60	60	80	100			
3	300	218	70	70	90	90			
4	300	604	60	60	85	90			
5	300-500	226	60	60	60	60			
6	300	99	60	60	70	70			
7	300	243	60	60	80	80			
8	300	243	60	60	80	86			
9	300	410	40	40	60	65			
10	300	284	40	40	60	70			
11	300	320	60	60	70	80			
12	300	85	40	40	30	30	1	1	
13	340	262	40	40	30	45			
14	680-327	560	40	40	50	60	7		
15	300	230	40	40	60	80	1		
16	345	265	40	40	60	60			
17	345	253	40	40	55	52			
18	300	424	40	40	65	65	2		
19	300	154	40	40	55	50			
20	330	134	40	40	50	80			
21	330	83	40	40	50	50	1		
22	320	243	40	40	40	40			
Разом							13	1	0

ДОДАТОК В

В.1 Суцільне регулювання ширини колії на 7 мм за рахунок розвороту підкладки СКД65-Б на 180°

Виконується при застосуванні шпал Ш-1-1 тоді, якщо вже виконане суцільне регулювання ширини колії на 7 мм за допомогою карток внутрішньої рейкової нитки, але колія знову розширилася і потребує звуження.

На період виконання робіт із регулювання ширини колії швидкість руху поїздів обмежується до 25 км/год.

Для суцільного звуження колії необхідно повернути у вузлах скріплення підкладку зміщеною ребордою всередину колії, а весь набір карток товщиною 7 мм необхідно вкласти із зовнішньої сторони рейки. Нагадаємо, що до повороту підкладок регулювальні картки знаходяться із зовнішньої (польової) сторони рейки.

У напрямку від початку кривої, всю довжину ділянки ділять на відрізки довжиною по три шпали.

Потім, на всій довжині кривої у кожному вузлі скріплення внутрішньої рейкової нитки підкладку скріплення СКД65-Б розвертають на 180°.

Порядок дій по розвороту підкладок такий.

Всі клемні і закладні болти змащуються.

На трьох підряд розташованих шпалах розкручуються клемні і закладні болти.

На сусідніх трьох шпалах клемні вузли послаблюються до отримання люфту в 1-2 мм між клемою і поверхнею підшви рейки. Вилучення однієї підкладки виконується почергово двома монтерами колії. Один монтер колії за допомогою домкрату або лома підважує рейку, а другий вилучає підкладку із під рейки, розвертає її на 180° і ставить у вузол скріплення.

Закладні болти закручуються на нормативний крутний момент 150 Нм. Картки у демонтовані вузли не ставляться.

Клемні болти закручуються лише на 3-й шпалі з трьох раніше демонтованих із улаштуванням люфта між клемою і поверхнею підосви рейки. Такі дії виконуються на всіх ділянках довжиною по три шпалопрोगони, поступово йдучи від початку до кінця кривої.

У результаті отримаємо колію тієї ж ширини 1545 мм, що й була раніше. Внутрішня нитка колії буде закріплена кожним клемним вузлом на кожній третій шпалі із люфтом між клемою і поверхнею підосви рейки.

Регулюючі картки у вузлах відсутні і знаходяться на поверхні шпал.

Після цього для звуження колії рейка зміщується у середину колії, а в демонтовані вузли на двох шпалах із кожних трьох пошарово вкладаються картки з польової сторони рейки.

На першому етапі вкладаються картки першого шару товщиною 3 мм. Клемні вузли не закріплюються.

На другому і третьому етапах вкладаються картки товщиною по 2 мм.

Після вкладання у вузол усього набору карток на двох шпалах із кожних трьох клемні болти закручуються на крутний момент $M_{кр}=200$ Нм.

Після цього розкручуються клемні вузли кожної третьої шпали і з польової сторони ставиться увесь набір карток товщиною 7 мм, а клемні вузли закручуються на $M_{кр}=200$ Нм.

Роботу виконує бригада з шести монтерів колії під керівництвом бригадира.

В.2 Суцільне регулювання ширини колії на 7 мм за допомогою карток зовнішньої рейкової нитки

Застосовується в колії зі скріпленнями СКД65-Б. Виконується у тому випадку, коли використані можливості внутрішньої рейкової нитки, картки якої знаходяться з польової сторони внутрішньої рейки, підкладки розвернуті зміщеною ребордою у середину колії, а ширина колії на всій довжині кривої досягла 1545 мм. Картки зовнішньої рейки знаходяться у середині колії і можуть бути використані для звуження колії.

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБІТ:

1. При виконанні робіт із регулювання ширини колії швидкість руху поїздів обмежується до 25 км/год. Крива поділяється на ділянки довжиною по три шпали.

2. На зовнішній рейковій нитці розкручуються і змащуються клемні болти на кожній 3-й шпалі, починаючи від початку кругової кривої, картки із вузла вилучаються і кладуться на поверхню шпали у середину колії. Клемні болти закручуються із залишком люфту між клемою і верхньою поверхнею підосви рейки, який би дозволяв переміщувати рейку і підрейкову прокладку в межах реборд підкладки на 7 мм.

3. Демонтуються та змащуються клемні вузли на решті шпал (двох шпалах із кожних трьох), вилучаються із вузла скріплення картки і кладуться на поверхню шпали у середину колії. Підрейкові прокладки у вузлах скріплення переміщуються від польової реборди підкладки до внутрішньої, щоб потім безперешкодно поставити зняті раніше картки між бічною гранню підосви рейки і польовою ребордою підкладки.

4. На двох шпалах із кожних трьох, де розкручені клемні болти у вузлі скріплення, вкладаються картки в 3 кроки.

Перший крок. Послідовно рихтуючи рейку всередину колії, вставляємо лише одну картку товщиною 3 мм у вузол скріплення з польової сторони рейки між ребордою підкладки і бічною гранню підосви рейки. Вузли скріплення не закріплюються.

Другий крок. Коли на всій довжині картки товщиною 3 мм поставлені, знову рихтується рейка і у демонтовані вузли скріплення послідовно вставляються лише по одній картці товщиною 2 мм. Вузли скріплення не закріплюються.

Третій крок. По аналогії першим двом етапам у вузол ставлять останню картку товщиною 2 мм.

Лише після цього клемні болти вузлів скріплення на 1-й і 2-й шпалі із кожних трьох закріплюють на величину нормативного крутного моменту $M_{кр}=200$ Нм.

5 Демонтуються вузли клемних болтів на кожній 3-й шпалі, ставиться у вузол із польової сторони рейки одночасно весь набір карток товщиною 7 мм і закріплюється клемний вузол на крутний момент $M_{кр}=200$ Нм.

Роботу виконує бригада з шести монтерів колії під керівництвом бригадира.

В.3 Суцільне регулювання ширини колії зі скріпленням СКД65-Б на звуження 14 мм

Застосовується при використанні скріплення СКД65-Б. Виконується на всій довжині кривої ділянки колії, якщо її ширина складає 1545 мм і більше. Регулювання виконується шляхом зміщення внутрішньої або зовнішньої рейки шляхом розвороту підкладки СКД65-Б на 180° та набором регулювальних карток одночасно.

Для виконання робіт рух поїздів припиняється.

Якщо регулювання виконується за рахунок зміщення внутрішньої рейки, вузли скріплень внутрішньої рейки повністю демонтуються.

Стикові скріплення не демонтуються. Підкладки розвертаються на 180°. Закладні болти змащуються і закріплюються на нормативний крутний момент $M_{кр}=150$ Нм. У вузли скріплень розкладають підрейкові прокладки. Внутрішня нитка ставиться у гніздо вузла скріплення і закріплюється на кожній 5-й шпалі із люфтом (зазором) між клемою і поверхнею подошви рейки. Після цього у напрямку від середини колії ліворуч і праворуч у демонтовані вузли ставиться у вузол весь набір карток товщиною 7 мм із польової сторони рейки. Для цього рейка і підрейкова прокладка спочатку зміщуються у середину колії для створення зазору між рейкою та ребордою підкладки.

На шпалах з демонтованими клемними вузлами клемні болти закріплюються на крутний момент $M_{кр}=200$ Нм. На останок розкручуються послаблені клемні болти 5-ої шпали, ставиться весь набір карток товщиною 7 мм і монтується з крутним моментом $M_{кр}=200$ Нм.

