

УДК 625.1/.3:0.45/.049

*Е.В. Третьак, В.С. Речкалов, С.О. Столетов, А.О. Сулим, П.О. Хозя,
О.В. Жуков, С.В. Долинський*

ПРОЦЕДУРА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ З ВПЛИВУ РУХОМОГО СКЛАДУ НА ЗАЛІЗНИЧНУ КОЛІЮ

В цій статті розглянуто визначення показників впливу рухомого складу на залізничну колію з використанням експериментальних досліджень за допомогою вимірювального комплексу, а також за результатами отриманих даних зроблено відповідні висновки.

Вступ та постановка проблеми. Залізнична колія є найбільш капіталоемною ланкою системи, що забезпечує безпечні умови перевезень, і тому для неї в першу чергу необхідно визначати оптимальні умови експлуатації, у тому числі найбільші допустимі та раціональні швидкості руху поїздів. Під раціональними швидкостями руху розуміють такі найбільші швидкості руху, які при заданих термінах служби елементів колії, заданих витратах на її експлуатацію, заданій системі експлуатації колії повністю забезпечують за міцністю її елементів безпечне слідування поїздів [1].

Отже дослідження, направлені на визначення оптимальних умов експлуатації інфраструктури залізничного транспорту, є досить важливими. Важливість проведення досліджень, в першу чергу, диктується безпечними умовами перевезень, в другу – забезпеченням мінімальних витрат під час експлуатації інфраструктури залізничного транспорту. Одним з важливих етапів проведення зазначених досліджень є комплексні випробування з впливу рухомого складу на колію, які включають оцінку динамічних якостей рухомого складу, його вплив на залізничну колію, результати яких використовуються для встановлення допустимих швидкостей руху та умов обертання.

Випробування з впливу на колію виконуються для новоствореного та експлуатованого рухомого складу з метою перевірки критерію неперевищення допустимих умов взаємодії рухомого складу та залізничної колії. Дані випробування виконують в прямій, пологій та крутій кривих та на стрілочних переводах з вимірюванням динамічних і силових процесів [1–2]. Отже, питання дослідження взаємодії нового рухомого складу з інфраструктурою залізничного транспорту (залізничною колією) залишається важливим і актуальним. Отримання позитивних результатів досліджень з впливу новоствореного рухомого складу на колію є одним з важливих етапів постановки його на виробництво.

В цій роботі описано та апробовано експериментальні дослідження, які є одним з видів комплексу досліджень запропонованих в статтях [3–4]. Оброблено та проаналізовано дані експериментально-розрахунковим методом, зроблено висновки, з яких можна стверджувати про необхідність впровадження комплексного підходу під час оцінки впливу рухомого складу на залізничну колію.

© *Третьак Е.В., Речкалов В.С., Столетов С.О., Сулим А.О., Хозя П.О., Жуков О.В., Долинський С.В., 2019*

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Мета роботи – процедура досліджень з впливу рухомого складу на залізничну колію шляхом використання експериментальних методів за допомогою вимірювального комплексу.

Матеріал і результати досліджень. В цій роботі запропоновано процедуру експериментальних досліджень з впливу рухомого складу на залізничну колію в яку входить експериментальна оцінка розрахунково-експериментальних показників показників впливу на колію дослідного рухомого складу з використанням вимірювального комплексу.

В якості дослідного рухомого складу для проведення вищезазначених досліджень обрано вагон-хопер критий для зерна та інших харчових вантажів моделі 19 - 4146-01 з осьовим навантаженням 23,5 тс. Цей вагон створений ПрАТ «Дніпровагонмаш», на базі вагона моделі 19-4146 та призначений для перевезення зерна та інших харчових вантажів, а також інших сипучих вантажів, які потребують захисту від атмосферних опадів, зі швидкостями до 120 км/год.

Загальний вид дослідного вагона для зерна та інших харчових вантажів моделі 19-4146-01 наведено на рисунку 1.



Рис. 1. Загальний вигляд вагона моделі 19-4146-01

Технічні характеристики вагона моделі 19-4146-01 наведено в табл. 1.

