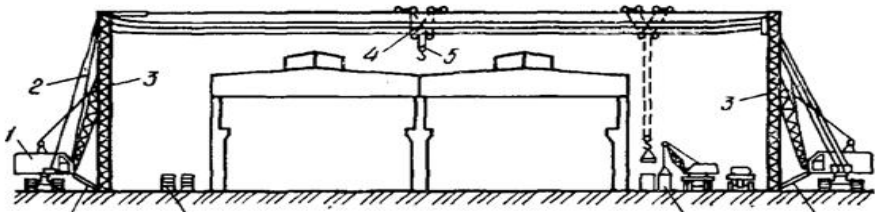

Рис. 4. Самоходный кабельный кран :1– самоходный кран Э-2508, 2 – ванты, 3 – А-образный пилон, 4 – грузовая тележка, 5 – подвеска крюка, 6 – распорка, 7 – демонтированные и монтируемые плиты

Вывод. Для работы в стесненных условиях реконструкции зданий и сооружений наибольшее распространение находят самоходные стреловые краны с применением дополнительных инвентарных устройств. При организации монтажных работ в этих условиях желательно осуществлять монтаж сооружений конструкций с транспортных средств.

ИСПОЛЬЗОВАНЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. **Беляков Ю. И., Снежко А. П.** Реконструкция промышленных предприятий / Ю. И. Беляков, А. П. Снежко. – К. : Высшая школа, 1988 – 256 с.

2. **Девятаева Г. В.** Технология реконструкции и модернизации зданий : учеб. пособ. / Г. В. Девятаева. – М. : Инфра-М, 2003. – 256 с.

3. **Заикин А. И.** Железобетонные конструкции одноэтажных промышленных зданий / А. И. Заикин – С.-Пб. : Изд. Ассоциации строительных вузов, 2007. – 272 с.

4. **Теличенко В. И.** Технология возведения зданий и сооружений / В. И. Теличенко, О. М. Терентьев, А. А. Лапидус. – М. : Высшая школа, 2006. – 446 с.

5. **Топчий В. Д., Гребенник Р. А.** Реконструкция промышленных предприятий – М. : Стройиздат, 1990. – Т. I. – 591с.

6. **Топчий Д. В.** Реконструкция и перепрофилирование производственных зданий / Д. В. Топчий. – М. : Изд. Ассоциации строительных вузов, 2008. – 144 с.

7. **Фёдоров В.В.** Реконструкция и реставрация зданий / В. В. Фёдоров. – М. : Инфра-М, 2003.

8. **Фёдоров В. В.** Реконструкция и реставрация зданий / В. В. Фёдоров. – С.-Пб.: Инфра-М, 2009. – 208 с.

9. Реконструкция зданий и сооружений : учеб. пособ. для строит. спец. вузов] / А. Л. Шагин, Ю. В. Бондаренко, Д. Ф. Гончаренко, В.Б. Гончаров // Под ред. А. Л. Шагина. – М. : Высшая школа, 1991. – 352 с.

10. **Ящура А. И.** Система технического обслуживания и ремонта промышленных зданий и сооружений. Справочник / А. И. Ящура. – М. : НЦ ЭНАС, 2009. − 312 с.

11. Рекомендации по выбору организационно-технологических решений монтажа реконструируемых одноэтажных промышленных зданий – М. Госстрой СССР, 1990. – 112 с.

УДК 625.1.03

ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЖОРСТКОСТІ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ

В. В. Ковальов, к. т. н.
Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Ключові слова: *модуль пружності, вертикальна жорсткість колії, розрахунок колії на міцність*

Постановка проблеми та її зв'язок із науковими і практичними завданнями. Однією з основних характеристик колії, що описує особливості її взаємодії з рухомим складом, є модуль пружності підрейкової основи. Ця характеристика є однією з найважливіших початкових величин при виконанні розрахунків колії на міцність для встановлення умов руху потягів по коліях різних конструкцій. У зв'язку із стратегією Укрзалізниці на підвищення швидкості руху пасажирських