Якщо суцільне регулювання у такий спосіб виконувалось по зовнішній рейковій нитці, необхідно виконати виправку колії у плані за розрахунком. Після контрольних вимірів виконується локальне регулювання ширини колії.

В.4 Локальне регулювання ширини колії на звуження картками скріплення СКД65-Б

Локальним назвемо регулювання ширини колії на величину до 7-14 мм на частині кривої ділянки колії.

Локальне регулювання на звуження можливе у випадку, коли картки скріплення СКД65-Б знаходяться всередині колії по одній або двох рейкових нитках кривої.

Наприклад, якщо від розладу чи зношення окремих елементів рейкошпальної решітки колія на деякій довжині кривої розширилася до 1545 мм, то можна звужувати ширину колії картками як однієї нитки, так і обох одночасно на величину до 14 мм.

Розглянемо локальне регулювання ширини колії картками внутрішньої рейкової нитки, які знаходяться в середині колії.

ПОРЯДОК РЕГУЛЮВАННЯ НАСТУПНИЙ:

При виконанні робіт із регулювання ширини колії швидкість руху поїздів слід обмежити до 25 км/год.

Спочатку виконується виправка кривої у плані за відповідними розрахунками. Обов'язково перед рихтуванням зовнішню рейкову нитку слід надійно закріпити, тобто клемні і закладні болти докрутити до величини нормативного крутного моменту 200 та 150 Нм відповідно.

Потім виконуються необхідні виміри та обчислення.

На ділянці колії з несправною шириною колії вимірюється ширина колії у перерізі кожної шпали, встановлюється величина необхідного звуження колії ΔS на кожній шпалі, яке записується крейдою на поверхні шпали.

Приклад

На ділянці колії у зоні кривої виконані виміри колії в перерізі кожної шпали.

Зі схеми (рис. В.1) видно, що ширина колії на всій кривій складає 1538 мм, окрім ділянки **a - b** у межах шпал №4 - №10. Мабуть, що на ділянці **a - b** доцільно після регулювання створити колію теж шириною 1538 мм. Визначається величина регулювання ширини колії у перерізі кожної шпали. Оскільки на шпалі №4 $S_4 = 1540$ мм, то величина необхідного звуження $\Delta S_4 = S_4 - 1538 = 1540 - 1538 = 2$ мм. За аналогією знаходимо величини необхідного звуження колії у перерізах інших шпал ділянки **a - b**:

$$\Delta S_5 = S_5 - 1538 = 1545 - 1538 = 7 \text{ мм};$$

$$\Delta S_6 = S_6 - 1538 = 1545 - 1538 = 7 \text{ мм};$$

$$\Delta S_7 = S_7 - 1538 = 1544 - 1538 = 6 \text{ мм};$$

$$\Delta S_8 = S_8 - 1538 = 1542 - 1538 = 4 \text{ мм};$$

$$\Delta S_9 = S_9 - 1538 = 1540 - 1538 = 2 \text{ мм};$$

$$\Delta S_{10} = S_{10} - 1538 = 1540 - 1538 = 2 \text{ мм}.$$

Величину необхідного звуження запишемо на кожній шпалі (рис. В.1).

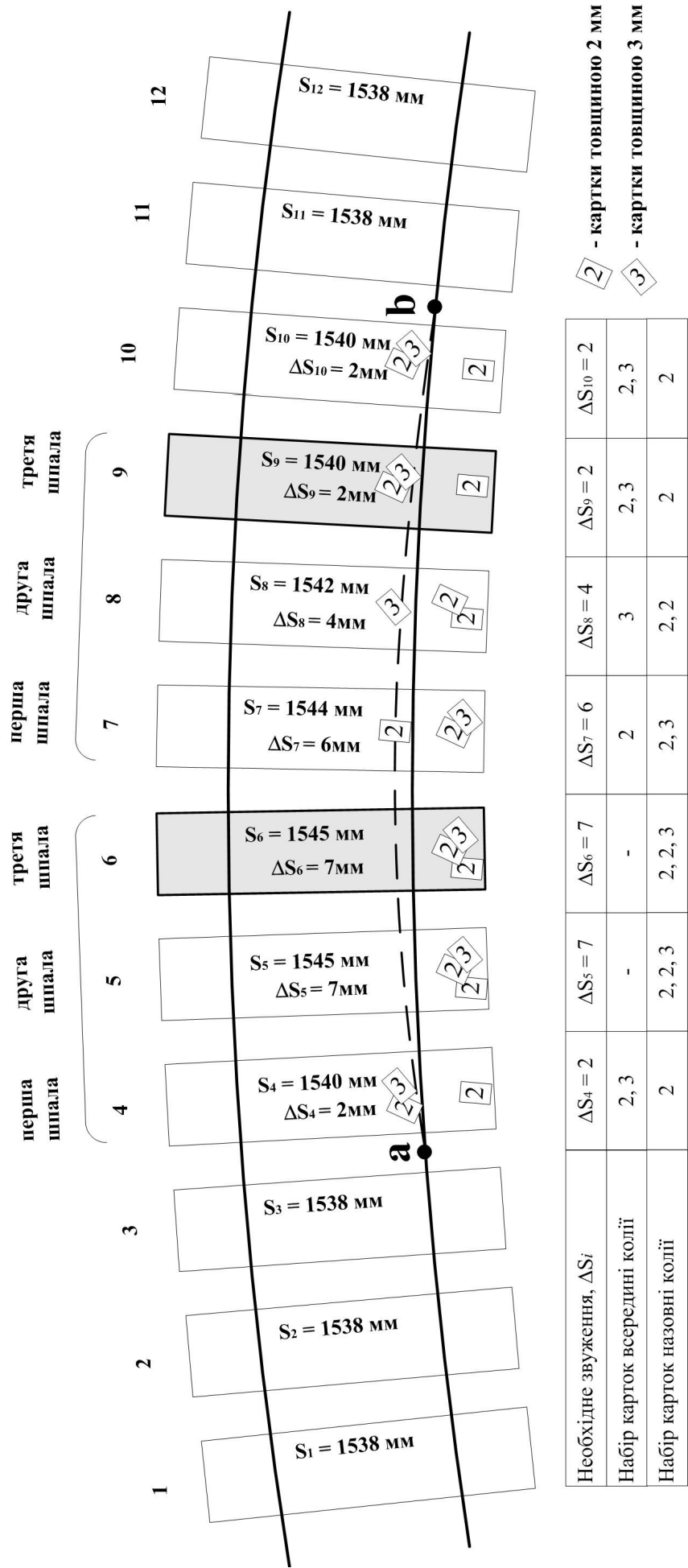


Рис. В.1.1. - Стан колії і величини необхідного регулювання ширини колії у бік звуження на ділянці колії, де до регулювання усі картки знаходяться з внутрішньої сторони внутрішньої рейки

Далі треба виконати регулювання ширини колії.

1 У межах несправності на ділянці **a - b** по внутрішній нитці розкручують клемні вузли на кожній 3-й шпалі, вилучають картки (вони знаходяться всередині колії) і кладуть їх на поверхню шпали.

У даному прикладі, якщо йти по ділянці **a - b** зліва на право, з кожних трьох шпал третіми є шпали №6 та №9.

2 Закручують зняті клеми на шпалах №6 та №9 без постановки у вузол скріплення карток та створюють люфт між клемою і верхньою поверхнею підосви рейки для можливого поперечного переміщення рейки відносно підкладки.

3 Знімають клеми на решті шпал у межах ділянки **a - b** (шпали № 4, 5, 7, 8, 10), вилучають картки із кожного вузла скріплення і кладуть їх на поверхню шпали. Клемні болти на цих шпалах не закріплюються.

4 Переміщують підрейкові прокладки всередину колії. Цю роботу краще виконувати двом монтерам: один монтер підважує рейку важелем, а другий монтер за допомогою наставки (металевий стержень довжиною 500 мм) та молотка переміщує прокладку від реборди до реборди.

Підготовлений для звуження колії набір карток необхідно вставити між ребордою підкладки і підосвою рейки на всіх демонтованих шпалах. Цю роботу слід виконувати поступово, тобто необхідно пошарово вкладати на кожній демонтованій шпалі лише по одній картці, бажано однакової товщини.