Експериментальні дослідження проводились під час руху дослідного вагона на трьох дослідних ділянках залізничної колії: на прямій, кривих радіусом 906 м, 419 м. На прямій ділянці дослідження проводились під час руху вагона зі швидкостями 40; 60; 80; 100; 120 км/год; на кривій радіусом 906 м – 40; 60; 80; 100 км/год; на кривій радіусом 419 м – 40; 60; 80; 90 км/год.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Таблиця 1. - Технічні характеристики вагона моделі 19-4146-01¹

Найменування показників вагона	Величина показників згідно проекту повідомлення № 3 про зміну ТУ У 35.2-05669819-032:2012 «Вагон-хопер критий для зерна та інших харчових вантажів моделі 19-4146-01. Технічні умови»
Вантажопідйомність, т, не більше	71,5
Маса тари, т:	
- тах	22,5
- тін	22,0
- тін в експлуатації	20,74
Максимальне розрахункове статичне навантаження від колісної пари на рейки, кН (тс)	230,5 (23,5)
Довжина по осях зчеплення автозчепів, мм	14720±20
Об'єм кузова, м ³ , номінальний	126
Кількість люків, шт.	
- завантажувальних	5
- розвантажувальних	6
Конструкційна швидкість, км/год	120
Габарит (верхній обрис) згідно ДСТУ Б В.2.3-29	1-Т

Процедура експериментальних досліджень. Експериментальні дослідження передбачають оцінку розрахунково - експериментальних показників впливу на колію вагона моделі 19-4146-01 з використанням вимірювального комплексу.

Вхідні дані для розрахунків було обрано з технічної документації на дослідний вагон моделі 19-4641-01 [5], правил розрахунків [6], типової методики [7] та з розрахунків експериментальних поїздок дослідного вагона. Підготовка і проведення досліджень з впливу вагона на залізничну колію здійснювались згідно з М 6.5.00745 [8]. Під час проведення досліджень вагон був завантажений керамзитом. Маса завантаженого вагона склала 92,2 т.

Дослідження проводились під час руху дослідного зчепу. Дослідний зчеп формувался із двох електровозів ЧС-7, вагона-лабораторії № 043-72041 та дослідного вагона для зерна та інших харчових вантажів моделі 19-4146-01. Поїздки дослідного зчепу здійснювались «човниковим» методом (туди і назад) на всіх дослідних ділянках.

Реєстрацію та запис процесів під час проїздів виконано за допомогою вимірювальної системи, до складу якої входять: персональний комп'ютер, аналого-цифровий перетворювач, кабелі, підсилювач сигналів та тензOMETричні датчики.

¹ [5] ТУ У 35.2-05669819-032:2012 «Вагон-хопер критий для зерна та інших харчових вантажів моделі 19-4146-01. Технічні умови» з Повідомленням № 3 про зміну ТУ У 35.2-05669819-032:2012 «Вагон-хопер критий для зерна та інших харчових вантажів моделі 19-4146-01. Технічні умови» - м. Кам'янське: ПрАТ «Дніпровагонмаш», 2012. – 39 с.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Обробка даних здійснювалась на персональному комп'ютері за допомогою атестованого програмного комплексу «ImpactRawData» (далі – ПК «IRD»). При цьому, загальний вигляд вимірювальної системи зображено на рис. 2.

За отриманими даними під час дослідних поїздок були розраховані експериментальні дані бічних сил, що діють на рейку, вертикальних сил та коефіцієнту вертикальної динаміки підресорених частин. Ці дані необхідні для отримання експериментально-розрахункових показників впливу на колію.

Бічні сили визначалися через напруження в кромках підшви та головки рейки за формулою [2]:

$$H = 4 \cdot W_{nz} \cdot k_{Ty} (A_1 \cdot \sigma_{пзов} + A_2 \cdot \sigma_{пвн} + A_3 \cdot \sigma_{Гзов}), \quad (1)$$

де W_{nz} - горизонтальний момент опору рейок щодо крайніх волокон підшви, см³;

k_{Ty} - коефіцієнт відносної горизонтальної жорсткості рейки та підрейкової основи з урахуванням тертя в горизонтальній площині, 1/см;

$\sigma_{пзов}$, $\sigma_{пвн}$, $\sigma_{Гзов}$ - експериментальні напруження у зовнішній і внутрішній кромках підшви рейки та зовнішній грані головки рейки, МПа;

A_1 , A_2 , A_3 - коефіцієнти, які обчислюють залежно від фактичного місця розміщення кожного датчика.

