ISSN 2307–3489 (Print), ISSN 2307–6666 (Online)

Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту, 2015, № 6 (60)

УДК 625.1.033.3

В. П. ВЕЛІНЕЦЬ[1*]

[1*]Каф. «Залізнична колія та колійне господарство», Державний економіко-технологічний університет транспорту, вул. М. Лукашевича, 19, Київ, Україна, 03049, тел. +38 (044) 591 51 47, ел. пошта velinets@hotmail.com, ORCID 0000-0002-5438-5378

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ГОРИЗОНТАЛЬНОЇ ПОПЕРЕЧНОЇ ЖОРСТКОСТІ РЕЙКОВИХ НИТОК ПРИ РІЗНИХ КОНСТРУКЦІЯХ РЕЙКОВИХ СКРІПЛЕНЬ

Мета. Розрахунок залізничної колії на міцність є одним із складних розділів загальної проблеми дослідження взаємодії колії та рухомого складу. В статті описано експериментальні дослідження горизонтальної поперечної жорсткості рейкових ниток при різних конструкціях рейкових скріплень. Матеріали даної статті мають бути актуальними і дадуть можливість виконувати розрахунки залізничної колії на міцність із застосуванням правильних і відкоригованих характеристик горизонтальної поперечної жорсткості рейкових ниток. **Методика.** Визначення горизонтальної поперечної жорсткості рейкових ниток при різних конструкціях рейкових скріплень було проведено шляхом вимірювань величин поперечних переміщень розрахункових точок рейки, а саме – головки й підошви. Для проведення досліджень було створено спеціальне обладнання, яке складалось з колійного домкрата ДК-20, обладнаного гідравлічним манометром для вимірювання тиску, та жорсткої горизонтальної штанги для упору в рейкову нитку, протилежну від домкрату. Бокові переміщення головки і підошви рейки фіксувались та вимірювались індикаторами годинникового типу з точністю до сотих часток міліметра. Горизонтальне поперечне навантаження на рейку створювалось домкратом шляхом нагнітання тиску в робочому циліндрі, що фіксувалось манометром, вбудованим у тіло домкрату. Навантаження рейки проводилось ступенями через 2 т в інтервалі від 0 до 8 т. Для отримання достовірних результатів вимірювання бокового переміщення головки та підошви рейки проводилось для кожного типу скріплень не менше, ніж в 3 перерізах. Вимірювання проводились без створення вертикального навантаження. **Результати.** За допомогою розробленої методики було знайдено величини поперечних переміщень розрахункових точок рейки при різних конструкціях рейкових скріплень. **Наукова новизна.** За експериментальними дослідженнями вперше були знайдені значення горизонтальної поперечної жорсткості рейкових ниток по головці та підошві для різних сучасних конструкцій рейкових скріплень. **Практична значимість.** Знайдені авторами значення характеристик горизонтальної поперечної жорсткості рейкових ниток по головці і підошві для різних сучасних конструкцій рейкових скріплень дають можливість виконувати розрахунки залізничної колії на міцність із використанням правильних та відкоригованих значень цих характеристик.

Ключові слова: залізнична колія; рейка; жорсткість рейкової нитки; переміщення

Вступ

Найважливішими розрахунковими параметрами залізничної колії є характеристики просторової пружності рейкових, які характеризують здатність опору рейкових ниток зовнішнім силовим впливам. Вивчення характеристик просторової пружності рейкових ниток необхідне для розв'язання задач з розрахунку рейок на міцність в повній постановці, тобто при спільній дії на колію вертикальних і горизонтальних сил. При повній постановці аналітичного розв'язання задачі необхідно з достатньою точністю враховувати дію на рейкову нитку всіх зовнішніх сил і при цьому спільно розглядати виникаючі в рейковій нитці деформації: вертикальний і горизонтальний вигин рейкової нитки і її кручення.

До характеристик просторової жорсткості рейкової нитки відносять жорсткості у вертикальній і горизонтальній площині і жорсткості рейкової нитки при крученні та пов'язані із ними функціонально модулі пружності вертикальній і горизонтальній площині і модуль пружності при крученні.