потягів та збільшення обсягів перевезень вантажними поїздами актуальним є дослідження впливу потягів на колію, з проведенням розрахунків на міцність та практичним визначенням достовірних значень модуля пружності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для отримання вертикального модуля пружності колії по його жорсткості і коефіцієнта тертя основи колії за пропозицією М. Ф. Веріго [1] можна використовувати петлю гістерезису, отриману при статичному завантаженні колії вертикальним навантаженням. Для цього тиск на рейку створювався домкратом, що упирається в рейку і підвагонну балку, а величина вертикальних прогинів фіксувалася механічними прогиномірами. Навантаження і розвантаження рейки проводилося ступенями через 2 т в інтервалі від 0 до 8 т. У результаті обробки даних виходили діаграми (петлі гістерезису) залежності прогинання рейки від величини тиску на нього в процесі навантаження і розвантаження. Запропонована цим автором методика вимірювань досить трудомістка.

Не зважаючи на це, запропонованою методикою виконували дослідження жорсткості шляху МІІТ [2], ВНІІЗТ, ЛІІЗТ [3], а дещо пізніше і НІІЗТ [4].

У ДІІТі для отримання вказаних характеристик колії було розроблено спеціальний гідравлічний пристрій навантаження, змонтований на базі чотиривісного вагона. При цьому сили, що діють на рейку, вимірювалися за допомогою встановлених у голівці домкратів силомірів, а прогинання рейок – за допомогою електропрогиномірів. Результати вимірювань записувалися за допомогою двокоординатного самописця, що дозволяло отримувати на планшеті безпосередньо петлю гістерезису, тобто діаграму навантаження – розвантаження рейки [5].

Запропонована методика і створене устаткування дозволили проводити масові вимірювання вертикальної і горизонтальної жорсткості колії, а також жорсткості колії на кручення, тримувати значення відповідних модулів пружності колії і характеристик тертя основи.

У подальші роки ДІІТ за вказаною методикою провів масові вимірювання жорсткості колії різної конструкції, а також жорсткості колії в межах стрілкових переводів [6].

Виклад матеріалу. В перші роки вимірювання вертикальних прогинів рейок виконувалися щодо коротких паль довжиною 60 − 90 см, забитих у баласт безпосередньо біля рейки. ДІІТом виявлено, що в цьому випадку не враховуються прогинання земляного полотна, оскільки паля просідає разом із ним (табл. 1). Здійснено спеціальний експеримент [7]. У прямій ділянці колії в п'яти перерізах були виконані вимірювання прогинань рейок трьома способами: відносно паль, забитих біля рейки; відносно паль, забитих на відстані 1 м від рейки, за допомогою спеціальної рамки; і за допомогою високоточного нівеліра. Як виявилося при вимірюваннях по палі, забитій біля рейки, помилка у величині вертикальної жорсткості колії і модуля його пружності складає приблизно 20 – 35 % (табл. 1) [7].

Одночасно з ДІІТом у МІІТі на базі вагона було змонтовано гідравлічний пристрій навантаження, в якому навантаження, прикладені до рейки, вимірювалися за допомогою електропрогиномірів і записувалися у вигляді осцилограм. За вимірюваннями будувалися графіки залежності прогинання від навантаження, і за ними визначалася жорсткість колії. За вказаною методикою практично одночасно почали вимірювати жорсткість колії у ВНІІЗТі і НІІЗТі.

Пізніше за подібною методикою почали проведення досліджень жорсткості колії і в ЛІІЗТі. Відмінність методики вимірювань останнього полягала в тому, що вимірювання проводилися в динаміці, і навантаження від колеса на рейку вимірювалося за допомогою датчиків, прикріплених до шийки рейки.