ТЕХНОЛОГІЯ ВКЛАДАННЯ КАРТОК:

За першим кроком рекомендується вкладати картки товщиною 3 мм. Йдучи ліворуч і праворуч від шпали, де величина необхідного звуження колії $\Delta S_{\max}$ найбільша (шпала №6), зміщують внутрішню рейку всередину колії і ставлять з польової сторони рейки у кожний вузол демонтованого скріплення по одній картці, наприклад, товщиною 3 мм. Так слід робити на всіх шпалах, де ΔS_i конкретної шпали більше 3 мм. Стан колії після першого кроку регулювання ширини колії на 3 мм у бік звуження показано на рис. В.2.

Слід зазначити, що на шпалах №4, 8 і 10 замість картки товщиною 3 мм поставили картки товщиною 2 мм.

Другий крок. Йдучи від шпали з $\Delta S_{\max}$ (шпала №6) ліворуч і праворуч, знову зміщують внутрішню рейку всередину колії і ставлять картки товщиною 2 мм на всіх шпалах, де сумарна товщина карток $3+2=5$ мм буде меншою за ΔS_i кожної шпали. (Нагадаємо, що для зручності величина ΔS_i раніше була надписана крейдою на кожній шпалі.) Стан колії після другого кроку регулювання картою показано на рис. В.3.

Третій крок. Ставлять у вузли скріплення з польової сторони рейки ще одну картку товщиною 2 мм. Це робиться на шпалах, де сумарна товщина трьох карток $(3+2+2)=7$ мм менша за ΔS_i . Стан колії після третього кроку звуження колії картою товщиною 2 мм показано на рис. В.4. З рис. В.4 видно, що на ділянці **a - b**, локальне розширення колії ліквідоване, окрім шпали №7, де залишок розширення колії $\Delta S_7=1$ мм. У такому випадку це розширення можуть залишити неліквідованим, або усувають за рахунок використання карток зовнішньої рейкової нитки, чи іншими методом, наприклад, усувають шляхом перемонтажу вузла (вузлів) скріплення шпали №7. Окрім того, дозволяється ввести додаткові регулювальні картки товщиною 1 мм.

Четвертий крок. Решту невикористаних для регулювання карток (а вони лежать на поверхні кожної шпали) ставлять у вузол із внутрішньої (колійної) сторони рейки. Стан колії після вкладання всіх карток у вузли скріплення внутрішньої нитки на ділянці **a - b** показано на рис. В.5.

Після цього змащують клемні болти і закріплюють клемами на демонтованих (двох шпалах із кожних трьох) шпалах на крутний момент $M_{кр} = 0$, тобто створюють люфт між клемою і верхньою поверхнею рейки. Для цього бажано мати щуп розміром 1 мм.

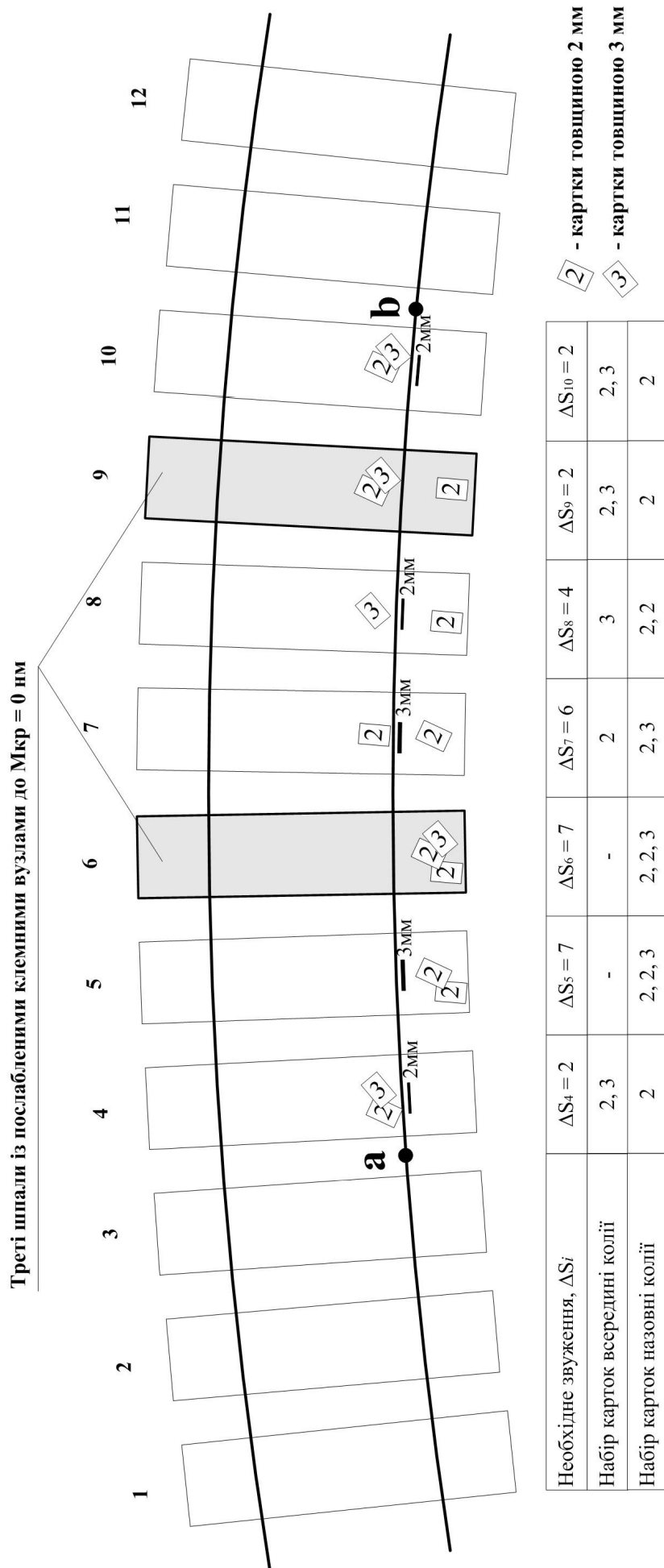
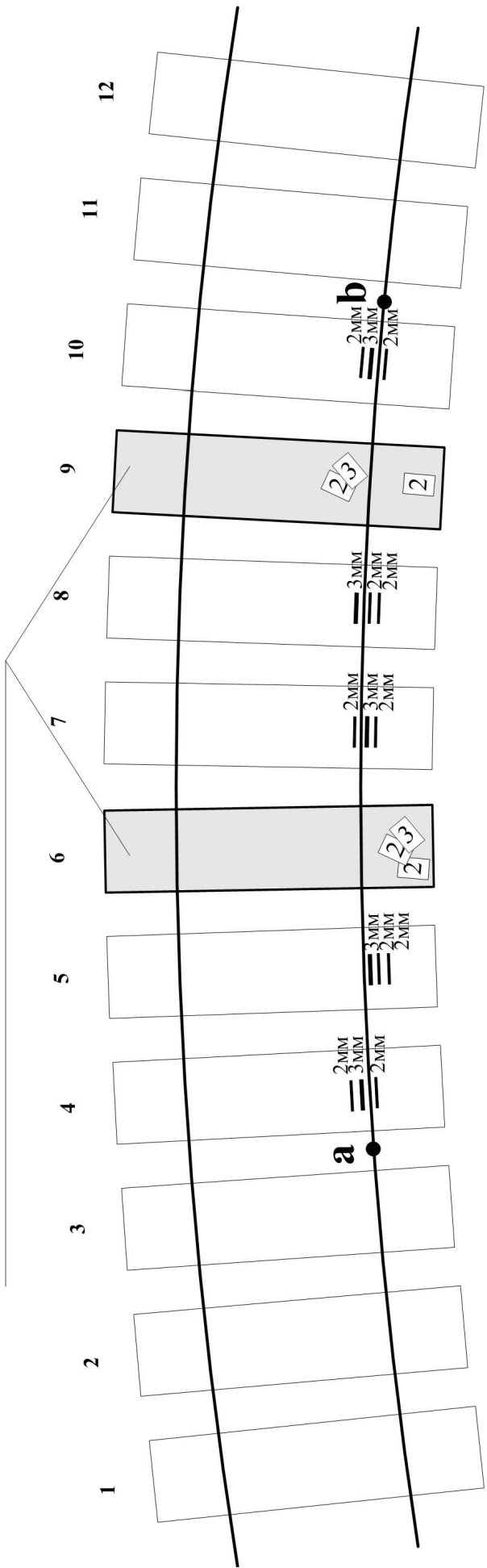


Рис. В.2. - Стан колії після першого кроку регулювання картками ширини колії.