Враховуючи те, що головними зовнішніми діючими силами на рейкову нитку є вертикальна і горизонтальна динамічні сили ($P_{\text{дин}}$; $H_{\text{дин}}$), які передаються від колеса на рейку, а також беручи до уваги те, що методика інженерних

doi: 10.15802/stp2015/57018 © В. П. Велінець, 2015

ISSN 2307–3489 (Print), ISSN 2307–6666 (Online)

Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту, 2015, № 6 (60)

розрахунків на міцність під дією вертикальних динамічних сил $P_{дин}$ достатньо детально розроблена і описана в довідкових виданнях [6, 7], в цій статті йтиметься про визначення характеристик жорсткості рейкової нитки β_y.

У затвердженій методиці інженерних розрахунків колії на міцність [7] вплив на роботу рейки горизонтальних динамічних сил враховується не безпосередньо, а опосередковано – тільки через застосування коефіцієнтів впливу, які взяті із експериментальних досліджень і в багатьох випадках не мають точного підтвердження для конкретних розрахунків. Тому вивчення характеристик горизонтальної поперечної жорсткості β_y є надзвичайно важливим.

Мета

В статті описано експери-ментальні дослідження горизонтальної попе-речної жорсткості рейкових ниток при різних конструкціях рейкових скріплень. Отримані значення жорсткості рейкових ниток дадуть можливість виконувати розрахунки залізничної колії на міцність із використанням правильних і відкоригованих даних.

Методика

Огляд і аналіз наукових праць, які виконані вченими в галузі вивчення характеристик вертикальної жорсткості і характеристик горизонтальної поперечної та поздовжньої жорсткості рейкової нитки, свідчить про те, що для визначення цих характеристик було приділено велику увагу.

У великій кількості існуючих досліджень характеристики вертикальної жорсткості розглядалися окремо від характеристик горизонтальної поперечної та поздовжньої жорсткості рейкової нитки [1, 2, 5]. У деяких із праць характеристики горизонтальної і вертикальної жорсткості подані разом [8].

В процесі експериментальних досліджень, виконаних різними науково-дослідними організаціями і вузами залізничного транспорту, були досліджені характеристики жорсткості рейкових ниток, які наведені у спеціальній довідковій літературі і в нормативних документах [1, 3, 5, 6, 11, 12, 13, 14] (див. табл. 1).

Ці дані використовуються в наш час всіма дослідниками з проблем взаємодії колії і рухомого складу, а також при розрахунках колії на міцність і стійкість.

Таблиця 1

Значення жорсткості рейкової нитки β_y для різних конструкцій колії

Table 1

The value of the stiffness of the rail thread β_y for different designs of a track

Конструкція колії	Тип рейки	Кількість шпал на 1 км	Тип скріплень	Горизонтальна поперечна жорсткість рейкової нитки, кН/мм	
				отримані значення	
				$\beta^{гол}_{у(ср)}$	$\beta^{під}_{у(ср)}$
Колія на залізобетонних шпалах	Р65	1 840	КБ	17−23 [3] 18,7 [10]	37−58 [3] 45,4 [3] 64,9 [10]
			ЖБ	8−12 [3] 12,0 [10]	25−40 [3] 31,6 [3] 19,5 [10]
Колія на дерев'яних шпалах	Р65	1 840 1 920 2 000	Д0	16−22 [3] 19,2 [10]	32−48 [3] 35,0 [3] 43,5 [10]
	Р50	1 600	Д0	12,6 [5]	25,2 [5]
		1 840		13,5 [5]	27,0 [5]
		1 920		13,8 [5]	27,6 [5]
		2000		-	-
	Р43	1 600	Д0	10,9 [5]	21,8 [5]
		1 840		11,8 [5]	23,6 [5]
		1 920		12,1 [5]	24,2 [5]
		2 000		-	-

Однак, по-перше, треба зазначити, що наведена довідкова література була розроблена 40−50 років тому на підставі аналізу старих конструкцій верхньої будови колії і конструкцій скріплень, що застосовувались на той час, тому використання застарілих довідкових даних для сучасних конструкцій колії і рейкових скріплень не є правильним; по-друге, аналіз багатьох досліджень з визначення пружно-динамічних параметрів колії, що виконані за

doi: 10.15802/stp2015/57018
© В. П. Велінець, 2015

ISSN 2307–3489 (Print), ISSN 2307–6666 (Online)

Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту, 2015, № 6 (60)

останні 50 років, дає дуже великий і неоднозначний спектр результатів щодо різних аналізованих конструкцій залізничної колії; потретє, як з'ясувалось, натурна жорсткість рейкових ниток відрізняється від розрахункових значень, які зазвичай приймаються для розрахунків колії на міцність і стійкість. Таким чином, постає питання про коректність використання існуючих застарілих розрахункових даних для реального розрахунку колії на міцність і стійкість.