Таблиця 1

Переріз	Повний прогин рейки (в мм) при вимірах			U, кгс/см^2, в інтервалі 4 − 8 тс при вимірах	
	нівелювання	по рамці	по палі	по рамці	по палі
1	3,60	3,25	2,50	280	400
2	3,90	3,40	2,80	260	340
3	3,70	3,30	2,60	270	375
4	5,00	4,00	2,90	210	325
5	4,15	3,50	2,80	255	340
Середнє	4,05	3,48	2,72	255	356
Сер. кв. відхил	0,56	0,28	0,15	24	27

У результаті залежність прогинання рейки від вертикального навантаження виходить істотно нелінійною, оскільки спочатку відбувається вибірка люфтів. Дослідження ДІІТу показали, що, крім вибірки люфтів, на величину просадки рейок впливають сили тертя, що виникають в основі [5]. Також дослідження ДІІТу показали, що випадковому характеру зміни жорсткості по довжині колії властиві і гармонійні складові. Результати вимірювань показали, що в профілі завантаженої колії при повільному русі рухомого складу виникають як одиночні, так і гармонійні нерівності з випадковими амплітудами і фазами.

І. С. Льованков рекомендував ураховувати наявність гармонійних нерівностей і внутрішнього тертя в основі колії при визначенні динамічного модуля пружності шляху за формулою:

$$U_Д = U_0 \pm a \cdot V^2, \quad (1)$$

де U_0 – статичний модуль пружності колії;

V – швидкість руху потягів складу, км/год;

a – коефіцієнт, що враховує наявність тертя і нерівностей.

Результати масових вимірювань вертикального модуля пружності колії, проведених ДІІТом, з урахуванням жорсткості земляного полотна, наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Характеристика верхньої будови колії	U, кгс/см^2		
	середнє значення	границі вимірів	
		мінімальне значення	максимальне значення
Р65 (1) 1840 (11) Щ55, скріплення КБ, стандартне переміщення	175	70	310
Р50 (2) 1840 (ЖБ) Щ50, безстикова колія, скріплення КБ	270	100	420
Р65 (1) 1840 (ЖБ) Щ55 КБ	260	80	500
Р65 (1) 1840 (ЖБ) Щ55 К2	255	80	500
Р65 (1) 1840 (ЖБ) Щ55 ЖБР	210	130	300
Р65 (1) 1840 (ЖБ) Щ55 БП65 при двох варіантах гумових прокладок: а) під рейкою 8 мм, під підкладкою 8 мм;	210	140	300
б) під рейкою 11 мм, під підкладкою 8 мм	200	130	270

Отримані результати добре збігаються з даними, отриманими МІІТом при вимірюванні прогинів рейки щодо довгих паль, забитих в середину обсадних труб (табл. 3). Це ж підтвердили і сучасні дослідження ВНІІЗТу (табл. 4).

Таблиця 3

Ділянки	Підтягування гайок закладних болтів, кГм	Вертикальне навантаження, т	Основні статистики					
			n	$U_г^н$ max	$U_г^н$ min	$\overline{U}_г$	S	$\gamma = \frac{S}{\overline{U}_г}$
з. б. шпали	6	4 – 12	94	300	77	186	62	0,33
	12	4 – 12	88	433	108	230	63	0,27
	24	4 − 12	86	433	94	267	85	0,32
з. б. плити	6	4 – 12	94	309	77	174	63	0,36
з. б. плити	12	4 – 12	95	309	94	191	54	0,28
	24	4 – 12	87	386	109	222	73	0,33

Таблиця 4

№ з/п	Типи варіантів ВБК	Час року	Методика	Модулі пружності в інтервалі навантажень 4 – 8 т		
				$\overline{U}_г$, кгс/см^2	U_{min}, кгс/см^2	U_{max}, кгс/см^2
1	Р65, ДШ, 2000, Щ	зима	нова	248	89	481
2	Р65, ДШ, 2000, Щ	зима	стара	668	125	3058
3	Р65, ЖБШ, 2000, Щ	зима	нова	580	208	1362
4	Р65, ЖБШ, 2000, Щ	зима	стара	1291	266	7705
5	Р65, ДШ, 2000, Ас	зима	нова	309	170	614
6	Р65, ДШ, 2000, Ас	зима	стара	435	208	1547
7	Р65, ДШ, 2000, Щ	весна	нова	190	93	496
8	Р65, ДШ, 2000, Щ	весна	стара	474	270	799
9	Р65, ЖБШ, 2000, Щ	весна	нова	417	174	2474
10	Р65, ЖБШ, 2000, Щ	весна	стара	1871	716	3741
11	Р65, ДШ, 2000, Щ	літо	нова	163	58	331
12	Р65, ДШ, 2000, Щ	літо	стара	378	86	871

