

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

УДК 625.032.432

М. А. АРБУЗОВ¹, О. М. ПАТЛАСОВ², С. О. ТОКАРЄВ^{3*}

¹Каф. «Колія та колійне господарство», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел./факс +38 (056) 373 15 42, ел. пошта 10max@ukr.net

²Каф. «Колія та колійне господарство», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел./факс +38 (056) 373 15 42, ел. пошта am_patlasov@ukr.net, ORCID 0000-0003-2081-5648

^{3*}Колієвипробувальна галузева науково-дослідна лабораторія, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел./факс +38 (056) 793 38 45, ел. пошта tokarevsergeyaleks@yandex.ua, ORCID 0000-0002-2607-3123

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ КОЛІЇ ТА РУХОМОГО СКЛАДУ В МЕЖАХ З'ЇЗДУ

Мета. Останнім часом у мережі залізниць України все більшу увагу приділяють випадкам порушення в утриманні стрілочних з'їздів, які можуть призвести до погіршення умов безпеки руху поїздів. Такі порушення, зазвичай, з'являються в результаті неточності під час розбивки та укладання з'їзду, а також бувають наслідком дії рухомого складу і температурних сил. Поява геометричних нерівностей також може бути спровокована порушенням епюри розкладки залізобетонних брусів у захрестовинній частині з'їзду при міжколії менше 5,3 м. Тому в роботі потрібно проаналізувати вплив наявності відхилень від епюри розкладки брусів та геометричних нерівностей на умови взаємодії колії та рухомого складу, враховуючи результати експериментальних досліджень. Також треба встановити зв'язок між напружено-деформованим станом колії в зонах укладання вкорочених брусів. **Методика.** Дослідження впливу відхилень від епюри розкладки брусів та геометричних нерівностей на умови взаємодії колії та рухомого складу проводились шляхом проведення теоретичних розрахунків та експериментальних випробувань. Для проведення експериментальних досліджень була обрана дослідна ділянка на коліях незагального користування ТОВ з П «Трансінвестсервіс», яка відповідала необхідним умовам в рамках науково-дослідної роботи. **Результати.** Отримано розподіл напружень та сил, що діють на колію в залежності від швидкості руху дослідного рухомого складу. Також отримано дані стосовно впливу геометричних параметрів бруса на його напружено-деформований стан. **Наукова новизна.** Авторами вперше було проведено оцінку впливу рухомого складу (при наявності геометричних нерівностей та несиметрично вкорочених брусів у межах з'єднувальної частини стрілочного з'їзду) на напружено-деформований стан верхньої будови колії (ВБК) у вказаній зоні. Також було проведено порівняння результатів для ділянки зі звичайними брусами та вкороченими. **Практична значимість.** На основі отриманих експериментальних даних було встановлено, що при швидкостях руху рухомого складу до 40 км/год напружено-деформований стан ВБК в захрестовинній частині стрілочного з'їзду відповідає умовам міцності та стійкості. Отримані результати можна застосувати для апробації математичних моделей та теоретичних досліджень щодо розробки нормативів утримання стрілочного з'їзду. Рівень отриманих вертикальних, бокових сил та напружень практично не залежить від наявності вкороченої частини брусів, що укладені в з'їзд.

Ключові слова: стрілочний з'їзд; несиметричні бруси; експериментальні дослідження; напруження; вертикальні та бічні сили

Вступ

Для збільшення транзиту вантажів територією України через міжнародні транспортні коридори відповідно до [11] необхідно виконати аналіз бар'єрних місць інфраструктури, що можуть стати стримувальним фактором для транспортування транзитних вантажів. До таких місць, в першу чергу, можна віднести ділянки, які не відповідають нормативам утримання та експлуатації або конструктивно не дозволяють реалізувати великі швидкості руху, наприклад, стрілочні переводи та з'їзди, які вони утворюють.

Під час реконструкції з'їздів для підвищення швидкостей та безпеки руху, відразу з'явиться проблема, пов'язана з тим, що при улаштуванні нормального з'їзду з міжколійною відстанню до 5,3 м вкласти два захрестовинні блоки стрілочних переводів без порушень схеми розкладки стандартних брусів, що входять в комплект, неможливо. Останні бруси захрестовинних блоків суміжних стрілочних переводів заважають один одному.

Як один з варіантів вирішення цієї проблеми, пропонується замінити необхідні бруси на симетрично вкорочені. Оскільки відсутні будь-які дані стосовно роботи несиметрично вкорочених брусів, було вирішено виконати експериментальні дослідження щодо визначення роботи таких брусів і в подальшому на основі отриманих даних запроєктувати симетрично вкорочені.

Мета

Метою цієї роботи є отримання експериментальним та теоретичним шляхом показників напружено-деформованого стану для елементів верхньої будови колії в межах з'єднувальної частини стрілочного з'їзду при наявності геометричних нерівностей та вкорочених несиметричних брусів і порівняння отриманих значень з рекомендованими та допустимими значеннями.

Методика

Під час вибору дослідного з'їзду для виконання випробувань враховувалось таке:

– проекти стрілочних переводів, які утворюють з'їзд (проект 1740);

– тип верхньої будови з'єднувальної колії (рейки Р65, шпали і бруси залізобетонні, щебеневий баласт, типове проміжне скріплення КБ);

– відсутність понаднормативного зносу рейок в з'єднувальній частині з'їзду і низька забрудненість баласту;

– міжколійна відстань до 5,3 м;

– встановлені швидкості руху вантажних поїздів на боковий напрямок стрілочного перевodu $V_6 = 40$ км/год без обмеження;

– можливість надання «вікон» і їх тривалість;

– можливість підключення вимірювальної апаратури до мережі енергопостачання.

Експериментальні дослідження виконувались в межах колій незагального користування ТОВ з П «Трансінвестсервіс».

Як дослідний був обраний з'їзд в парній горловині парку А між паралельними коліями, що утворений стрілочними переводами № 12–14 (рис. 1) типу Р65 марки 1/11; підрейкова основа – залізобетонні бруси; баласт щебеневий, товщина 25–30 см; міжколійна відстань в межах з'їзду – 5,3 м. При цьому враховувалось, що в межах обраної ділянки знаходиться необхідний набір і розташування стандартних вкорочених залізобетонних брусів.

Для встановлення фактичного стану з'єднувальної частини стрілочного з'їзду були виконані натурні вимірювання відповідно до [6] та з врахування пропозицій [1, 16]. Розмітка точок для вимірювання ординат виконувалась через кожні 2,5 м, починаючи від переднього вильоту хрестовини для обох рейкових ниток (точки 1–13 – для правої нитки, точки 14–26 – для лівої нитки). Графіки зміни вимірних ординат графічно наведені на рис. 2–3. Як бачимо з графіків, в з'єднувальній частині з'їзду має місце горизонтальна нерівність між точками 6–9 по правій та відповідно 21–16 по лівій рейковій нитці.

В межах дослідної ділянки були також виконані вимірювання ширини колії та положення однієї нитки відносно іншої за рівнем. Середнє значення ширини колії складає $\bar{S} = 1520$ мм. В перерізах, де були виконані виміри, ширина колії та положення за рівнем знаходились в межах допусків. Вплив укладених типових вкорочених залізобетонних брусів на ширину колії в їх зоні не спостерігається.