На кафедрі «Залізнична колія та колійне господарство» ДЕТУТ автором під керівництвом проф. Е. І. Даніленка було розроблено методику досліджень для визначення горизонтальної поперечної жорсткості рейкових ниток шляхом вимірювань величин поперечних переміщень розрахункових точок рейки, а сааме: головки і підошви рейки. Дослідження були виконані на ділянках з проміжними скріпленнями типів КБ, КПП-5, КПП-1, СБ-3, Д0. Для виконання експериментальних досліджень були обрані рейкові пліті в діючій колії із наступними технічними параметрами:

- тип рейки – Р65, Р50;
- тип шпали – залізобетонні і дерев'яні;
- тип проміжного скріплення: при залізобетонних шпалах – КБ, КПП-5, КПП-1, СБ-3; при дерев'яних шпалах – Д0.

Вимірювання виконувались в 2014−2015 рр. протягом 6 місяців на ділянках колії, які знаходяться на території ДТГО «Південно−Західна залізниця», а саме на головних коліях в межах станцій: ст. Київ−Волинський; ст. Вишневе; ст. Київ−Пасажирський; ст. Протасів Яр; ст. Київ−Московський.

При дослідженнях визначали поперечну горизонтальну жорсткість рейкових ниток по головці і підошві, для чого відслідковували величину поперечних переміщень кромок головки і підошви рейки у фіксованих перерізах, де прикладалась поперечна горизонтальна сила.

Для виконання досліджень було створено спеціальне обладнання, яке складалось з колійного домкрата ДК-20, обладнаного гідравлічним манометром для вимірювання тиску, і жорсткої горизонтальної штанги для упору в рейкову нитку, протилежну від домкрата. Бокові переміщення головки і підошви рейки фіксувались і вимірювались індикаторами годинникового типу з точністю до сотих часток міліметра.

Загальний вигляд розстановки приладів при виконанні досліджень з вимірювання поперечної горизонтальної жорсткості рейкових ниток наведений на рис. 1 і 2.



Рис. 1. Загальний вигляд розстановки приладів

Fig. 1. General view of the devices alignment

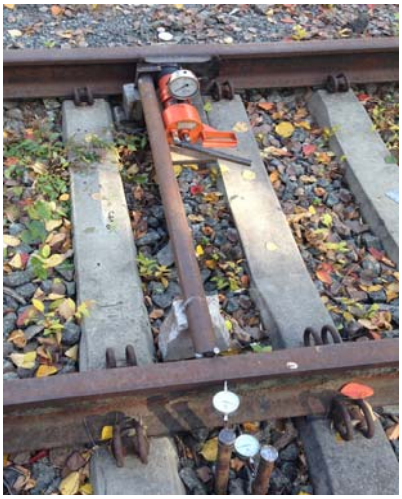


Рис. 2. Загальний вигляд розстановки приладів (в перерізі вимірювань)

Fig. 2. General view of the devices alignment (a section measurements)

Горизонтальне поперечне навантаження на рейку створювалось домкратом шляхом нагнітання тиску в робочому циліндрі, що фіксувалось манометром, вбудованим в тіло домкрата. Навантаження рейки виконувалось ступенями через 2 т в інтервалі від 0 до 8 т. Для отримання достовірних результатів вимірювання бокового переміщення головки і підошви рейки виконувалось для кожного типу скріплень не менше ніж в трьох перерізах.

doi: 10.15802/stp2015/57018
© В. П. Велінець, 2015

ISSN 2307–3489 (Print), ISSN 2307–6666 (Online)

Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту, 2015, № 6 (60)

Вимірювання виконувались без створення вертикального навантаження.