Окрім характеристик вертикальної пружності колії, тобто вертикальної жорсткості і вертикального модуля пружності колії, вказані навчальні і наукові інститути вимірювали й інші характеристики жорсткості колії.

Одним із перших, хто запропонував визначати просторові модулі пружності за їх відповідною жорсткістю був О. П. Єршков [8]. При цьому відповідні жорсткості він рекомендував експериментально визначати з виразів:

$$\beta_z = \frac{\Delta P}{\Delta z}, \beta_y = \frac{\Delta Y}{\Delta y}, \beta_x = \frac{\Delta N}{\Delta \lambda}, \beta_\varphi = \frac{\Delta M_\varphi}{\Delta \varphi}, \quad (2)$$

де $\beta_z, \beta_y, \beta_x, \beta_\varphi$ – жорсткості рейкової нитки при вертикальному, горизонтальному вигині, подовжньому переміщенні і крученні рейки, відповідно;

$\Delta P, \Delta Y, \Delta N, \Delta M_\varphi$ – зміни вертикальної, горизонтальної поперечної, горизонтальної подовжньої сил і моменту, відповідно;

$\Delta z, \Delta y, \Delta \varphi$ – зміни відповідних силам і моменту переміщень рейки;

$\Delta \lambda$ – зміни подовжнього переміщення рейки у напрямі осі ОХ.

У свою чергу, відповідні модулі пружності колії повинні визначатися з виразів [8]:

$$U_z = \sqrt[3]{\frac{\beta_z^4}{(64 \cdot E \cdot I_y)}}; \quad (3)$$

$$U_y = \sqrt[3]{\frac{\beta_y^4}{(64 \cdot E \cdot I_z)}}; \quad (4)$$

$$U_z = \beta_x \cdot \frac{1}{\lambda} \cdot \frac{\Delta \lambda}{\Delta x}; \quad (5)$$

$$U_\varphi = \frac{\beta_\varphi^2}{A \cdot G \cdot I_d}, \quad (6)$$

де U_z, U_y – модулі пружності рейкової основи при вертикальному і горизонтальному вигині рейкової нитки;

E і G – модулі пружності рейкового металу на розтягування і на зсув;

I_y і I_z – моменти інерції поперечного перетину рейки щодо горизонтальної і вертикальної осі, відповідно;

I_d – момент інерції поперечного перерізу рейки щодо поздовжньої осі;

A – коефіцієнт, залежний від типу рейки і характеристик жорсткості підрейкової основи. Він може бути знайдений з виразу, отриманого М. І. Умановим:

$$A = 4 \cdot \left(1 + \frac{\sqrt{E \cdot I_\omega \cdot U_\varphi}}{G \cdot I_d} \right)^2, \qquad (7)$$

де I_ω – секторний момент інерції поперечного перерізу рейки.

Вимірювання горизонтальної поперечної жорсткості рейок і їх жорсткості на кручення виконувалися в меншому обсязі, ніж їх вертикальної жорсткості.

Просторові характеристики пружності колії, отримані ДІІТом, наведені в таблиці 5.

Таблиця 5

№ з/п	Інтервали вертикальних навантажень, т	Характеристики пружності рейкової нитки в перетинах колії, (β_y (т/мм)/U_y (кг/см^2))		
1	0 – 16	5,65 285	5,52 270	–
2	0 – 12	4,84 225	4,25 190	6,7 350
3	4 – 8	5,72 285	6,1 3,5	6,75 355
4	8 – 12	10,62 645	9,53 555	10,7 650
5	8 – 16	8,75 495	5,72 285	–

З метою уточнення характеристик пружності колії при різних його станах, що виникають при виконанні колійних робіт і супроводжуваних порушенням цілісності баластної призми, ВНІІЗТ спільно з ДІІТом провели спеціальні випробування.