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

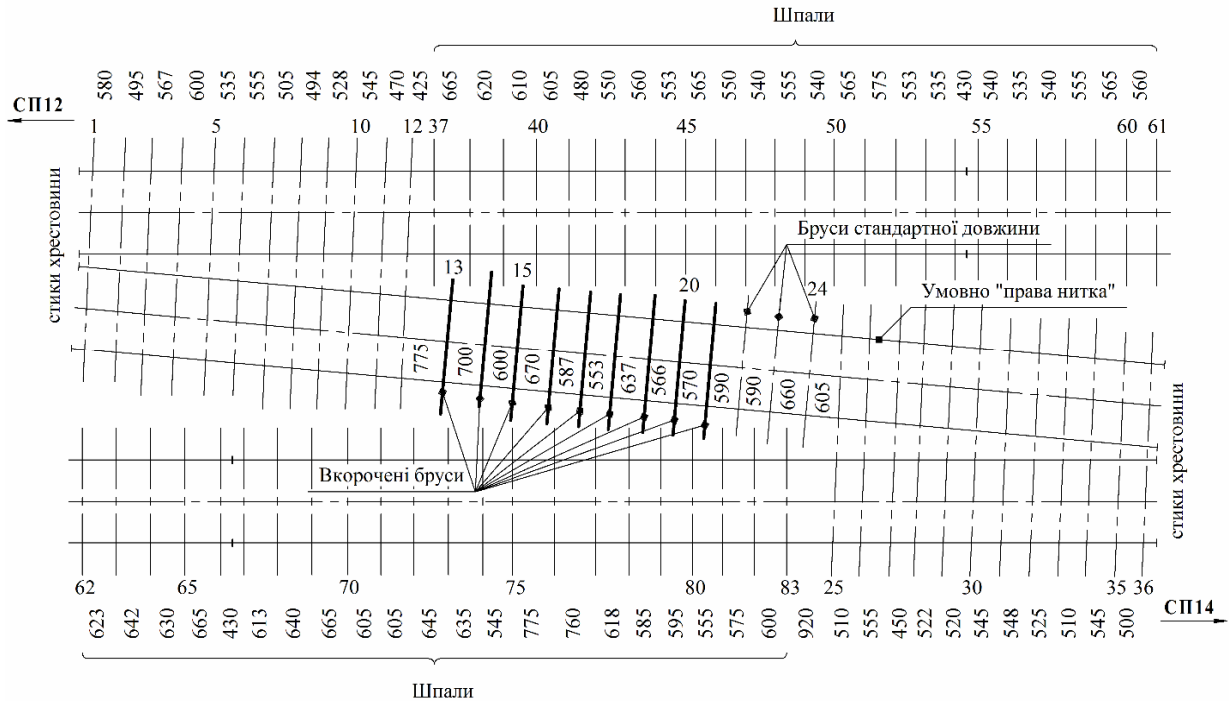


Рис. 1. Схема дослідного з'їзду

Fig. 1. The experimental crossover scheme

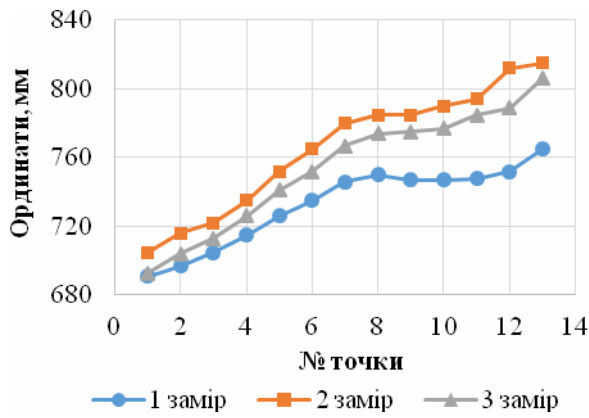


Рис. 2. Графік вимірюваних ординат в межах дослідного з'їзду для правої нитки

Fig. 2. The schedule of the measured coordinates within experimental crossovers for the right rail

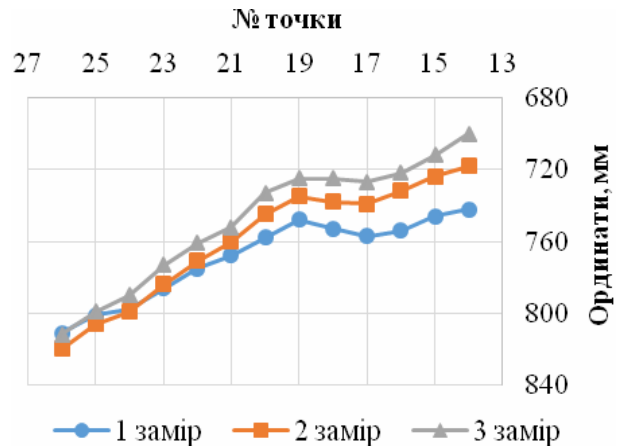


Рис. 3. Графік вимірюваних ординат в межах дослідного з'їзду для лівої нитки

Fig. 3. The schedule of the measured coordinates within experimental crossovers for the left rail

Під час оцінки стану з'їзду паралельно були виконані вимірювання основних геометричних параметрів стрілочних переводів. Доцільність виконання таких вимірювань пояснюється

необхідністю врахування впливу стану стрілочних переводів на умови взаємодії. Місця контрольних вимірів наведені на рис. 4.

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

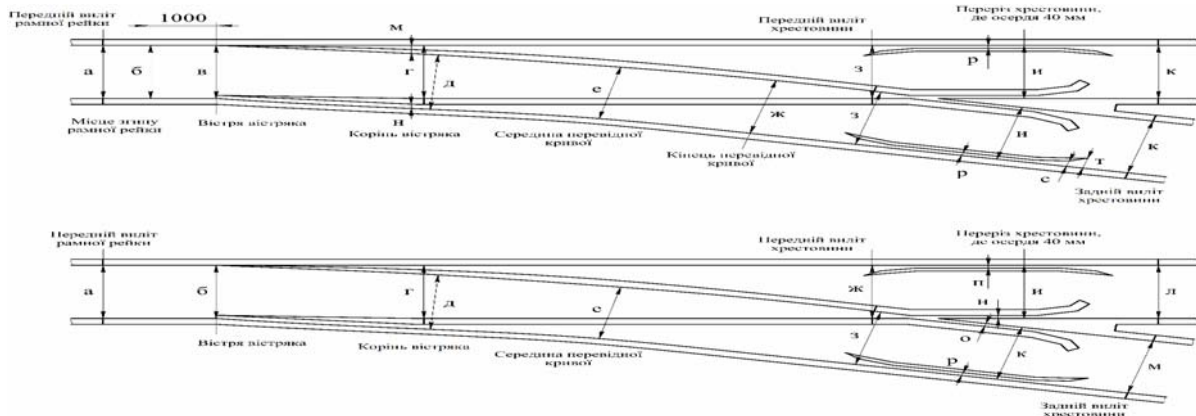


Рис. 4. Місця контрольних вимірів ширини колії та жолобів на стрілочних переводах, які входять до складу з'їзду

Fig. 4. The places of the gauge control measurements and chutes on turnouts that are a part of crossovers

Результати вимірювання фактичного стану стрілочних переводів № 12 та 14 наведені в табл. 1 та 2. Параметри, що були отримані під час вимірювань, знаходяться в межах норм та допусків відповідно до [4]. Аналіз результатів свідчить про задовільний стан стрілочних переводів і, відповідно, про відсутність суттєвого впливу на умови проходження дослідного поїзда вздовж з'єднувальної частини стрілочного з'їзду.