Треті шнали із послабленими клеєними вузлами до $M_{кр} = 0$ нм



Необхідне звуження, ΔS_i	$\Delta S_4 = 2$	$\Delta S_5 = 7$	$\Delta S_6 = 7$	$\Delta S_7 = 6$	$\Delta S_8 = 4$	$\Delta S_9 = 2$	$\Delta S_{10} = 2$
Набір карток всередині колії	2, 3	-	-	2	3	2, 3	2, 3
Набір карток назовні колії	2	2, 2, 3	2, 2, 3	2, 3	2, 2	2	2

- картки товщиною 2 мм
 - картки товщиною 3 мм

Рис. В.4. - Стан колії після третього кроку регулювання ширини колії

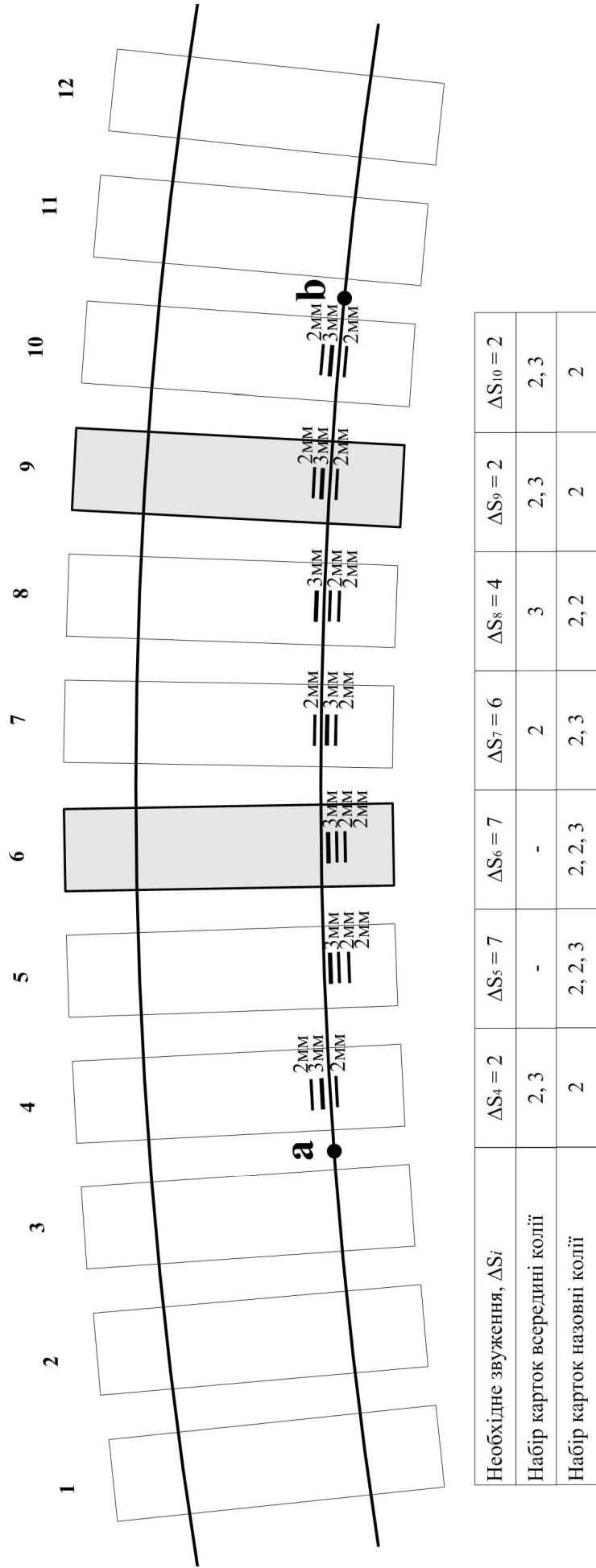


Рис. В.5. - Стан колії після вкладання всіх карток із внутрішньої сторони рейки при регулюванні ширини колії

Потім на ділянці **a - b** розкручують послаблені клемні вузли кожної третьої шпали (шпали №6 та №9) і ставлять картки необхідної товщини ліворуч і праворуч від внутрішньої рейки, за фактом наявного зазору між ребордою підкладки і бічною гранню підосви рейки.

Далі закріплюють клеми на всіх третіх шпалах ділянки **a - b** на крутний момент $M_{кр} = 0$, тобто знову залишають люфт між клемою і поверхнею підосви рейки. Після цього виконують контрольний вимір ширини колії у перерізі кожної шпали і, якщо необхідно, виконують її коригування, знову ж таки картками вузла скріплення за вище наведеною методикою. Виконавши в такий спосіб регулювання колії на всій кривій, закріплюють клемні вузли на всіх шпалах.

Роботу виконує бригада не менше, як із трьох монтерів колії під керівництвом бригадира.

В.5 Локальне виправлення ширини колії шляхом перезакріплення вузла скріплення СКД65-Б

При виконанні регулювання ширини колії за допомогою карток скріплення СКД65-Б залишається можливість регулювання ширини колії шляхом перезакріплення вузла скріплення.

При клемному скріпленні КБ65, СКД65-Б є можливість усунути конструктивні люфти між рейкою і ребордою підкладки, а особливо між кінцем підкладки і шпалою.

Для цього ослаблюють клемні і закладні болти до створення у вузлі скріплення люфтів. Після цього виконують поперечне переміщення рейкової нитки в той чи інший бік. Далі закріплюють закладні і клемні болти на нормативну величину крутного моменту.

Якщо виконується регулювання ширини колії на звуження, то спочатку закріплюються закладні і клемні болти в середині колії. А якщо потрібно розширити колію, то спочатку закріплюються клемні і закладні болти

зовнішньої (польової) сторони рейок. Послаблення і закріплення болтів супроводжується змащенням різьби болтів.

Якщо ширина колії змінилася через зминання гумових нашпальних прокладок - виконують їх заміну.

Роботу виконують 2-3 монтери колії під керівництвом бригадира.

Якщо ділянка робіт включає до 3-х шпал, або якщо ділянка робіт включає шість шпал і посередині знаходиться стяжний пристрій, то місце робіт огорожується сигналами «С». У випадку виконання таких робіт на ділянці довжиною більше трьох шпалопрогонів без застосування стяжного пристрою, рух поїздів припиняється.

ДОДАТОК Г
ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ
ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ШПАЛ У КРИВИХ ДІЛЯНКАХ РАДІУСОМ
МЕНШЕ 350 М

У техніко-економічних розрахунках виконується комплексна оцінка ефективності варіантів конструкції верхньої будови колії по економічних та технічних показниках.

Для вибору кращого варіанта необхідно визначити порівняльну економічну ефективність капітальних вкладень з мінімуму сумарних приведених витрат.

За викладеною методикою [123] визначимо економічну ефективність на ділянках колії із близькими до середньосітових експлуатаційних параметрів. У приблизно однакових умовах експлуатації приймаються два варіанта конструкції верхньої будови колії. У розрахунках врахований досвід їхнього укладання й експлуатації на Придніпровській і Львівській залізницях й використані надані дорогами необхідні дані.

Для порівняння приймаємо два варіанта:

Варіант 1: рейки типу Р65, шпали дерев'яні, епюра 2000 шт./км, скріплення Д65, ланкова колія.

Варіант 2: рейки типу Р65, шпали залізобетонні, епюра 2000 шт./км, скріплення СКД65-Б, ланкова колія.

Г.1 Визначення термінів служби верхньої будови колії та встановлення періодичності ремонтів

Г.1.1 Визначення термінів служби рейок

За розрахунковий термін служби рейок прийнято приймати період від їх вкладання до повної їх заміни на певній ділянці. Терміни служби будемо визначати допустимим об'ємом вантажу що пропускається, з подальшим поррахунком в одиниці часу. Термін служби рейок характеризується двома основними факторами: зносом головки рейок та дефектами контактнотомленого характеру.