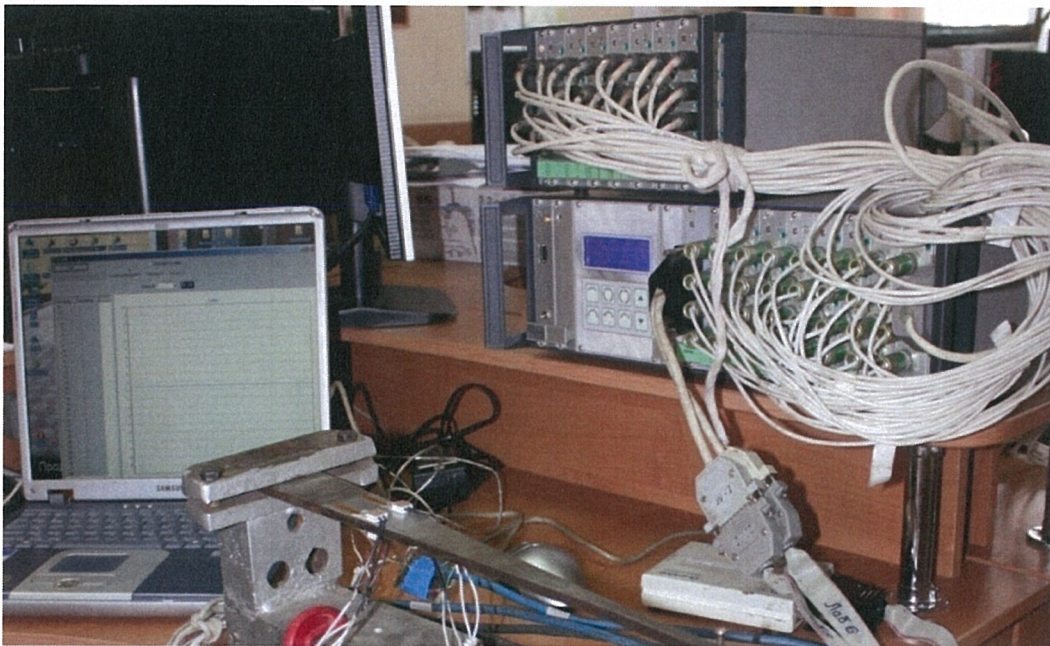


Рис. 2. Загальний вигляд вимірювальної системи

Для вимірювання динамічних вертикальних сил, що діють від колеса на рейку, застосовувались тензометричні схеми, зібрані на рейці. У вимірювальному перерізі рейки тензорезистори розміщувались на шийці рейки попарно із зовнішньої та внутрішньої сторін на рівні нейтральної осі рейки.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Під час прикладання контрольних еталонних навантажень величина вертикального навантаження на рейку знаходилась в діапазоні від 0 кН до 220 кН.

До розрахунково-експериментальних показників впливу на колію, які були отримані під час проведення досліджень входять: коефіцієнт динаміки, рамна сила візка, динамічне вертикальне навантаження від колеса на рейку, бічні сили, які передаються від колеса на рейку, динамічне напруження розтягнення в кромках підшви рейки в кривих і прямих ділянках колії, напруження в шпалах під підкладками для залізобетонних шпал, напруження в баласті під шпалою, напруження на основній площадці земляного полотна, коефіцієнт запасу стійкості рейко-шпальної решітки від поперечного зсуву по баласту, який визначається за рамними силами для баласту із щебеню, коефіцієнт запасу стійкості рейко-шпальної решітки від поперечного зсуву по баласту, який визначається навантаженням, що передається на рейку для баласту з щебеню.

Результати досліджень наведено в табл. 2.