Для досліджень взаємодії колії та рухомого складу на дослідній ділянці були встановлені прилади (рис. 5), які фіксують різні фізичні процеси. Прилади встановлені по обох рейкових нитках, що дозволяють одночасно вимірювати як горизонтальний, так і вертикальний вплив рухомого складу на рейки та бруси.

Таблиця 1

Результати вимірювання ширини колії та положення за рівнем стрілочних переводів

Table 1

The measurement results of the gauge and level position of the turnouts

Місце вимірювання		Позначення на схемі	Шаблон, мм		Рівень, мм		
			СП №12	СП №14	СП №12	СП №14	
Передній виліт рамної рейки		а	1 533	1 529	+7	-1	
Вістря вістряка		б	1 535	1 532	-4	+6	
Корінь вістряка	По прямому	г	1 526	1 527	+4	+6	
	По боковому	д	1 526	1 532	+3	+3	
Середина перевертної кривої		е	1 533	1 534	+5	+1	
Хрестовина	Передній виліт	По прямому	ж	1 520	1 548	-1	+2
		По боковому	з	1 525	1 526	+2	0
	Переріз 40 мм	По прямому	и	1 519	1 519	+11	+2
		По боковому	к	1 516	1 517	-2	-5
	Задній виліт	По прямому	л	1 523	1 522	+4	0
		По боковому	м	1 520	1 520	+3	-5

Результати вимірювання жолобів на стрілочних переводах

Table 2

The measurement results of the gutters on the turnouts

Місце вимірювання			Позначення на схемі	Жолоб, мм	
				СП №12	СП №14
Хрестовина	Переріз 40 мм	По прямому	н	45,2	45,5
		По боковому	о	47,0	46,5
Контррейка	В прямій частині	По прямому	п	45,4	44,5
		По боковому	р	44,8	45,2

В межах дослідної ділянки вкладені несиметрично вкорочені бруси в різні сторони відносно осі колії (див. рис. 1). Є група з трьох брусів довжиною 2,5 м, у яких вкорочена частина знаходиться по одній стороні. Цим пояснюється знаходження більшої кількості вимірювальних приладів саме в цій зоні на дослідній ділянці.

Напруження в кромках підшви рейок є одним з основних показників оцінки впливу на колію рухомого складу, як головний критерій міцності колії, а отже, і безпеки руху по колії з різною конструкцією верхньої будови. Нормована величина цих напружень (240 МПа) визначає допустимі швидкості руху [3, 8].

Перерізи, в яких вимірювались напруження в кромках підшви рейок, наведені на схемі встановлення вимірювальних приладів (див. рис. 5).

Місця наклеювання тензорезисторів вибирались таким чином, щоб напруження в підшві рейки були виміряні по обидві сторони стандартного вкороченого бруса, адже площа спірання кожного кінця різна, відповідно, і напруження повинні відрізнитися.

Вимірювання вертикальних сил, що передаються від коліс рухомого складу на рейки, виконувалось в перерізах, які наведено на рис. 5. Значення були отримані за допомогою тензометричних датчиків базою 20 мм і опором 200 Ом, що наклеювались вертикально в зоні нейтральної осі по обидві сторони шийки рейки і паралельно включались в спільну роботу.

Тарування приладів для вимірювання вертикальних сил виконувалось на основі стан-

дартної методики шляхом пропускання дослідного поїзда зі швидкості 5 км/год.

Для визначення бокових сил, що діють на колію від рухомого складу, прилади розташовувались групами. Значення напружень у зовнішніх і внутрішніх кромках підшви рейки здійснюються за допомогою тензометричних датчиків, аналогічних при вимірюванні вертикальних сил. Датчики розміщуються практично біля самої кромки підшви по її нижній поверхні [8]. У тих поперечних перерізах рейок, де розміщувались датчики для вимірювання кромкових напружень, розташовувались аналогічні по зовнішній грані головки рейок (рис. 6).

Пружні деформації брусів під час експериментальних досліджень на дослідній ділянці вимірювались за допомогою електропрогиномірів системи ЦНИИ МПС шляхом визначення вертикальних прогинів в підрейковій зоні і осям несиметрично вкорочених брусів від впливу всіх осей дослідного поїзда. Місця, в яких вимірювались вертикальні деформації брусів, наведені на схемі встановлення вимірювальних приладів (рис. 7).

Для виконання затвердженої програми та методики експериментальних досліджень впливу рухомого складу на колію з вкороченими залізобетонними брусами в межах стрілочного з'їзду, був сформований спеціальний дослідний поїзд.

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

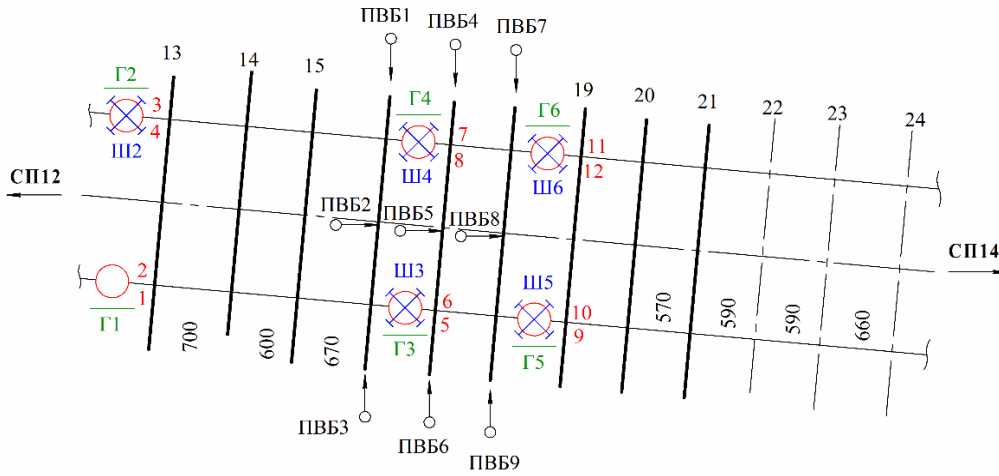


Рис. 5. Розміщення вимірювальних приладів на ділянці
 Fig. 5. Placement of the measurement devices on the research site

Умовні позначення

- → – прилади для вимірювання вертикальних переміщень брусків;
- ⊗ – прилади для вимірювання вертикальних сил;
- (green) – прилади для вимірювання напружень в кромках головки рейки;
- (red) – прилади для вимірювання напружень в кромках підшви рейки

