

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-ій 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.