Таблиця 2. - Результати досліджень

Ділянка колії	Назва показника	Одиниця вимірювання	Максимально імовірне значення для швидкості руху, км/год					
			40	60	80	90	100	120
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Пряма	Кд	-	0,22	0,25	0,32	-	0,33	0,46
	Нр	т	1,5	1,8	1,5	-	1,7	1,9
	$R_{дин}^{max}$	кН	156	183	193	-	197	203
	Y_B	кН	38	42	43	-	44	58
	σ_k	МПа	79	88	83	-	115	116
	$\sigma_{ш}$	МПа	0,9	1,1	1,1	-	1,1	1,2
	σ_B	МПа	0,16	0,18	0,19	-	0,20	0,20
Пряма	σ_h	МПа	0,06	0,07	0,07	-	0,07	0,07
	α	-	0,24	0,20	0,20	-	0,18	0,20
	γ	-	0,06	0,08	0,07	-	0,07	0,08
R = 906 м	$Q_{дин}$	кН/м	139	142	145	-	153	155
	Кд	-	0,22	0,28	0,33	-	0,35	-
	Нр	т	1,5	2,1	2,0	-	1,9	-
	$R_{дин}^{max}$	кН	121	133	139	-	148	-
	Y_B	кН	58	61	62	-	75	-
	σ_k	МПа	123	114	113	-	127	-
	$\sigma_{ш}$	МПа	0,7	0,8	0,8	-	0,9	-
	σ_B	МПа	0,13	0,14	0,14	-	0,15	-
	σ_h	МПа	0,05	0,05	0,05	-	0,05	-
	α	-	0,53	0,50	0,47	-	0,41	-
γ	-	0,07	0,09	0,09	-	0,08	-	
$Q_{дин}$	кН/м	139	145	147	-	148	-	

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Кінець таблиці 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
R = 419 м	Кд	-	0,23	0,26	0,29	0,29	-	-
	Нр	т	1,8	2,0	2,0	2,1	-	-
	$P_{дин}^{max}$	кН	130	188	190	201	-	-
	Y_B	кН	63	73	72	75	-	-
	σ_k	МПа	124	144	160	160	-	-
	$\sigma_{ш}$	МПа	0,8	1,1	1,1	1,2	-	-
	σ_B	МПа	0,13	0,19	0,19	0,20	-	-
	σ_h	МПа	0,05	0,07	0,07	0,07	-	-
	α	-	0,45	0,28	0,35	0,41	-	-
	γ	-	0,08	0,09	0,09	0,09	-	-
$Q_{дин}$	кН/м	137	140	143	144	-	-	

На підставі аналізу результатів проведених досліджень з впливу на колію вагона моделі 19-4146 шляхом використання вимірювального комплексу встановлено, що фактичні значення показників впливу на колію не перевищують допустимих значень, встановлених ДСТУ 7571:2014 „Рухомий склад залізниць. Норми допустимого впливу на залізничну колію шириною 1520 мм”, а саме:

- максимальне імовірне значення бічних сил, які передаються від колеса на рейку за умови міцності рейкових скріплень для залізничних колій із залізобетонними шпалами в кривих та прямих ділянках залізничної колії склало 75 кН, що становить 63 % від допустимої величини;

- максимальне імовірне значення динамічного вертикального навантаження від колеса на рейку в кривих та прямих ділянках залізничної колії склало 208 кН, що становить 99 % від допустимої величини;

- максимальне значення коефіцієнта запасу стійкості рейко-шпальної решітки від поперечного зсуву по баласту, який визначають навантаженням, що передається на рейки для баласту з щебеню в кривих та прямих ділянках залізничної склало 0,69, що становить 49 % від допустимої величини;

- максимальне значення коефіцієнта запасу стійкості рейко-шпальної решітки від поперечного зсуву по баласту, який визначається за рамними силами для баласту з щебеню в кривих та прямих ділянках залізничної 0,16, що становить 40 % від допустимої величини;

- максимальне динамічне погонне навантаження на залізничну колію від візка склало 166 кН/м, що становить 99 % від допустимої величини;

- максимальне напруження на основній площадці земляного полотна в кривих та прямих ділянках залізничної колії склало 0,08 МПа, що не перевищує допустимої величини;

- максимальне напруження в шпалах під підкладками для залізобетонних шпал в кривих та прямих ділянках залізничної колії склало 1,2 МПа, що становить 30 % від допустимої величини;

- максимальне напруження в щебеному баласті під шпалою в кривих та прямих ділянках залізничної колії склало 0,21 МПа, що становить 42 % від допустимої величини;

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Висновки.