До початку досліджень манометр горизонтального тиску був протарований в лабораторії інституту електрозварювання ім. Є. О. Патона Національної академії наук України.

Слід сказати, що залежність горизонтальних переміщень головки і підошви рейки від горизонтального навантаження є істотно нелінійною, тому що спочатку відбувається вибірка люфтів в деталях кріплення рейки до шпали і тільки на другому етапі (приблизно після прикладеного навантаження H=40 кН і більше) відбувається саме бокове переміщення рейкової нитки від дії горизонтальної сили. Тому при аналізі і обробці матеріалів експериментальних досліджень при визначенні горизонтальної бокової жорсткості рейкових ниток приймались до статистичної обробки тільки результати замірів бокових прогинів головки і підошви рейки ($y_{\text{гол}}$; $y_{\text{під}}$), які були отримані при дії бокових сил H=40,60,80 кН. В результаті в остаточну таблицю (табл. 2) заносились середні значення бокових переміщень головки і підошви рейки, отримані по трьох перерізах ($y^{\text{ср}}_{\text{гол}}$; $y^{\text{ср}}_{\text{під}}$). Бокову поперечну жорсткість рейкових ниток знаходили при відсутності вертикальної сили P і визначали відповідно до існуючої методики [1, 9], як відношення прикладеної до рейки сили $H_{\text{бок}}$ до поперечного переміщення:

$$\beta^{\text{гол}}_{\text{у}} = H \big/ y^{\text{ср}}_{\text{гол}};$$

$$\beta^{\text{під}}_{\text{у}} = H \big/ y^{\text{ср}}_{\text{під}}. \qquad (1)$$

Нижче в табл. 2 наведені результати вимірювань пружних горизонтальних переміщень головки і підошви рейок Р65 ($y^{\text{ср}}_{\text{гол}}$; $y^{\text{ср}}_{\text{під}}$) при різних значеннях горизонтальної бокової сили H, а також при різних типах рейкових скріплень і різних видах шпал, укладених із епюрою 1 840 шт/км.

В тій же табл. 2 наведені значення горизонтальної поперечної жорсткості рейкових ниток, які визначені за формулами (1). Як наслідок, за результатами вимірювань бокових переміщень рейкових ниток по головці і підошві при дії бокових сил H=40,60,80 кН (тобто без урахування деформацій рейок, що витрачаються на вибірку люфтів в деталях скріплень) визначались осереднені значення жорсткості рейкових ниток по головці і підошві ($\beta^{\text{гол}}_{\text{у(ср)}}$; $\beta^{\text{під}}_{\text{у(ср)}}$), як середнє арифметичне значення від замірів не менше ніж в трьох перерізах, при різних значеннях бокових сил за формулою (2).

$$\left.\begin{aligned} \beta^{\text{гол}}_{\text{у(ср)}} &= \frac{\sum(\beta^{\text{гол}}_{y(P=40)} + \beta^{\text{гол}}_{y(P=60)} + \beta^{\text{гол}}_{y(P=80)})}{3} \\ \beta^{\text{під}}_{\text{у(ср)}} &= \frac{\sum(\beta^{\text{під}}_{y(P=40)} + \beta^{\text{під}}_{y(P=60)} + \beta^{\text{під}}_{y(P=80)})}{3} \end{aligned}\right\} \qquad (2)$$

Діапазон бокових сил H=40,60,80 кН при визначенні бокової жорсткості рейкових ниток розглядався як найбільш реальний діапазон цих сил, що реалізуються при динамічній взаємодії рухомого складу і колії.

Результати

За допомогою розробленої методики було знайдено величини поперечних переміщень розрахункових точок рейки при різних сучасних конструкціях рейкових скріплень і визначено горизонтальну поперечну жорсткість рейкових ниток за розробленою методикою. Результати наведені в табл. 2.

Наукова новизна та практична значимість

За експериментальними дослідженнями вперше були знайдені значення горизонтальної поперечної жорсткості рейкових ниток по головці і підошві для різних сучасних конструкцій рейкових скріплень. Знайдені значення горизонтальної поперечної жорсткості рейкових ниток по головці і підошві для різних конструкцій рейкових скріплень дають можливість виконувати розрахунки залізничної колії на міцність із використанням правильних і відкоригованих характеристик.