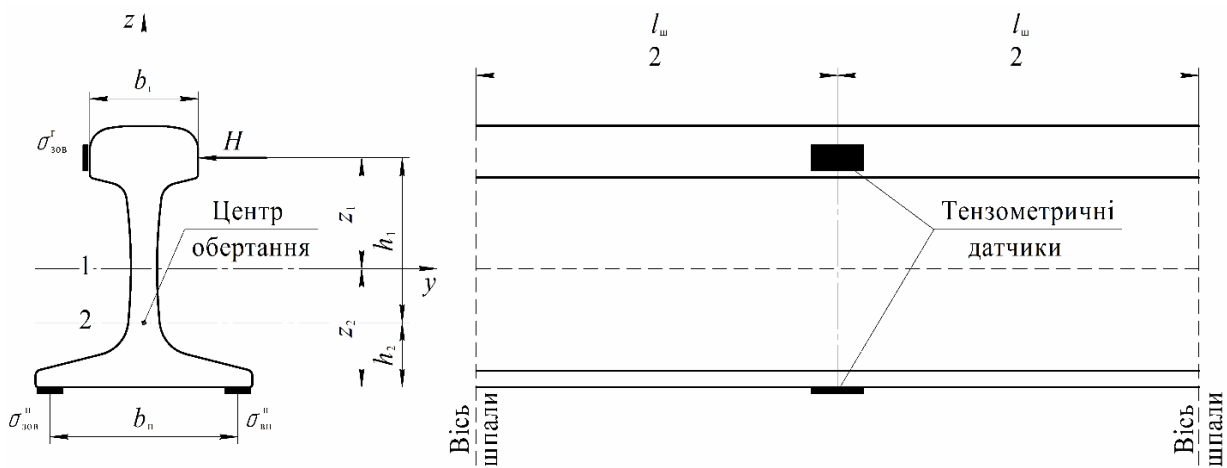


Рис. 6. Схема вимірювання напружень в кромках підшви і зовнішній кромці головки рейки:
 1 – нейтральна вісь; 2 – горизонтальна вісь, що проходить через центр обертання

Fig. 6. The measuring stresses scheme in the edges of the sole and the outer edge of the railhead:
 1 – the neutral axis; 2 – the horizontal axis passing through the center of rotation

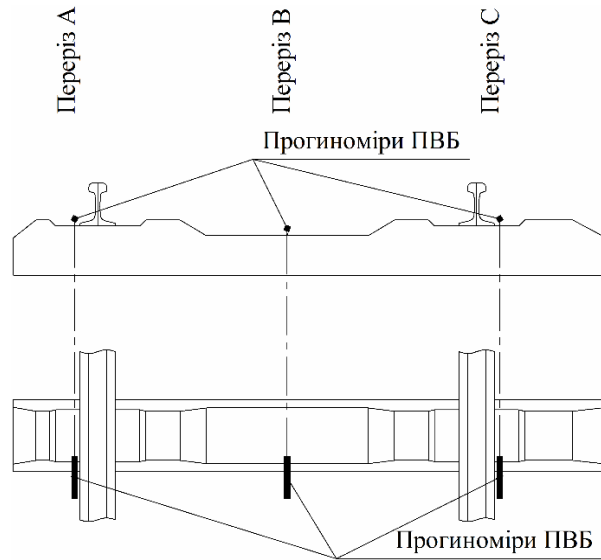


Рис. 7. Схема встановлення прогиномірів вздовж несиметрично вкороченого залізобетонного бруса

Fig. 7. The installation scheme of deflectometer along the asymmetric shortened concrete beam

Схема дослідного поїзда наведена на рис. 8. Поїзд було сформовано з маневрового тепловоза ТГМ6А та двох навантажених чотиривісних напіввагонів на візках 18-100. Заїзди виконувались під час «вікна» у маневровій роботі човником (туди і назад) зі швидкостями до 40 км/год.

навантажені щебенем напіввагони були попередньо зважені і складений відповідний протокол. Вага першого напіввагона склала 898 кН, другого напіввагона – 902 кН.

Кількість заїздів дослідного поїзда, які були реалізовані під час експериментальних досліджень, наведені в табл. 3.

Перед початком випробувань рівномірно

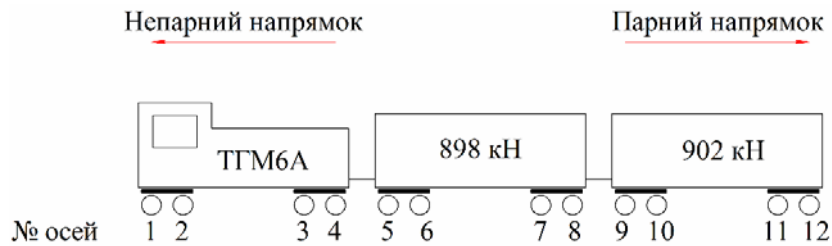


Рис. 8. Дослідний поїзд

Fig. 8. The experimental train

Таблиця 3

Кількість заїздів дослідного поїзда по ділянці

Table 3

The number of arrivals of the experimental train on the site

Швидкість, км/год	Кількість заїздів
5	5
15	15
25	16
40	15

Результати

В результаті статистичної обробки експериментальних даних були отримані середні ($\bar{\sigma}$), максимально ймовірні ($\sigma_{\max}^{\text{ймов}}$) і максимально спостережені в дослідах ($\sigma_{\max}^{\text{спос}}$) значення напружень в кромках підшви рейки. Результати наведені в табл. 4.

Систематизація і групування дослідних даних під час статистичної обробки щодо визначення напружень в кромках підшви рейки виконувались окремо по осях, які набігають на рейки (1+3 вісь для маневрового локомотива ТГМ6А, 5+7+9+11 вісь для вантажних вагонів), і задніх осях (2+4 вісь та 6+8+10+12 вісь відповідно) при непарному русі і відповідною зміною нумерації при парному русі.

Показання вимірювальних приладів по кожній кромці підшви рейки вздовж колії об'єднувались в окремі групи і розглядались під час обробки.

Напруження в кромках підшви рейки від впливу коліс дослідного поїзда визначались для лівої і правої рейкової нитки окремо в кожному конкретному випадку.

Також під час попереднього аналізу результатів розглядались експериментальні дані окремо для кожної осі маневрового локомотива ТГМ6А і навантажених напіввагонів при об'єднанні датчиків по одній стороні рейки. Але істотної зміни у перерозподілі напружень в кромках підшви рейок при такому групуванні даних не спостерігалось. Тому було вирішено в подальшому залишити групування даних саме по осях, які набігають, і задніх осях.

Найбільші значення максимально спостережених напружень в кромках підшви рейок склали:

- по правій рейковій нитці – 148,78 МПа;
- по лівій рейковій нитці – 135,92 МПа.

Аналіз даних табл. 4 засвідчив, що, як і слід було очікувати, найбільші значення напружень по зовнішніх кромках підшви рейок мали місце від впливу коліс, що набігають на рейку.

Як показав аналіз, з вкороченої сторони бруса (права рейкова нитка) напруження несуттєво більші ніж аналогічні для невикороченої частини. У всіх випадках напруження в кромках підшви рейок суттєво менше ніж допустимі 240 МПа.

Статистична обробка експериментальних даних також дала змогу отримати середні (\bar{P}), максимально ймовірні ($P_{\max}^{\text{ймов}}$) та максимально спостережені ($P_{\max}^{\text{спос}}$) значення вертикальних сил, що передаються на рейки від коліс екіпажів під час руху з різними швидкостями (табл. 5).

При реалізації швидкостей руху дослідного поїзда до 40 км/год середні значення вертикальних динамічних сил становили:

- по правій рейковій нитці – 117,14 кН;
- по лівій рейковій нитці – 117,76 кН.