Пропущений тоннаж, який відповідає гранично допустимій площі зносу голівки рейки визначається за формулою

$$T_p = \frac{\omega_0}{\beta_0}, \quad (\text{Г.1})$$

де ω_0 – припустима площа зношування головки рейки, мм^2 ;

β_0 – питоме зношування (коефіцієнт зношування, $\text{мм}^2/\text{млн.т.бр.}$). $\frac{\text{мм}^2}{\text{млн.т.бр.}}$

Допустима площа зносу визначається по допустимій глибині зносу h_0

$$\omega_0 = b \cdot h_0 - \varepsilon, \quad (\text{Г.2})$$

де b – ширина головки рейки зверху, мм, для Р65= 75 мм;

ε – зменшення припустимої площі, $\varepsilon=70 \text{ мм}^2$;

h – припустима глибина зношування, $h = 12 \text{ мм}$.

Визначаємо допустиму площу зносу головки рейки Р65:

Для першого (I) і другого варіанта вона дорівнює

$$\omega_0^I = \omega_0^{II} = 79 \cdot 12 - 70 = 830 \text{ мм}^2$$

Питомий знос головки рейки визначається за формулою:

$$\beta_0 = \beta_{CP} \cdot c \cdot k \cdot \lambda, \quad (\text{Г.3})$$

де β_{cp} - середній питомий знос рейок = 0,75 мм²/млн.т.бр.;

c – коефіцієнт, що враховує тип рейок, для рейок типу Р65 $c = 0,9$;

k – коефіцієнт, що враховує якість рейкової сталі, для термозміцнених рейок $k = 0,8$;

λ – коефіцієнт, що враховує наявність кривих і визначається, за формулою:

$$\lambda = \frac{900}{R} + \frac{100\,000}{R^2}, \quad (\Gamma.4)$$

де R – радіус кривої ділянки (для подальших розрахунків приймаємо рівним $R = 300$ м).

Визначимо питомий знос рейок:

$$\lambda = \frac{900}{300} + \frac{100\,000}{300^2} = 4,11$$

$$\beta_0^I = \beta_0^{II} = 0,75 \cdot 0,9 \cdot 0,8 \cdot 4,11 = 2,21 \text{ мм}^2/\text{млн.т.бр.}$$

$$T_p^I = T_p^{II} = \frac{830}{2,21} = 376 \text{ млн.т.}$$

З урахуванням довжини рейок (для рейок довжиною 25 м термін служби приймається на 10% більшим) $T_p = 376 \cdot 1,1 = 414$ млн. т.

Порівнюємо попущений тоннаж по зносу з попущений тоннажем, що допускається по поодинокому виходу рейок. Для рейок Р65 по існуючим нормативам $T_p = 700$ млн.т. Тоннаж по зносу менше ніж по поодинокому виходу, тому саме він і приймається в подальших розрахунках за термін служби рейок.

Термін служби рейок у роках можливо визначити по формулі

$$t_p = \frac{\lg\left(\alpha \cdot \frac{T_p}{T_{01}} + 1\right)}{\lg(1 + 0,04)}, \quad (\Gamma.5)$$

де T_{01} - вантажонапруженість у перший рік після вкладання рейок;

0,04- річний приріст вантажонапруженості (в частках одиниці).

$$\text{Остаточнo } t_p^I = t_p^{II} = \frac{\lg(0,04 \cdot \frac{414}{40} + 1)}{\lg 1,04} = \frac{0,150}{0,017} = 9 \text{ років}$$

Г.1.2 Визначення терміну служби скріплень

В склад стикових і проміжних скріплень входять різnorідні елементи, з різним терміном служби. Знос скріплень призводить до їх суцільної заміни, яка майже завжди співпадає з і зміною рейок. Деталі які вийшли поодинокі, замінюють при поточному утриманні. Масова заміна неметалевих елементів, наприклад, резинових прокладок, може проводитись не лише при капітальному, але й при інших видах ремонту.

Тоді приймаємо, що заміна скріплень відбуватиметься разом зі зміною рейок, тобто при капітальному ремонті. $t_c = t_p = 9$ років.

Г.1.3 Визначення терміну служби шпал

Термін служби дерев'яних та залізобетонних шпал в залежності від типу рейок і вантажонапруженості приймається за таблицею 4 [123]. При рейках Р65 та вантажонапруженості 40 млн. ткм бр/км:

- для залізобетонних шпал $t_{ш} = 40$ років.
- дерев'яних шпал $t_{ш} = 14,2$ років;

Але за даними залізниць для ділянок колії, де вкрито дерев'яні шпали, термін їх служби складає біля 7–7,5 років, що як мінімум у 2 рази менше від розрахункового.

Г.1.4 Визначення терміну служби баласту

Терміном служби баласту називається період від укладання свіжого баласту до його очищення чи заміни. Для щебеневого баласту термін служби визначається за формулою:

$$T_b = \frac{D - d}{k \cdot c}, \quad (\text{Г.6})$$

де D – допустима степінь забруднення баласту перед заміною:

- для залізобетонних шпал $D = 35\%$,

- для дерев'яних шпал $D = 40\%$;

d – початкова ступінь забруднення баласту на момент укладання його в колію $d = 5\%$;

k – коефіцієнт, що враховує наявність впливу комплексно-оздоровчого ремонту $k = 0,67$;

c – інтенсивність засмічення і забруднення баласту у ‰, віднесена до 1 млн. т. бруто пропущеного вантажу, визначається за формулою

$$c = c_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3, \quad (\Gamma.7)$$

де c_0 – табличне значення інтенсивності забруднення, для рейок типу Р65 і щебеновому баласті $c_0 = 0,18\%/млн.т.бр.$;

k_1 – коефіцієнт, що враховує вплив епюри шпал, при 2000 шп/км $k_1 = 0,9$;

k_2 – коефіцієнт, що враховує кліматичні умови і залежить від тривалості періоду знаходження баласту у незамерзломому стані $k_2 = 0,9$;

k_3 – коефіцієнт, що враховує конструкцію колії, для ланкової $k_3 = 1$.

$$c = 0,18 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 1 = 0,146$$

Розрахуємо термін служби баласту для двох варіантів.

варіант I

$$T_{\text{Б}}^I = \frac{35 - 5}{0,65 \cdot 0,146} = 308 \text{ млн.т.};$$

варіант II

$$T_{\text{Б}}^{II} = \frac{40 - 5}{0,65 \cdot 0,146} = 359 \text{ млн.т.}$$

Визначимо термін служби баласту у роках

варіант I

$$t_{\text{б}}^I = \frac{\lg(0,04 \cdot \frac{308}{40} + 1)}{\lg 1,04} = 7 \text{ років};$$

варіант II

$$t_{\text{б}}^{II} = \frac{\lg(0,04 \cdot \frac{359}{40} + 1)}{\lg 1,04} = 8 \text{ років.}$$

Г.1.5 Встановлення періодичності ремонтів

Діючі норми періодичності ремонтів колії затверджені наказом УЗ від 10.08.04 р. №630-ЦЗ, викладені в «Положенні про проведення планово запобіжних ремонтно-колійних робіт на залізницях України» [124].

Згідно цього положення та вище наведених розрахунків будуємо графіки періодичності ремонтів (рис. Г.1).