Висновки

В цілому за експериментальними дослідженнями встановлено значення горизонтальної поперечної жорсткості рейкових ниток при різних типах рейкових скріплень. Матеріали цієї статті є актуальними і дадуть можливість виконувати розрахунки залізничної колії на міцність із застосуванням правильних і відкоригованих характеристик просторової жорсткості.

doi: 10.15802/stp2015/57018
© В. П. Велінець, 2015

ISSN 2307–3489 (Print), ISSN 2307–6666 (Online)

Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту, 2015, № 6 (60)

Таблиця 2

Результати вимірювань

Table 2

Measurement results

Тип ВБК			Бокова сила H, кН	Переміщення головки і підошви рейки, мм		Горизонтальна поперечна жорсткість рейкових ниток, кН/мм			
Тип шпал	Тип рейкових скріплень	Тип рейки		$y_{гол}^{ср}$	$y_{під}^{ср}$	$\beta_{у}^{гол}$	$\beta_{у(ср)}^{гол}$	$\beta_{у}^{під}$	$\beta_{у(ср)}^{під}$
Залізобетонні шпали, 1 840 шт/км	КБ	Р-65	0	0	0	0	0	0	0
			40	2,04	1,01	19,41		39,71	
			60	3,54	1,54	16,93	17,71	38,84	38,92
			80	4,77	2,09	16,78		38,21	
	КБ	Р-50	–	–	–	–	12,68	–	31,41
	КПП-5	Р-65	0	0	0	0	0	0	0
			20	1,04	0,25	19,29		80,01	
			40	2,14	0,51	18,68	18,80	77,80	72,44
			60	3,17	0,90	18,91		66,60	
			80	4,37	1,23	18,32		65,26	
	КПП-1	Р-65	0	0	0	0	0	0	0
			20	1,09	0,28	18,30		70,90	
			40	2,25	0,58	17,74	17,87	69,26	68,27
			60	3,36	0,92	17,84		64,66	
			80	4,54	–	17,61		–	
	СБ-3	Р-65	0	0	0	0	0	0	0
			60	4,49	1,39	13,35	14,20	43,19	51,00
			80	5,31	1,36	15,06		57,87	
Дерев'яні шпали, 1 840 шт/км	Д0	Р-65	–	–	–	–	19,20*	–	35,73***
		Р-50	–	–	–	–	13,50**	-	27,00**
		Р-43	–	–	–	–	11,80**	–	23,60**