Найбільші значення максимально спостережених вертикальних сил склали:

- по правій рейковій нитці – 152,80 кН;
- по лівій рейковій нитці – 157,73 кН.

При цьому максимально ймовірні значення відповідно склали:

- по правій рейковій нитці – 153,93 кН;
- по лівій рейковій нитці – 167,03 кН.

Аналогічний характер зміни вертикальних сил спостерігається як і при визначенні напружень: в переважній більшості випадків найбільші значення спостерігаються під осями, що набігають на рейки.

У всіх випадках динамічні вертикальні сили не перевищували допустимі 210 кН [8].

Для визначення величин горизонтальних поперечних (бокових) сил використовувався триточковий метод, який був розроблений О. П. Єршковим. Цей метод широко застосовується під час випробувань рухомого складу щодо визначення його впливу на колію та стрілочні переводи [7, 9]. На сьогодні існують і інші методи визначення бокових сил [15], але в межах держав СНД широко застосовується саме метод Шлюмпфа [2, 5, 12]. Як показали дослідження, наведені в [13], розходження між вимірюваннями бокових сил на суцільнокатаному диску колеса і цими двома методами не перевищує 10 кН, що забезпечує достатню збіжність результатів (від 1 до 20 % для методу трьох точок, та від 3 до 18 % для методу Шлюмпфа). В цій роботі для зменшення матеріальних витрат на обладнання дослідної ділянки застосовується метод Єршкова.

Найбільші значення максимально спостережених бокових сил склали:

- по правій рейковій нитці – 68,02 кН;
- по лівій рейковій нитці – 73,45 кН.

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

Більш докладно результати визначення бокових сил наведені в табл. 6.

У всіх випадках бокові сили не перевищували допустимі 120 кН [8].

Під час обробки експериментальних даних було вирішено визначити вплив горизонтальної нерівності, яка знаходиться між 15 та 21 бруса-

ми (див. рис. 5) на величину бокових сил вздовж дослідної ділянки. Для цього отримані значення бокових сил групувались окремо для кожного перерізу колії (переріз 1, 2, 3), а об'єднання осей залишилось без змін (осі, що набігають, та задні).

Таблиця 4

Середні ($\bar{\sigma}$), максимально ймовірні ($\sigma_{\max}^{\text{ймов}}$) і максимально спостережені ($\sigma_{\max}^{\text{спос}}$) значення напружень в кромках підшви рейки, МПа

Table 4

Medium ($\bar{\sigma}$), probable maximum ($\sigma_{\max}^{\text{prob}}$) and the maximum observed ($\sigma_{\max}^{\text{obs}}$) stresses in the edges of the rail flange, MPa

Рухомий склад		ТГМ6А				Напіввагон				
Рейкова нитка		Ліва		Права		Ліва		Права		
Вісь		1	2	1	2	1	2	1	2	
Швидкість руху, км/год	5	$\bar{\sigma}$	82,41	76,89	87,6	68,61	76,2	68,38	70,76	59,09
		$\sigma_{\max}^{\text{ймов}}$	129,54	140,86	163,6	93,05	137,45	123,59	112,71	78,1
		$\sigma_{\max}^{\text{спос}}$	109,63	124,39	148,78	96,24	123,02	104,91	124,95	74,71
	15	$\bar{\sigma}$	76,18	70,89	83,28	67,42	71,84	61,27	67,57	56,35
		$\sigma_{\max}^{\text{ймов}}$	128,14	135,42	154,36	96,67	136,29	118,86	111,21	73,86
		$\sigma_{\max}^{\text{спос}}$	128,33	127,25	138,31	99,61	127,15	117,31	125,95	76,46
	25	$\bar{\sigma}$	71,71	68,88	78,61	68,16	67,49	56,98	67,73	55,14
		$\sigma_{\max}^{\text{ймов}}$	120,19	135,58	147,66	113,74	124,67	110,73	115,77	77,73
		$\sigma_{\max}^{\text{спос}}$	112,09	127,54	143,6	146,49	119,87	115,24	125,15	79,68
	40	$\bar{\sigma}$	77,15	65,83	80,22	69,47	69,18	58,94	66,76	60,18
		$\sigma_{\max}^{\text{ймов}}$	137,75	129,09	141,93	112,77	121,61	111,23	111,3	86,85
		$\sigma_{\max}^{\text{спос}}$	132,07	128,73	135,92	108,8	113,86	113,18	118,17	95,43

Примітка: цифрою 1 позначені осі, які набігають на рейку, цифрою 2 – задні осі

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

Таблиця 5

Середні (\bar{P}), максимально ймовірні ($P_{\max}^{\text{ймов}}$) і максимально спостережені ($P_{\max}^{\text{спос}}$) значення
вертикальних сил, кН

Table 5

Medium (\bar{P}), probable maximum (P_{\max}^{prob}) and the maximum observed (P_{\max}^{obs}) value of the vertical forces, kN

Рухомий склад		ТГМ6А				Напіввагон				
Рейкова нитка		Ліва		Права		Ліва		Права		
Вісь		1	2	1	2	1	2	1	2	
Швидкість руху, км/год	5	\bar{P}	107,54	110,27	117,14	109,48	116,91	117,76	109,03	105,9
		$P_{\max}^{\text{ймов}}$	141,15	132,49	153,93	128,26	167,03	167,22	124,73	120,15
		$P_{\max}^{\text{спос}}$	131,11	124,55	150,16	120,47	131,37	130,49	122,06	116,69
	15	\bar{P}	105,38	104,3	111,63	107,97	116,3	114,5	105,03	100,34
		$P_{\max}^{\text{ймов}}$	137,28	128,99	145,34	129,67	138,77	132,39	122,77	118,94
		$P_{\max}^{\text{спос}}$	129,86	127,28	143,6	152,8	134,27	128,01	121,03	121,13
	25	\bar{P}	103,28	106,07	109,47	105,94	116,25	112,04	104,85	99,73
		$P_{\max}^{\text{ймов}}$	138,17	132,7	143,79	134,27	136,82	128,2	128,44	117,13
		$P_{\max}^{\text{спос}}$	135,32	129,55	137,76	147,42	138,79	128,41	127,94	119,86
	40	\bar{P}	105,19	99,72	110,16	110,8	115,82	111,21	103,51	105,56
		$P_{\max}^{\text{ймов}}$	132,47	116,87	141,97	152,8	152,62	135,94	124,01	129,37
		$P_{\max}^{\text{спос}}$	127,53	112,94	143,09	133,9	157,73	138,01	125,08	131,93

Таблиця 6

Середні (\bar{H}), максимально ймовірні ($H_{\max}^{\text{ймов}}$) і максимально спостережені ($H_{\max}^{\text{спос}}$) значення
бокових сил від осей, які набігають на рейки, кН

Table 6

Medium (\bar{H}), probable maximum (H_{\max}^{prob}) and the maximum observed (H_{\max}^{obs}) value
of the lateral forces from axes that impinging to the rail, kN

Рухомий склад		ТГМ6А		Напіввагон		
Рейкова нитка		Ліва	Права	Ліва	Права	
Швидкість руху, км/год	5	\bar{H}	40,07	44,63	41,54	38,16
		$H_{\max}^{\text{ймов}}$	74,1	72,71	73,57	50,45
		$H_{\max}^{\text{спос}}$	61,37	68,02	66,03	48,37

Рухомий склад		ТГМ6А		Напіввагон		
Рейкова нитка		Ліва	Права	Ліва	Права	
Швидкість руху, км/год	15	\bar{H}	38,38	43,62	39,83	37,93
		$H_{\max}^{\text{ймов}}$	72,75	66,36	73,29	51,11
		$H_{\max}^{\text{спос}}$	67,88	63,39	73,45	49,61
	25	\bar{H}	37,72	42,96	38,88	38,5
		$H_{\max}^{\text{ймов}}$	70,31	63,13	69,85	53,19
		$H_{\max}^{\text{спос}}$	65,79	62,53	64,61	50,56
	40	\bar{H}	35,64	40,32	38,63	38,25
		$H_{\max}^{\text{ймов}}$	73,32	53,23	67,84	51,78
		$H_{\max}^{\text{спос}}$	58,15	56,96	63,91	49,35

Характер зміни бокових сил по лівій рейковій нитці наведено на рис. 9.