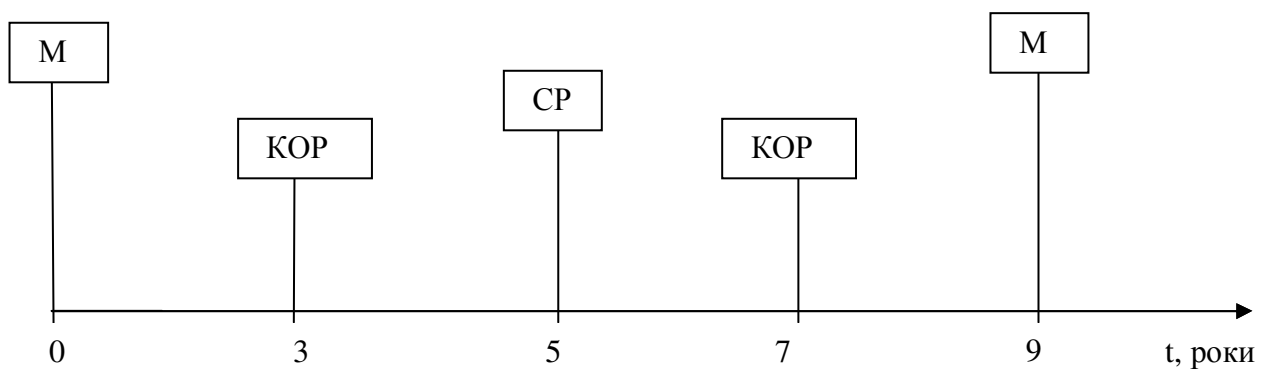


Рис. Г.1. - Графік призначення ремонтів

Г.2 Визначення сумарних приведених витрат

Г.2.1 Основні положення

При виборі варіантів нової техніки, технологічних процесів і т.д., в тому числі при визначенні найбільш доцільного варіанту конструкції верхньої будови колії, визначається порівняльна економічна ефективність капітальних вкладень, за які приймається контрольна вартість капітального ремонту колії. Порівняння варіантів проводиться за сумарними приведеними витратами або по терміну окупності.

Для отримання приведених сумарних витрат капітальні і експлуатаційні витрати приводяться до єдиного вимірника з використанням нормативного терміну окупності t_H . Умова полягає в мінімальних сумарних приведених витратах і звідси

$$t_{OK} = \frac{K_2 - K_1}{C_1 - C_2}, \quad (\text{Г.8})$$

де t_{OK} – термін окупності;

K_1, K_2 – капітальні вкладення для варіантів;

C_1, C_2 – експлуатаційні витрати для варіантів.

Варіант, що має більші капітальні вкладення, вважається більш ефективним, $t_{OK} < t_H$.

Нормативний коефіцієнт порівняльної ефективності для колійного господарства становить $E_H = 0,1$, тому:

$$t_H = \frac{1}{E_H}, \quad (\text{Г.9})$$

$$t_H = \frac{1}{0,1} = 10 \text{ років}$$

У колійному господарстві річні експлуатаційні витрати змінюються за період між двома капітальними ремонтами t_K .

У такому випадку сумарні приведені витрати для кожного варіанту складатимуть

$$E_{PB} = K_i + \sum_{t=1}^{t_K} C_{ti} , \quad (\text{Г.10})$$

А з урахуванням нерівноцінності витрат по роках:

$$E_{PB} = K_i + \sum_{t=1}^{t_K} C_{ti} \cdot \eta_t , \quad (\text{Г.11})$$

де η_T – коефіцієнт приведення:

$$\eta_T = \frac{1}{\left(1 + \frac{1}{E}\right)^t} , \quad (\text{Г.12})$$

Розрахунки по порівнянню варіантів ведуться на один км. колії.

Г.2.2 Розрахунок річних експлуатаційних витрат

Річні експлуатаційні витрати (у грн.) на « t » – рік після капітального ремонту за формулою

$$C = C_{PC} + C_M + C_{ТП} + \alpha_P , \quad (\text{Г.13})$$

де C_{PC} – витрати на робочу силу;

C_M – витрати на матеріали;

$C_{ТП}$ – витрати на тягу поїздів;

α_P – амортизаційні відрахування на реновацію.

Якщо на даний рік заплановано комплексно-оздоровчий (КОР) чи середній ремонт (СР), то необхідно враховувати і витрати на надання «вікон» для виконання робіт

$$C_{PC} = 12 \cdot P_T \cdot K_H \cdot K_P \cdot H_{POOЗ} , \quad (\text{Г.14})$$

де 12 – кількість місяців у році;

P_T – середньомісячна тарифна ставка монтерів колії $P_T = 1700$ грн;

K_H – коефіцієнт, що враховує нарахування до фонду заробітної платні $K_H = 1,3$;

K_P – коефіцієнт, що враховує район виконання робіт, $K_P = 1$;

H_{PO3P} – розрахункова норма витрат праці на поточне утримання 1 км колії:

$$H_{PO3P} = 0,91 \cdot H_{ТАБЛ} \cdot K_1 \cdot K_2, \quad (Г.15)$$

де $H_{ТАБЛ}$ – таблична норма витрат праці люд/год на рік,

$$H_{ТАБ}^I = H_{ТАБ}^{II} = \text{люд/год};$$

K_1 - коефіцієнт, що враховує довжину рейок та тип шпал, для рейок довжиною 25 м на дерев'яних шпалах $K_1^I = 0,95$, для рейок довжиною 25 м на залізобетонних шпалах $K_1^{II} = 0,8$;

K_2 - коефіцієнт, що враховує радіус кривих ділянок, для $R < 300$
 $K_2 = 1,15$.

Розрахункова норма витрат праці на поточне утримання 1 км колії становить

$$H_{PO3P}^I = 0,91 \cdot 0,9 \cdot 0,95 \cdot 1,15 = 0,75 \text{ люд/год.};$$

$$H_{PO3P}^{II} = 0,91 \cdot 0,9 \cdot 0,8 \cdot 1,15 = 0,63 \text{ люд/год.};$$

$$C_{PC}^I = 12 \cdot 1680 \cdot 1,3 \cdot 1 \cdot 0,75 = 19\,656,00 \text{ грн.};$$

$$C_{PC}^{II} = 12 \cdot 1680 \cdot 1,3 \cdot 1 \cdot 0,63 = 16\,511,04 \text{ грн.}$$

Витрати на матеріали верхньої будови колії:

$$C_M = C_P + C_C + C_{III} + C_B, \quad (Г.16)$$

де C_P - витрати на заміну рейок,

C_C - витрати на заміну скріплень,

C_{III} - витрати на заміну шпал;

C_B - витрати пов'язані з поповненням баласту;

Витрати на заміну рейок визначаються по формулі

$$C_p = N_p \cdot E_p, \quad (\text{Г.17})$$

де N_p - середня по мережі залізниці норма заміни рейок, $N_p = 1$ шт./км у рік;

E_p - вартість рейки, $E_p = 10\,376,85$ грн/шт.

$$C_p^I = C_p^{II} = 1 \cdot 10\,376,85 = 10\,376,85 \text{ грн.}$$

Витрати на заміну скріплень визначаються по формулі

$$C_c = N_c \cdot E_c, \quad (\text{Г.18})$$

де N_c - середня по мережі залізниці норма заміни скріплень, $N_c = 10$ шт./км у рік;

E_c - вартість комплекту скріплення, вартість скріплення типу Д65 $E_c = 115,12$ грн., вартість скріплення типу СКД65-Б $E_c = 126,00$ грн.

$$C_c^I = 10 \cdot 115,12 = 1151,20 \text{ грн.,}$$

$$C_c^{II} = 10 \cdot 126,00 = 1260,00 \text{ грн.}$$

Витрати на заміну шпал визначаються по формулі

$$C_{ш} = N_0 \cdot E_{ш}, \quad (\text{Г.19})$$

де N_0 - середня по мережі залізниці норма заміни шпал, шт./км у рік, для дерев'яних шпал $N_0^I = 50$ шт., для залізобетонних шпал $N_0^{II} = 5$ шт.;

$E_{ш}$ - вартість шпали, $E_{ш}^I = 320,00$ грн., $E_{ш}^{II} = 219,00$ грн.

$$C_{ш}^I = 50 \cdot 320,00 = 16\,000,00 \text{ грн.,}$$

$$C_{ш}^{II} = 5 \cdot 219,00 = 1\,095,00 \text{ грн.}$$

Витрати пов'язані з поповненням баласту визначаються по формулі

$$C_B = H_{\text{розр}} \cdot n \cdot K \cdot m \cdot K_p \cdot E_B, \quad (\text{Г.20})$$

де n - кількість робочих днів = 250 днів.;

K - доля робіт з використанням колії від всіх робіт з поточного утримання: при залізобетонних шпалах $K = 0,5$, а при дерев'яних $K = 0,45$;

m - витрати щебеню = $0,1 \text{ м}^3/\text{люд. дн}$;

K_p - коефіцієнт, що враховує довжину рейок, для рейок довжиною 25 м $K_p = 0,95$;

E_B - вартість 1 м^3 щебеню, $E_B = 91,00$ грн.