У цих дослідженнях уперше були отримані всі просторові характеристики жорсткості і петлі гістерезису для одного перерізу колії, включаючи і характеристики подовжньої жорсткості колії. Результати вимірювань жорсткості наведені в таблиці 6.

Таблиця 6

Характеристики жорсткості колії	Одиниці виміру	Границі зміни характеристик залежно від конструкції колії		
		Р50, ДІІ	Р65, ДІІ	Р65, ЖБІІ
Вертикальна жорсткість	кН/мм	21 – 36	19 – 40	45 – 80
Горизонтальна поперечна жорсткість по головці рейки	кН/мм	6,4 – 22	9,6 – 26,6	10 – 35
Горизонтальна поздовжня жорсткість	кН/мм	–	82,5 – 90	120
Жорсткість при крученні	кНм/рад	–	174 – 13	468 – 880

Висновки та перспективи подальших досліджень. Проведений аналіз показав, що для розрахунків колії на міцність необхідно використовувати значення вертикального модуля пружності колії (табл. 3), отримані ДІІТом з урахуванням прогинань земляного полотна. Це особливо важливо при розрахунках безстикової колії на залізобетонних шпалах. Необхідно також продовжити вимірювання жорсткості колії при впровадженні нових конструкцій верхньої будови.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. **Вериго М. Ф.** Вертикальные силы, действующие на путь при прохождении подвижного состава / М. Ф. Вериго // Труды ВНИИЖТ. – 1955. – Вып. 97. – С. 25 – 288.

2. **Шахунянц Г. М.** Модули упругости различных подрельсовых оснований и их формирование / Г. М. Шахунянц, Н. М. Хазинский // В кн. : Исследование новых конструкций железнодорожного пути. Тр. МИИТ. – 1973.– Вып. 382. – С. 30 – 41.

3. **Яковлев В. Ф.** Исследования упруго-динамических характеристик пути в горизонтальной плоскости / В. Ф. Яковлев, И. И. Семенов, Л. Н. Фролов // В кн. : Исследование работы стрелочных переводов под подвижной нагрузкой. Труды ЛИИЖТа. – 1968. – Вып. 280. – С. 82 – 98.

4. **Карманов А. А.** О модуле упругости ж. д. пути метрополитенов / А. А. Карманов, Д. В. Митюшин, В. Ю. Шадрин // В кн. : Повышение надежности и эффективно сти работы ж.д. пути в условиях роста осевых нагрузок подвижного состава. – 1989. – С. 77 – 79.

5. **Лазарян В. А.** Об экспериментальном определении сил трения в пути / В. А. Лазарян и др. // В кн. : Исследования взаимодействия пути и подвижного состава. Тр. Дн-ского ин-та инж. ж.-д. трансп. – Д. : ДИИТ, 1967. – Вып. 78. – С. 4 – 14.

6. **Леванков И. С.** О выборе расчетных значений модуля упругости подрельсового основания / И. С. Леванков // В кн. : Исследование взаимодействия пути и подвижного состава. Тр. Дн-ского ин-та инж. ж.-д. транспорта. – Д. : ДИИТ, 1967. – Вып. 88. – С. 83 – 88.

7. **Воробейчик Л. Я.** Некоторые результаты экспериментального определения жесткости пути [Текст] / Л. Я. Воробейчик // В кн. : Исследование взаимодействия пути и подвижного состава. Тр. Дн-ского ин-та инж. тр-та. – Д. : ДИИТ, 1974. – Вып. 148. – С. 9 – 16.

8. **Ершков О. П.** Характеристики пространственной упругости рельсовой нити / О. П. Ершков // Тр. ВНИИЖТ. – 1960. – Вып. 192. – С. 59 – 101.