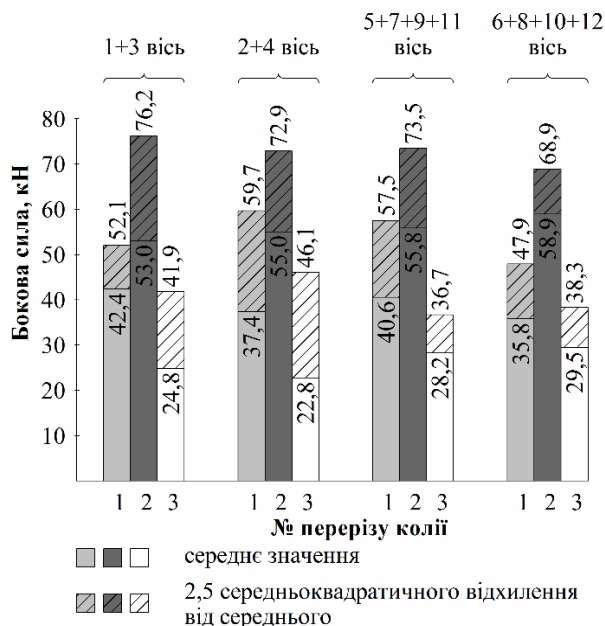


Рис. 9. Значення бокових сил вздовж ділянки для лівої рейкової нитки

Fig. 9. The value of lateral forces along a section of railway track for the left rail

Якісний аналіз бокових сил свідчить про розділення ділянки умовно на три зони:

- зростання бокових сил;
- досягнення максимального значення;
- зменшення бокових сил.

В перерізі 1 значення бокових сил більші ніж переріз 3, але менші ніж переріз 2. Це пояснюється наявністю в місці встановлення приладів найбільшої відстані між осями брусів (775 мм, див. рис. 1).

В перерізі 2 величини бокових сил найбільші, тому що прилади встановлені в зоні горизонтальної нерівності.

В перерізі 3 бокові сили (як середні, так і максимально ймовірні) мають найменші значення. В цьому випадку це можна пояснити зменшенням відстані між осями брусів на відміну від аналогічних брусів в перерізі 1.

Наукова новизна та практична значимість

Вперше були виконані експериментальні дослідження в межах з'єднувальної частини стрілочного з'їзду при використанні несиметрично вкорочених залізобетонних брусів. Отримані результати можна використовувати для проектування симетрично вкорочених брусів, що дозволять, не порушуючи епюру розкладки, вкладати переводи у з'їзд з міжколійям до 5,3 м. Також на основі експериментальних зна-

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

чень різних показників напружено-деформованого стану можна апробувати математичні моделі взаємодії даної ділянки колії та рухомого складу, на основі яких в подальшому удосконалювати вкрай застарілі і досить вичерпні нормативи утримання з'їздів.

Висновки

1. Максимально ймовірні й максимально спостережні значення напружень, що виникають в кромках підшви рейок під час виконання досліджень, не перевищували 163 МПа для локомотива і 137 МПа для вагонів, що суттєво менше ніж допустимі 240 МПа.

2. Середні значення вертикальних сил, які виникають від дії коліс локомотива і вагонів, становить 117 та 118 кН відповідно, максимально ймовірні – 153 та 167 кН, максимально спостережні – 150 та 158 кН. При цьому у всіх випадках отримані значення динамічних вертикальних сил менші ніж допустимі 210 кН.

3. Середні значення бокових сил під осями, які набігають на рейку, зі збільшенням швидкості майже не змінюються і знаходяться в межах 35–40 кН для локомотива та 38–41 кН для вагонів. Максимально ймовірні та максимально спостережні значення бокових сил не перевищують 74 кН та 73 кН відповідно при допустимих 120 кН.

4. Якісно і кількісно проаналізовано вплив горизонтальної нерівності на величину бокових сил в межах дослідної ділянки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Арбузов, М. А. Оценка состояния стрелочных съездов в плане / М. А. Арбузов, А. М. Патласов, С. А. Токарев // Проектирование развития региональной сети железных дорог : сб. науч. тр. / М-во трансп. Рос. Федерации, Федер. агентство ж.-д. трансп., Дальневост. гос. ун-т путей сообщ. – Хабаровск, 2015. – Вып. 3. – С. 23–33.
- Бехер, С. А. Использование быстродействующей тензометрии для контроля поверхности катания колес грузовых вагонов в движении / С. А. Бехер, Л. Н. Степанова, А. О. Коломеец // Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты : тез. докл. VIII междунар. науч.-техн. конф. (3.07–7.07.2013) / Петербург. гос. ун-т путей сообщ. – Санкт-Петербург, 2013. – С. 25–26.
- Даніленко, Е. І. Правила розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість : ЦП-0117 / Е. І. Даніленко, В. В. Рибкін. – Київ : Транспорт України, 2005. – 119 с.
- Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України : ЦП-0269 / Е. І. Даніленко, А. М. Орловський, М. Б. Курган [та ін.]. – Київ : Поліграфсервіс, 2012. – 465 с.
- Кочетков, А. С. Разработка методики контроля дефектов поверхности катания железнодорожных колес в движении по показателям динамики их взаимодействия с рельсами : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.11.13 / Кочетков Антон Сергеевич ; Сиб. гос. ун-т путей сообщ. – Томск, 2011. – 23 с.
- Методика контролю положення стрілочного з'їзду у плані : СТП 06-001:2015 / В. В. Рибкін, М. А. Арбузов, П. В. Панченко, С. О. Токарев. – Київ : Держ. адмін. заліз. трансп. України, 2015. – 10 с.
- Рибкін, В. В. Проведення випробувань з впливу на колію та стрілочні переводи рухомого складу нового покоління з осьовим навантаженням 25 т на вісь / В. В. Рибкін, В. Є. Савлук // Зб. наук. пр. УкрДАЗТ. – Харків, 2012. – Вип. 130. – С. 127–131.
- Рухомий склад залізниць. Норми допустимого впливу на залізничну колію 1520 мм : ДСТУ 7571:2014. – [Чинний від 2014–02–12]. – Київ : Мінекономрозвитку України, 2014. – 33 с. – (Національний стандарт України).
- Савлук, В. Е. Комплексные динамические и по воздействию на путь и стрелочные переводы испытания тепловоза ЗТЭ116У-001 / В. Е. Савлук, Е. А. Торопина // Проблемы та перспективи розвитку заліз. трансп. : тези доп. 74 міжнар. наук.-практ. конф. (15.05–16.05.2014) / М-во освіти та науки України, Дніпропетр. нац. ун-т заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2014. – С. 274–275.
- Сакало, В. И. Контактные задачи железнодорожного транспорта / В. И. Сакало, В. С. Косов. – Москва : Машиностроение, 2004. – 496 с.
- Стратегічний план розвитку залізничного транспорту на період до 2020 року [Електронний ресурс] : затв. наказом М-ва інфраструктури України від 21 груд. 2015 р. № 547. – Режим доступу: <http://mtu.gov.ua/files/Стратегія%20Наказ%20547.pdf>. – Назва з екрана. – Перевірено : 30.08.2016.
- Установление условий обращения вагонов с увеличенной осевой нагрузкой / Ю. С. Ромен, А. М. Орлова, М. С. Тихов, А. В. Завергалюк // Трансп. Рос. Федерации. – 2013. – № 3 (46). – С. 25–35.