$$C_B^I = 0,75 \cdot 250 \cdot 0,45 \cdot 0,1 \cdot 0,95 \cdot 91,00 = 729,42 \text{ грн.},$$

$$C_B^{II} = 0,63 \cdot 250 \cdot 0,50 \cdot 0,1 \cdot 0,95 \cdot 91,00 = 680,79 \text{ грн.}$$

Розрахунок витрат на матеріали верхньої будови колії:

$$C_M^I = 10\,376,85 + 1\,151,20 + 16\,000,00 + 729,42 = 28\,257,47 \text{ грн.},$$

$$C_M^{II} = 10\,376,85 + 1\,260,00 + 1\,095,00 + 680,79 = 13\,412,64 \text{ грн.}$$

Витрати на тягу поїздів:

$$C_{\text{ТП}} = 61250 \cdot 10^{-3} \cdot W_{\text{П}} \cdot T_{\text{oi}}, \quad (\text{Г.21})$$

де $W_{\text{П}}$ - середній питомий опір руху поїзда, для ланкової Р65 = 2,21 кг/т;

$$C_{\text{ТП}}^I = C_{\text{ТП}}^{II} = 61250 \cdot 10^{-3} \cdot 2,21 \cdot 40 = 5\,402,25 \text{ грн.}$$

Підрахуємо річні експлуатаційні витрати для кожного варіанту:

$$C^I = 19\,656,00 + 28\,257,47 + 5\,402,25 + 8\,592,51 = 61\,908,23 \text{ грн.},$$

$$C^{II} = 16\,511,04 + 13\,412,64 + 5\,402,25 + 8\,196,36 = 43\,522,29 \text{ грн.}$$

Таблиця Г.1.

Вартість ремонтів колії та витрати на надання «вікон»

В-ти	К _{кап} , грн.	К _{сер} , грн.	К _{кор} , грн.	В _{кап} , грн.	В _{сер} , грн.	В _{кор} , грн.
I	3 437 100	223 500	41 300	12 580	9 220	5 130
II	3 278 600	223 500	41 300	12 580	9 220	5 130

Витрати на матеріали визначені на підставі середньосіткових розцінок наданих залізницями (табл. Г.2 та Г.3). Розрахунки зводжу до табл. Г.4.

Таблиця Г.2.

Визначення вартості матеріалів на 1 км верхньої будови колії варіанта №1

Найменування матеріалів		Одиниці виміру	Норма витрат	Вартість одиниці, грн	Загальна вартість, грн
Рейки типу Р65		т.	132,4	6 270,00	830 148,00
Шпали дерев'яні		шт.	2000	320,00	640 000,00
Скріплення проміжне	костилі	т.	6,5	17 970,00	116 805,00
	підкладки Д65	т.	28,5	9 909,00	282 406,50
	прокладки під рейку	т.	4,07	15 046,00	61 237,22
Скріплення стикове	накладка 4-ох отвірна	т.	3,81	8 075,00	30 765,75
	шайба-скоба	т.	7,5	798,00	5 985,00
	болти	т.	0,33	13 609,00	4 490,97
	шайба стикова	т.	0,03	13 609,00	408,27
Протиугони		т	6	17 102,28	102 613,68
Баласт (щебінь)		м ³	400	91,00	36 400,00
Вартість матеріалів C_M^I					2 111 260,39

Таблиця Г.3.

Визначення вартості матеріалів на 1 км верхньої будови колії варіанта №2

Найменування матеріалів		Одиниці виміру	Норма витрат	Вартість одиниці, грн	Загальна вартість, грн
2		3	4	5	6
Рейки типу Р65		т.	132,4	6270	830 148,00
Шпали залізобетонні		шт.	2000	219,00	438 000,00
Скріплення проміжне	клеми	т.	5,37	5 500,00	29 535,00
	підкладки СКД65-Б	т.	28,5	7 176,00	204 516,00
	прокладки під рейку	т.	4,07	15046,00	61 237,22
	болт закладний	т.	5,76	14 084,00	81 123,84
	болт клемний	т.	3,45	15 417,00	53 188,65
	прокладки	т.	4,07	10 550,00	42 938,50
	ізовтулки	т.	7,5	2 140,00	16 050,00
	картки регулювальні	т.	2,8	5 500,00	15 400,00
Скріплення стикове	накладка 4-ох отвірна	т.	3,81	8075,00	30 765,75
	шайба 2-ох виткова	т.	7,5	798,00	5 985,00
	шайба стикова	т.	0,33	13609,00	4 490,97
	шайба-скоба	т.	0,03	13609,00	408,27
	болти	т.	6	17102,28	102 613,68
Баласт (щебінь)		м ³	400	91,00	36 400,00
Вартість матеріалів C_M^{II}					1 952 800,88

Сумарні приведені витрати для кожного варіанту. Згідно [123] визначаються за формулою:

$$E_{\text{ИТ}} = K_i + \sum_{t=1}^{t_K} C_{t_i} \cdot \eta, \quad (\text{Г.22})$$

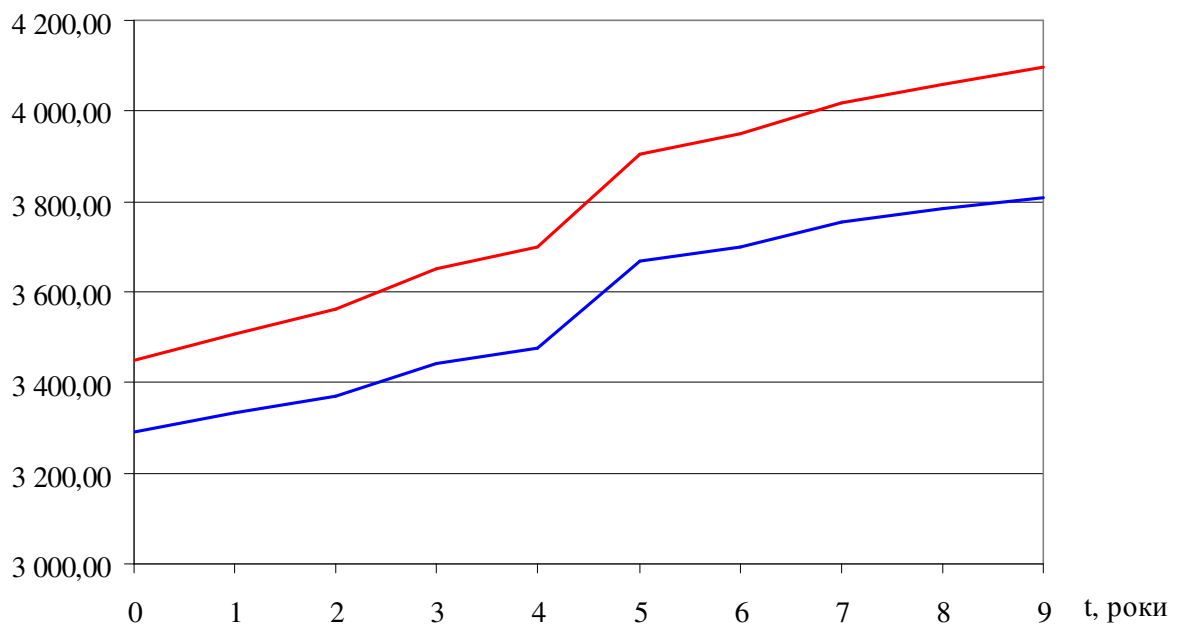
де: K_i та C_{t_i} – відповідно капітальні та експлуатаційні витрати по i – тому варіанту;

$$\eta = \frac{1}{(1+0,08)^t} \quad \eta = \frac{1}{(1+0,08)^t} - \text{коефіцієнт дисконтування};$$

t_K – період між двома капітальними ремонтами.

Розрахунок сумарних приведених витрат виконаємо у вигляді таблиці Г.4. Визначення кінцевого вибору варіанта виконується по графіку сумарних приведених витрат рисунок Г.2.

Еінт, тис. грн.



— Варіант 1: шпали дерев'яні, скріплення Д65;
 — Варіант 2: шпали залізобетонні, скріплення СКД65-Б.

Рис. Г.2. - Графік сумарних приведених витрат

Таблиця Г.4.