* – за даними ВНДІЗТ

** – за даними проф. О. П. Єршкова [5]

*** – по перерахунку від жорсткості Р50 прийнятої за даними проф. О. П. Єршкова [2, 5]

doi: 10.15802/stp2015/57018

© В. П. Велінець, 2015

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бесстыковой путь / под ред. В. Г. Альбрехта, Е. М. Бромберга. – Москва : Транспорт, 1982. – 204 с.
2. Бондаренко, И. А. К вопросу об определении модуля упругости пути в вертикальной плоскости / И. А. Бондаренко // Зб. наук. пр. Київського ун-ту економіки і технологій трансп. Сер. : Трансп. системи і технології. – Київ, 2004. – Вип. 5. – С. 14–25.
3. Вериго, М. Ф., Взаимодействие пути и подвижного состава / М. Ф. Вериго, А. Я. Коган. – Москва : Транспорт, 1984. – 559 с.
4. Ершков, О. П. Расчет рельса на действие боковых сил в кривых / О. П. Ершков // Тр. ВНИИЖТа. – Москва, 1940. – Вып. 192. – С. 5–59.
5. Ершков, О. П. Характеристики пространственной упругости рельсовой нити / О. П. Ершков // Тр. ВНИИЖТа. – Москва, 1940. – Вып. 192. – С. 59–101.
6. Даніленко, Е. І. Залізнична колія. Улаштування, проектування і розрахунки, взаємодія з рухомим складом : підручник для вищ. навч. закл. : у 2 т. / Е. І. Даніленко. – Київ : Інпрес, 2010. – 2 т.
7. Правила розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість / під ред. Е. І. Даніленко. – Київ : Транспорт України, 2004. – 148 с.
8. Тимошенко, С. П. Метод исследований статистических и динамических напряжений в рельсе / С. П. Тимошенко // Статист. и динам. проблемы теории упругости. – Киев : Наук. думка, 1975. – С. 209–220.
9. Тимошенко, С. П. Напряжения в железнодорожном рельсе / С. П. Тимошенко // Статист. и динам. проблемы теории упругости. – Киев : Наукова думка, 1975. – С. 318–355.
10. Уманов, М. И. Исследования напряженно-деформированного состояния пути со скреплением КПП / М. И. Уманов, В. В. Ковалев, С. Н. Сова // Вісн. Дніпропетр. нац. ун–ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2003. – Вип. 2. – С. 101–105.
11. Experimental study on the transverse stiffness of WJ-8 rail fastening / C. Liu, Zh. Zeng, B. Wu [et al.] // Applied Mechanics and Materials. – 2014. – Vol. 596. – P. 3–6. doi: 10.4028/www.scientific.net/amm.596.3.
12. Quantification of Lateral Forces in Concrete Sleeper Fastening Systems Under Heavy Haul Freight Loads [Електронний ресурс] / D. E. Holder, B. A. Williams, M. S. Dersch [et al.] // 11th Intern. Heavy Haul Association Conf. (21.06.–24.06.2015). – Perth, Australia, 2015. – Режим доступу: http://railtec.illinois.edu/articles/Files-/Conference%20Proceedings/2015/IHHA%202015%20Paper%20219%20Holder_Final.pdf. – Назва з екрана. – Перевірено : 4.11.2015.
13. Tests on lateral resistance in railway tracks during the operation of a tamping machine / W. Koc, A. Wilk, P. Chrostowski, S. Grulkowski // Proc. of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: J. of Rail and Rapid Transit. – 2011. – Vol. 225. – Iss. 3. – P. 325–340. doi: 10.1243/09544097jrrt324.
14. Wayside system for wheel–rail contact forces measurements / D. Milkovic´, G. Simic´, Z˘. Jakovljevic´ [et al.] // Measurement. – 2013. – Vol. 46. – P. 3308–3318. doi: 10.1016/j.measurement.2013.06.017.

В. П. ВЕЛИНЕЦ[1*]

[1*]Каф. «Железнодорожный путь и путевое хозяйство», Государственный экономико-технологический университет транспорта, ул. Н. Лукашевича, 19, Киев, Украина, 03049, тел. +38 (044) 591 51 47, эл. почта velinets@hotmail.com, ORCID 0000-0002-5438-5378

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПОПЕРЕЧНОЙ ЖЕСТКОСТИ РЕЛЬСОВЫХ НИТЕЙ ПРИ РАЗНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ РЕЛЬСОВЫХ СКРЕПЛЕНИЙ

Цель. Расчет железнодорожного пути на прочность является одним из сложных разделов общей проблемы исследования взаимодействия пути и подвижного состава. В статье описаны экспериментальные исследования горизонтальной поперечной жесткости рельсовых нитей при разных конструкциях рельсовых скреплений. Материалы данной статьи должны быть актуальными и дадут возможность выполнять расчеты железнодорожного пути на прочность с применением правильных и откорректированных характеристик гори-

doi: 10.15802/stp2015/57018 © В. П. Велінець, 2015

ISSN 2307–3489 (Print), ISSN 2307–6666 (Online)

Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту, 2015, № 6 (60)