13. Шафрановский, А. К. Непрерывная регистрация вертикальных и боковых сил взаимодействия колеса и рельса / А. К. Шафрановский // Тр. ВНИИЖТа. – Москва, 1965. – Вып. 308. – С. 1–95.
14. Abdullayev, S. The determination of admissible speed of locomotives on the railway tracks of the republic of Kazakhstan / S. Abdullayev, N. Tokmurzina, G. Bakyt // Transport problems. – 2016. – № 1 (11). – P. 61–68. doi: 10.20858/tp.2-016.11.1.6.
15. Reducing rail side wear on heavy-haul railway curves based on wheel-rail dynamic interaction / W. Zhai, J. Gao, P. Liu, K. Wang // Vehicle System Dynamics: Intern. J. of Vehicle Mechanics and Mobility. – 2014. – Vol. 52. – Iss. suppl. – P. 440–454. doi: 10.1080/00423114.2014.906633.
16. Patlasov, O. M. The measurement methodology improvement of the horizontal irregularities in plan / O. M. Patlasov, S. O. Tokariev // Наука та прогрес транспорту. – 2015. – № 4 (58). – С. 121–131. doi: 10.15802/stp2015/49219.

М. А. АРБУЗОВ¹, А. М. ПАТЛАСОВ², С. А. ТОКАРЕВ^{3*}

¹Каф. «Путь и путевое хозяйство», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днипро, Украина, 49010, тел./факс +38 (056) 373 15 42, эл. почта 10max@ukr.net

²Каф. «Путь и путевое хозяйство», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днипро, Украина, 49010, тел./факс +38 (056) 373 15 42, эл. почта am_patlasov@ukr.net, ORCID 0000-0003-2081-5648

^{3*}Путеиспытательная отраслевая научно-исследовательская лаборатория, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днипро, Украина, 49010, тел./факс +38 (056) 793 38 45, эл. почта tokarevsergeyaleks@yandex.ua, ORCID 0000-0002-2607-3123

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПУТИ И ПОДВИЖНОГО СОСТАВА В ПРЕДЕЛАХ СЪЕЗДА

Цель. В последнее время в сети железных дорог Украины все больше уделяют внимания случаям нарушения в содержании стрелочных съездов, которые могут привести к ухудшению условий безопасности движения поездов. Такие нарушения, как правило, появляются в результате неточностей при разбивке и укладке съезда, а также являются следствием действия подвижного состава и температурных сил. Появление геометрических неровностей может быть спровоцировано нарушением эпоры раскладки железобетонных брусьев в закрестовинной части съезда при междупутье менее 5,3 м. Поэтому в работе необходимо проанализировать влияние наличия отклонений от эпоры раскладки брусьев и геометрических неровностей на условия взаимодействия пути и подвижного состава, учитывая результаты экспериментальных исследований. Также нужно установить связь между напряженно-деформированным состоянием пути и наличием укороченных брусьев. **Методика.** Исследование влияния отклонений в эпоре раскладки брусьев и геометрических неровностей на условия взаимодействия пути и подвижного состава проводилось путем проведения теоретических расчетов и испытаний. Для проведения экспериментальных исследований был выбран испытательный участок на путях необщего пользования ООО с ИИ «Трансинвестсервис», который отвечал необходимым условиям в рамках научно-исследовательской работы. **Результаты.** Получено распределение напряжений и сил, действующих на путь в зависимости от скорости движения опытного подвижного состава. Также получены данные о влиянии геометрических параметров бруса на его напряженно-деформированное состояние. **Научная новизна.** Авторами впервые была проведена оценка влияния подвижного состава (при наличии геометрических неровностей и несимметрично укороченных брусьев в пределах соединительной части стрелочного съезда) на напряженно-деформированное состояние верхнего строения пути (ВСП) в указанной зоне. Также было проведено сравнение результатов для участка с обычными брусьями и укороченными. **Практическая значимость.** На основе полученных экспериментальных данных было установлено, что при скоростях движения подвижного состава до 40 км/ч напряженно-деформированное состояние ВСП в закрестовинной части стрелочного съезда соответствует условиям прочности и устойчивости. Полученные результаты в дальнейшем можно применить для апробации математических моделей и теоретических исследований по разработке нормативов содержания стрелочного съезда. Уровень полученных вертикальных, боковых сил и напряжений практически не зависит от наличия укороченной части брусьев, которые уложены в съезд.

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

Ключевые слова: стрелочный съезд; несимметричные брусья; экспериментальные исследования; напряжение; вертикальные и боковые силы

М. А. ARBUZOV¹, О. М. PATLASOV², С. О. TOKARIEV^{3*}

¹Dep. «Railway Track and Track Facilities», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 42, e-mail 10max@ukr.net

²Dep. «Railway Track and Track Facilities», Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 42, e-mail am_patlasov@ukr.net, ORCID 0000-0003-2081-5648

^{3*}Track-test Branch Research Laboratory, Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 793 38 45, e-mail tokarevsergeyaleks@yandex.ua, ORCID 0000-0002-2607-3123

EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF INTERACTION OF TRACK AND ROLLING STOCK ON CROSSOVERS

Purpose. Recently on the Ukrainian railways network more attention is paid to the cases of violations in the maintenance of crossovers, which may lead to deterioration of the train traffic safety conditions. As a rule, such violations occur as a result of inaccuracies during crossover pegging and laying, as well as are the consequence of impact of rolling stock and thermal forces. The appearance of geometrical irregularities can also be triggered by violation of the scheme of layout of concrete sleepers in the crossover turnout curve with intertrack spaces of less than 5.3 m. Therefore, we have decided to analyze the impact of the presence of deviations from the layout scheme of the sleepers and geometric irregularities on the conditions of track and rolling stock interaction based on the results of experimental investigations. It was also decided to establish a connection between the stress-strain states of the track and the presence of short sleepers. **Methodology.** The effect of deviations from the layout scheme of the sleepers and geometric irregularities on the interaction conditions of track and rolling stock was studied by means of theoretical calculations and experimental research. The experimental research covered the area on the non-public railway tracks that meets the required conditions for scientific and research work on the territory of «Transinvestservice» company. **Findings.** The distribution of stresses and forces acting on a railway track depending on speed movement of experienced rolling stock was obtained. In addition we obtained the data on the influence of the sleeper geometric parameters on its stress-strain state. **Originality.** For the first time the paper assessed the impact of rolling stock in the presence of geometrical irregularities and asymmetrically truncated sleepers within the crossover connection part on the stress-strain state of track in this zone. In addition, we compared the results for the area with common and shortened sleepers. **Practical value.** The obtained experimental data allowed determining that the stress-strain state of the track structure in the crossover turnout curve at rolling stock speeds of up to 40 km/h fulfills the conditions of strength and stability. These results can be used to test mathematical models and theoretical studies on the development of standards for the maintenance of crossovers. The level of the obtained vertical, lateral forces and stresses practically does not depend on the presence of the truncated part of the sleepers, which are stacked in crossovers.