1. Апробовано процедуру експериментальних досліджень з впливу рухомого складу на залізничну колію, в яку входить експериментальна оцінка показників впливу на колію дослідного рухомого складу з використанням вимірювального комплексу.
2. На підставі проведеного аналізу результатів досліджень з впливу на колію вагон моделі 19-4146-01 для зерна та інших харчових вантажів на візках моделі 18-7055 відповідає вимогам ДСТУ 7571: 2014 «Рухомий склад залізниць. Норми допустимого впливу на залізничну колію шириною 1520 мм.

ЛІТЕРАТУРА

1. Рыбкин, В.В. Результаты экспериментальных исследований по воздействию на путь / В.В. Рыбкин, М.И. Уманов, А.П. Татуревич, В.В. Цыганенко и др. // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2004. – Вип. 5. – С. 183–187.
2. ДСТУ 7571:2014. Рухомий склад залізниць. Норми допустимого впливу на залізничну колію шириною 1520 мм; Уведено вперше; надано чинності 2014-12-02. – К.: Мінекономрозвитку України, 2014. – 33 с.
3. Сулим, А.О. Теоретично-експериментальні дослідження з впливу рухомого складу на залізничну колію. Частина 1. Описання процедури комплексних досліджень / А.О. Сулим, С.О. Столетов, Е.В. Третяк, В.С. Речкалов, П.О. Хозя / Збірник наукових праць «Рейковий рухомий склад». – Кременчук: ДП «УкрНДІВ», 2018. – Вип. 17. – С. 4–21.
4. Сулим, А.О. Теоретично-експериментальні дослідження з впливу рухомого складу на залізничну колію. Частина 2. Апробація процедури комплексних досліджень / А.О. Сулим, В.С. Речкалов, С.О. Столетов, Е.В. Третяк, П.О. Хозя, М.В. Григорошенко / Збірник наукових праць «Рейковий рухомий склад». – Кременчук: ДП «УкрНДІВ», 2019. – Вип. 18. – 25 с.
5. ТУ У 35.2-05669819-032:2012 «Вагон-хопер критий для зерна та інших харчових вантажів моделі 19-4146-01. Технічні умови» з Повідомленням № 3 про зміну ТУ У 35.2-05669819-032:2012 «Вагон-хопер критий для зерна та інших харчових вантажів моделі 19-4146-01. Технічні умови» - м. Кам'янське: ПрАТ «Дніпровагонмаш», 2012. – 39 с.
6. Даніленко Е.І. Правила розрахунків залізничної колії на міцність та стійкість : ЦП-0117 / Е.І. Даніленко, В.В. Рибкін. – К.: Транспорт України, 2004. – 64 с.
7. ТМ 06.178-2004 Типова методика оцінки впливу рухомого складу на колію. Полтавська обл., м. Кременчук: ДП «УкрНДІВ», 2004. – 34 с.
8. М 6.5.00745 „Вагони вантажні та пасажирські. Методика випробувань (статичні випробування на міцність від дії вертикального навантаження, випробування на міцність від дії повздовжнього квазістатичного навантаження, навантажень при ремонті та обслуговуванні, зосередженим вантажем, гідравлічних випробувань, розвантаження-завантаження, випробувань на співудар, власної частоти вигинних коливань кузова, ходових динамічних випробувань, ходових міцносних випробувань, плавності ходу та вібрації, випробувань з впливу на колію, поколісного зважування та випробувань з визначення показників шуму)”. Полтавська обл., м. Кременчук: ДП «УкрНДІВ», 2019. – 39 с.