зонтальной поперечной жесткости рельсовых нитей. **Методика.** Определение горизонтальной поперечной жесткости рельсовых нитей при разных конструкциях рельсовых скреплений было проведено путем измерений величин поперечных перемещений расчетных точек рельса, а именно – головки и подошвы. Для проведения исследований было создано специальное оборудование, которое состояло из путевого домкрата ДК-20, оборудованного гидравлическим манометром для измерения давления, и жесткой горизонтальной штанги для упора в рельсовую нить, противоположную от домкрата. Боковые перемещения головки и подошвы рельса фиксировались и измерялись индикаторами часового типа с точностью до сотых долей миллиметра. Горизонтальная поперечная нагрузка на рельс создавалась домкратом путем нагнетания давления в рабочем цилиндре, фиксировалось манометром, встроенным в тело домкрата. Нагружение рельса проводилось ступенями через 2 т в интервале от 0 до 8 т. Для получения достоверных результатов измерение бокового перемещения головки и подошвы рельса проводилось для каждого типа скреплений не менее, чем в 3 сечениях. Измерение проводились без создания вертикальной нагрузки. **Результаты.** С помощью разработанной методики были найдены величины поперечных перемещений расчетных точек рельса при различных конструкциях рельсовых скреплений. **Научная новизна.** По экспериментальным исследованиям впервые были найдены значения горизонтальной поперечной жесткости рельсовых нитей по головке и подошве для различных современных конструкций рельсовых скреплений. **Практическая значимость.** Найденные автором значения характеристик горизонтальной поперечной жесткости рельсовых нитей по головке и подошве для различных современных конструкций рельсовых скреплений дают возможность выполнять расчеты железнодорожного пути на прочность с использованием правильных и откорректированных значений этих характеристик.

Ключевые слова: железнодорожный путь; рельс; жесткость рельсовой нити; перемещения

V. P. VELINETS[1*]

[1*]Dep. «Railroad and Track Facilities», State Economic and Technological University of Transport, Lukashevich St., 19, Kyiv, Ukraine, 03049, tel. +38 (044) 591 51 47, e-mail velinets@hotmail.com, ORCID 0000-0002-5438-5378

EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF HORIZONTAL LATERAL STIFFNESS OF RAILS UNDER DIFFERENT DESIGNS OF RAIL FASTENERS

Purpose. Calculation of a railway track on the strength is one of the sections of the overall complex research problems of interaction track and rolling stock. This paper describes the experimental study of horizontal transverse stiffness of railway rails with various strands of rail fasteners. Materials of this article should be relevant and will make it possible to calculate the strength of railway track using the correct and corrected performance of horizontal transverse stiffness of rail threads. **Methodology**. Determination of horizontal transverse rigidity of rail yarns with different designs of rail fasteners was conducted by measuring the quantities of transverse displacement of rails calculation points – namely the head and sole. For research the specialist equipment was created, made up of lineside jack DC-20, equipped with a hydraulic pressure gauge to measure pressure and rigid rod for horizontal rail stop in the thread, the opposite of the jack. Lateral movement of the head and sole of the track were recorded, and measured with indicators of clock type within a few hundredths of a millimeter. The horizontal lateral load on the rail jack was created by the injection pressure in the cylinder which was fixed with manometer into the jack. Load of rails was conducted over 2 tons of degrees ranging from 0 to 8 tons. To obtain reliable measurement results of lateral movement of the head and the base rails, its movement was conducted for each type fasteners not less than in 3 sections. Measurements were carried out without the creation of vertical load. **Findings**. With the developed method was found transverse displacement magnitude of rails calculation points at different designs of rail fasteners. **Originality**. The experimental studies were first found the mentioned horizontal transverse stiffness of rail threads in the head and sole of modern designs for different rail fasteners. **Practical value**. The values of horizontal transverse stiffness of rail threads in the head and sole of modern designs for different rail fasteners that were found by the author make it possible to calculate the strength of railway track using correct and corrected values of these characteristics.