Keywords: crossovers; unsymmetrical sleepers; experimental investigations; stresses; vertical and lateral forces

REFERENCES

1. Arbuzov M.A., Patlasov A.M., Tokariev S.O. Otsenka sostoyaniya strelochnykh sezдов v plane (The evaluation of crossovers in the plan). *Sbornik nauchnykh trudov «Proyektirovaniye razvitiya regionalnoy seti zheleznykh dorog»* [Proc. «Designing of the regional railway network development»], 2015, issue 3, pp. 23-33.
2. Bekher S.A., Stepanova L.N., Kolomeets A.O. Ispolzovaniye bystrodeystvuyushchey tenzometrii dlya kontrolya poverkhnosti kataniya koles gruzovykh vagonov v dvizhenii [Using of the fast-acting tensometry for the rolling wheels surface control of freight cars in motion]. *Tezisy dokladov VIII mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Podvizhnoy sostav XXI veka: idei, trebovaniya, proekty (3.07-7.07.2013)»* [Abstracts of the 8th Int. Sci. and Technical Conf. «XXII Century Rolling Stock: Ideas, Requirements, Projects»]. Saint Petersburg, 2013, p. 25-26.
3. Danilenko E.I., Rybkin V. V. *Pravyla rozrakhunkiv zaliznychnoi kolii na mitsnist i stiikist: TsP-0117* [Settlement rules of railway track for strength and stability]. Kyiv, Transport Ukrainy Publ., 2005. 119 p.

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

4. Danilenko E.I., Orlovskiy A.M., Kurhan M.B., Yakovliev V.O. *Instruktsiia z ulashtuvannia ta utrymannia kolii zaliznyts Ukrainy: TsP-0269* [Instruction of the structure and maintenance of the railway track on Ukrainian railways]. Kyiv, Polihrafservis Publ., 2012. 465 p.
5. Kochetkov A.S. Razrabotka metodiki kontrolya defektov poverkhnosti kataniya zheleznodorozhnykh koles v dvizhenii po pokazatelyam dinamiki ikh vzaimodeystviya s relsami. Avtoreferat Diss. [The control method development of the rolling surface defects of railway wheel by assessment of their interaction dynamics with rails in the motion. Author's abstract]. Tomsk, 2011. 23 p.
6. Rybkin V.V., Arbutov M.A., Panchenko P.V., Tokariiev S.O. *Metodyka kontroliu polozhennia strilochnoho zizdu u plani: STP 06-001:2015* [The method of the position control of crossovers in plan]. Kyiv, Derzhavna administratsiia zaliznychnoho transportu Ukrainy Publ., 2015. 10 p.
7. Rybkin V.V., Savluk V.Ye. Provedennia vyprobuvan z vplyvu na koliiu ta strilochni perevody rukhomoho skladu novoho pokolinnia z osovym navantazhenniam 25 t na vis [Conducting tests on the effect on the railway track and turnouts new generation of rolling stock with an axial load of 25 t per axle]. *Zbirnyk naukovykh prats Ukrainskoi derzhavnoi akademii zaliznychnoho transport* [Proc. of Ukrainian State University of Railway Transport], 2012, issue 130, pp. 127-131.
8. *Rukhomyi sklad zaliznyts. Normy dopustymoho vplyvu na zaliznychnu koliiu 1520 mm: DSTU 7571:2014* [Railway rolling stock. Permissible impact norms on the railway track of 1520 mm]. Kyiv, Minekonomrozyvnytku Ukrainy Publ., 2014. 33 p.
9. Savluk V.Ye., Toropina Ye.A. Kompleksnyye dinamicheskiye i po vozdeystviyu na put i strelochnyye perevody ispytaniya teplovoza 3TE116U-001 [Complex dynamic tests and effect on railway track and turnouts of the diesel locomotive 3TE116U-001]. *Tezy dopovidei 74 mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Problemy ta perspektivy rozvytku zaliznychnoho transportu (15.05-16.05.2014)»* [Abstracts of the 74th Int. Sci. and Practical Conf. «The problems and prospects of railway transport development»]. Dnipropetrovsk, 2014, pp. 274-275.
10. Sakalo V.I., Kossov V.S. *Kontaktnyye zadachi zheleznodorozhnogo transporta* [Contact tasks of railway transport]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 2004. 496 p.
11. *Stratehichnyi plan rozvytku zaliznychnoho transportu na period do 2020 roku: № 547* (Strategic plan for the development of railway transport for the period till 2020 year. No. 547). Available at: <http://mtu.gov.ua/files/Стратегія%20Наказ%20547.pdf> (Accessed 30 August 2016).
12. Romen Yu.S., Orlova A.M., Tikhov M.S., Zavertalyuk A.V. Ustanovleniye usloviy obrashcheniya vagonov s uvelichennoy osevoy nagruzkoy [The establishment of condition for passing cars with increased axle load]. *Transport Rossiyskoy Federatsii – Transport of the Russian Federation*, 2013, issue 3, pp. 25-35.
13. Shafranovskiy A.K. Nepreryvnaya registratsiya vertikalnykh i bokovykh sil vzaimodeystviya koleasa i relsa [Continuous registration of vertical and lateral forces between wheel-rail interaction]. *Trudy Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta* [Proc. of All-Russian Research Institute of Railway Transport], 1965, issue 308, pp. 1-95.
14. Abdullayev S., Tokmurzina N., Bakyt G. The determination of admissible speed of locomotives on the railway tracks of the republic of Kazakhstan. *Transport Problems*, 2016, vol. 11, issue 1, pp. 61-68. doi: 10.20858/tp.2016.11.1.6.
15. Zhai W., Gao J., Liu P., Wang K. Reducing rail side wear on heavy-haul railway curves based on wheel-rail dynamic interaction. *Vehicle System Dynamics: Intern. Journal of Vehicle Mechanics and Mobility*, 2014, vol. 52, issue suppl, pp. 440-454. doi: 10.1080/00423114.2014.906633.
16. Patlasov O.M., Tokariiev S.O. The measurement methodology improvement of the horizontal irregularities in plan. *Nauka ta prohres transportu – Science and Transport Progress*, 2015, issue 4, pp. 121-131, doi: 10.15802/stp2015/49219.

Стаття рекомендована до публікації, д.т.н., проф. В. Д. Петренко (Україна); д.т.н., проф. О. М. Даренським (Україна)

Надійшла до редколегії: 30.06.2016

Прийнята до друку: 20.09.2016