Розрахунок сумарних та приведених витрат

Варіанти конструкції ВБК та види витрат	Витрати по роках									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Варіант 1										
Капітальні витрати К, тис. грн.	3 437,10									
Витрати на середній та КОР, тис. грн.				41,30		223,50		41,30		
Річні експлуатаційні витрати, тис. грн.		61,91	63,51	65,16	66,85	68,60	70,40	72,25	74,16	76,13
Витрати на вікно, тис. грн.	12,58			5,13		9,22		5,13		
Сумарні річні витрати, тис. грн.	3 449,68	61,91	63,51	111,59	66,85	301,32	70,40	118,69	74,16	76,13
$\eta = 1/(1 + 0,08)^t$	1,00	0,93	0,86	0,79	0,74	0,68	0,63	0,58	0,54	0,50
приведені річні витрати, тис. грн.	3 449,68	57,32	54,45	88,58	49,14	205,07	44,36	69,25	40,07	38,08
Сумарні приведені витрати, тис. грн.	3 449,68	3 507,00	3 561,45	3 650,03	3 699,17	3 904,24	3 948,61	4 017,86	4 057,93	4 096,01
Варіант 2										
Капітальні витрати К, тис. грн.	3 278,60									
Витрати на середній та КОР, тис. грн.				41,30		223,50		41,30		
Річні експлуатаційні витрати, тис. грн.		43,52	44,58	45,67	46,80	47,96	49,15	50,38	51,64	52,95
Витрати на вікно, тис. грн.	12,58			5,13		9,22		5,13		
Сумарні річні витрати, тис. грн.	3 291,18	43,52	44,58	92,11	46,80	280,68	49,15	96,81	51,64	52,95
$\eta = 1/(1 + 0,08)^t$	1,00	0,93	0,86	0,79	0,74	0,68	0,63	0,58	0,54	0,50
приведені річні витрати, тис. грн.	3 291,18	40,30	38,22	73,12	34,40	191,02	30,97	56,49	27,90	26,49
Сумарні приведені витрати, тис. грн.	3 291,18	3 331,48	3 369,70	3 442,82	3 477,21	3 668,24	3 699,21	3 755,70	3 783,60	3 810,08

ДОДАТОК Д

Таблиця Д.1.

Перелік ділянок головних колій Львівської залізниці де вкладено скріплення СКД65-Б (станом на 01.01.2011 р.)

ПЧ	Перегін (станція)	Колія	Прив'язка дільниці, км ПК	Радіус кривої, м	Рік укла- дання	Вантажо- напру- женість	Пропу- щений тоннаж	Укладено комплектів, шт	Протяжність, км	
									головні	станц.
16	Ужгород-2 - Павлово	одн.	8 км ПК3-6	300	2007	13	51	156	0,30	
16	Станція Чоп	станц.	колія №3 з'єднувальна	190	2008	3		298		0,12
14	Воловець - Вовчий п/к	парна	1652 км ПК9-10	290	2008	18	36	142	0,05	
14	Воловець - Вовчий п/к	парна	1653 км ПК1-5	255	2009	18	36	1 464	0,50	
14	Воловець - Вовчий п/к	парна	1666 км ПК1-2	280	2009	18	36	150	0,08	
14	Воловець - Вовчий п/к	парна	1667 км ПК5-7	337	2009	18	36	500	0,25	
12	Микуличин - Ворохта	одн.	77 км ПК3-5	290	2010	3	1	900	0,35	
12	Микуличин - Ворохта	одн.	79 км ПК6-7	275	2010	3	1	156	0,06	
12	Ценжів - Ів.-Франківськ	одн.	98 км ПК1-8	300	2010	3	1	1 104	0,45	
12	Ценжів - Ів.-Франківськ	одн.	99 км ПК10	280	2010	3	1	1 242	0,40	
9	Тернопіль - Березовиця	одн.	4 км ПК2-4	280	2010	7	3	542	0,30	
3	Рясне-2 - Дубляни Льв.	одн.	21 км ПК3-7	298	2010	6	3	1 752	0,50	
3	Дубляни Льв. - Запитів	одн.	13 км ПК8-14км ПК2	285	2010	14	10	1 472	0,50	
3	Дубляни Льв. - Запитів	одн.	14 км ПК5-8	305	2010	14	10	1 104	0,40	
1	Клепарів - Скнилів	одн.	7 км ПК1-6	200	2010	47	3	908	0,50	
1	Клепарів - Скнилів	одн.	8 км ПК8	210	2010	47	3	220	0,10	
1	Клепарів - Скнилів	одн.	9 км ПК2-10	260	2010	47	3	1 612	0,80	
1	Клепарів - Скнилів	одн.	10 км ПК1	230	2010	47	3	60	0,05	
Всього по Львівській залізниці								13 782	5,59	0,12

ДОДАТОК Е

ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ



МІНІСТЕРСТВО ТРАНСПОРТУ ТА ЗВ'ЯЗКУ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНА АДМІНІСТРАЦІЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНЕ ТЕРИТОРІАЛЬНО-ГАЛУЗЕВЕ ОБ'ЄДНАННЯ
“ЛЬВІВСЬКА ЗАЛІЗНИЦЯ”

79000, м. Львів, вул. Гоголя, 1

тел.: (032) 226-44-00, 226-44-90, факс: (032) 297-10-12
E-mail: contract@railway.lviv.ua

"10" 04 2011 р.

№ П-6/48

АКТ

впровадження результатів дисертаційної роботи Губаря О.В.
«Обґрунтування норм улаштування та утримання колії для кривих з
радіусами менше 350»

Даним підтверджується, що службою колії Львівської залізниці прийняті до використання результати дисертаційної роботи Губаря Олексія Васильовича «Обґрунтування норм улаштування та утримання колії для кривих з радіусами менше 350». Використання розроблених норм улаштування та утримання колії із залізобетонними шпалами у кривих ділянках колії з радіусами менше 350м, дозволили для певних умов експлуатації колії (в залежності від радіуса кривих) розширити сферу застосування залізобетонних шпал і підвищити безпеку руху поїздів, показники економічної ефективності. Станом на 01.04.2011 на головних коліях Львівської залізниці у криві ділянки з радіусами від 190 до 350 м на залізобетонних шпалах із скріпленням СКД65-Б вкрито 5,590 км колії, з них 4,410 км колії вкрито у 2010 році.

Зокрема економічний ефект від використання розроблених норм улаштування та утримання колії із залізобетонними шпалами у кривих ділянках колії з радіусами менше 350 м за 2010 рік склав 1 151,407 тис.грн

Заступник начальника залізниці —
начальник служби колії, к.т.н

В.І. Харлан

091800



ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ



ДЕРЖАВНА АДМІНІСТРАЦІЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ УКРАЇНИ
УКРЗАЛІЗНИЦЯ

ГОЛОВНЕ УПРАВЛІННЯ КОЛІЙНОГО ГОСПОДАРСТВА

вул. Тверська, 5, м. Київ-150, МСП 03680, тел.: (44) 465-03-50, 465-03-80, факс (44) 258-81-37

08.07.2011

№ ЦП - 7/518

АКТ

Впровадження результатів дисертаційної роботи Губаря О.В.
«Обґрунтування норм улаштування та утримання колії
для кривих з радіусами менше 350 метрів»

Даним підтверджується, що Головним управлінням колійного господарства Укрзалізниці прийняті до використання результати дисертаційної роботи Губаря Олексія Васильовича «Обґрунтування норм улаштування та утримання колії для кривих з радіусами менше 350 метрів», які використані при підготовці нормативно-технічного документу «Інструкція зі складання та поточного утримання колії зі скріпленнями типу СКД65» ЦП-0199, затвердженої наказом Укрзалізниці від 10.12.2008 р. за № 534-Ц. Використання цих результатів дозволило розширити сферу застосування залізобетонних шпал за рахунок укладання типових залізобетонних шпал із скріпленнями типу СКД65-Б у криві ділянки колії з радіусами від 190 до 350 метрів. Впровадження цих норм підвищило безпеку руху поїздів, показники терміну служби залізничної колії та покращило показники економічної ефективності.

Дані результати використані при економічному обґрунтуванні вибору конструкції верхньої будови колії при проведенні як планових ремонтів, так і поточного утримання колії в різних умовах експлуатації залізничної колії, що визначені з умов не перевищення норм улаштування та утримання залізничної колії.

Головний інженер



В.О. Яковлев

035361