Keywords: railway track; rail; rail stiffness thread; displacement

doi: 10.15802/stp2015/57018 © В. П. Велінець, 2015

REFERENCES

1. Albrekht V.G., Bromberg Ye.M. *Besstykovoy put* [Continuous welded rail]. Moscow, Transport Publ., 1982. 204 p.
2. Bondarenko I.A. K voprosu ob opredelenii modulya uprugosti puti v vertikalnoy ploskosti [To the question of determining the elastic modulus of the track in the vertical plane]. *K voprosu ob opredelenii modulya uprugosti puti v vertikalnoy ploskosti* [Proc. of Kyiv University of Economy and Technologies of Transport. Series: Transport Systems and Technologies.]. Kyiv, 2004, vol. 5, pp. 14-25.
3. Verigo M.F., Kogan A.Ya. *Vzaimodeystviye puti i podvizhnogo sostava* [The interaction of track and rolling stock]. Moscow, Transport Publ., 1984. 559 p.
4. Yershkov O.P. Raschet relsa na deystviye bokovykh sil v krivykh [Calculation of rail on the action of lateral forces in curves]. *Trudy Vserossiyskogo nauchno-issledovatelskogo instituta zheleznodorozhnogo transporta* [Proc. of All-Russian Research Institute of Railway Transport]. Moscow, 1940, vol. 192, pp. 5-59.
5. Yershkov O.P. Kharakteristiki prostranstvennoy uprugosti relsovoy niti [The characteristics of the spatial elasticity of railway]. *Trudy Vserossiyskogo nauchno-issledovatelskogo instituta zheleznodorozhnogo transporta* [Proc. of All-Russian Research Institute of Railway Transport]. Moscow, 1940, vol. 192, pp. 59-101.
6. Danilenko E.I. *Zaliznychna koliia. Ulashtuvannia, proektuvannia i rozrakhunky, vzaiemodiia z rukhomym skladom* [Railway track. Device, design and analysis, interaction with rolling stock]. Kyiv, Inpres Publ., 2010. 2 vol.
7. Danilenko E.I. *Pravyla rozrakhunkiv zaliznychnoi kolii na mitsnist i stiikist* [Rules of calculations of the railway track strength and stability]. Kyiv, Transport Ukrainy Publ., 2004. 148 p.
8. Timoshenko S.P. Metod issledovaniy statisticheskikh i dinamicheskikh napryazheniy v relse [Research method of statistical and dynamical stresses in rail]. *Statisticheskiye i dinamicheskiye problemy teorii uprugosti* [Statistical and dynamic problems of the elasticity theory]. Kyiv, Naukova dumka Publ., 1975, pp. 209-220.
9. Timoshenko S.P. Napryazheniya v zheleznodorozhnom relse [Stresses in a railway rail]. *Statisticheskiye i dinamicheskiye problemy teorii uprugosti* [Statistical and dynamic problems of the elasticity theory]. Kyiv, Naukova dumka Publ., 1975, pp. 318-355.
10. Umanov M.I., Kovalev V.V., Sova S.N. Issledovaniya napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya puti so skrepleniyem KPP [The study of stress-strain state of the road with a bond of checkpoint]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2003, issue 2, pp. 101-105.
11. Liu C., Zeng Zh., Wu B., Yuan J., He X. Experimental study on the transverse stiffness of WJ-8 rail fastening. *Applied Mechanics and Materials*, 2014, vol. 596, pp. 3-6. doi: 10.4028/www.scientific.net/amm.596.3.
12. Holder D.E., Williams B.A., Dersch M.S., Edwards J.R., Barkan C.P.L. Quantification of Lateral Forces in Concrete Sleeper Fastening Systems Under Heavy Haul Freight Loads. 11th Intern. Heavy Haul Association Conf. (21.06.–24.06.2015). Perth, Australia, 2015. Available at: http://railtec.illinois.edu/articles/Files/Conference%20Proceedings/2015/IHHA%202015%20Paper%20219%20Holder_Final.pdf (Accessed: 4 November 2015).
13. Koc W., Wilk A., Chrostowski P., Grulkowski S. Tests on lateral resistance in railway tracks during the operation of a tamping machine. Proc. of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit. 2011. vol. 225, issue 3, pp. 325-340. doi: 10.1243/09544097jrrt324.
14. Milkovic´ D., Simic´ G., Jakovljevic Z˘.,´ Tanasković J., Lučanin V. Wayside system for wheel–rail contact forces measurements. *Measurement*, 2013, vol. 46, pp. 3308-3318. doi: 10.1016/j.measurement.2013.06.017.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. В. Д. Петренком (Україна); науковим комітетом Міжнародної науково-практичної конференції імені д.т.н. Сокола Е. М. «Безпека руху і наукові засади експертних досліджень транспортних пригод та інженерних споруд»

Надійшла до редколегії 25.09.2015
Прийнята до друку 19.11.2015

doi: 10.15802/stp2015/57018 © В. П. Велінець, 2015