

УДК 625.1/.3:0.45/.049

*А.О. Сулим, В.С. Речкалов, С.О. Столстов, Е.В. Третьяк, П.О. Хозя,
М.В. Григорошенко*

ТЕОРЕТИЧНО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ З ВПЛИВУ РУХОМОГО СКЛАДУ НА ЗАЛІЗНИЧНУ КОЛІЮ. ЧАСТИНА 2. АПРОБАЦІЯ ПРОЦЕДУРИ КОМПЛЕКСНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

В частині 1 циклу статей щодо теоретично-експериментальних досліджень з впливу рухомого складу на залізничну колію було запропоновано та описано процедуру комплексних досліджень. (див. Збірник наукових праць «Рейковий рухомий склад» Державного підприємства «Український науково-дослідний інститут вагонобудування» Міністерства економічного розвитку і торгівлі України. - Вип.17. - Кременчук: Вид-во ДП «УкрНДІВ», 2018. С. 4 – 21).

В цій статті апробовано запропоновану процедуру теоретично-експериментальних досліджень з впливу рухомого складу на залізничну колію. Розглянуто визначення показників впливу рухомого складу на залізничну колію з використанням доекспериментальних, експериментально-розрахункових та експериментальних досліджень за допомогою вимірального комплексу. Встановлено різницю отриманих даних показників впливу рухомого складу за результатами їх порівняльного аналізу та 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.

**© Сулим А.О., Речкалов В.С., Столстов С.О., Третьяк Е.В., Хозя П.О.,
Григорошенко М.В., 2019**

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

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 та стрілочні переводи, 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.

Дані випробування виконують в прямій, пологій та крутій кривих та на стрілочних переводах з вимірюванням динамічних і силових процесів [1–4]. 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.

Ця праця є продовженням статті [5], в якій запропоновано та описано комплексний підхід для оцінки впливу рухомого складу на залізничну колію і присвячена актуальному питанню щодо апробації запропонованої процедури повного комплексу досліджень. За умов отримання позитивного результату під час порівняльного аналізу доекспериментальних, експериментально-розрахункових та експериментальних досліджень можна стверджувати про необхідність впровадження комплексного підходу під час оцінки впливу рухомого складу на залізничну колію.

Комплексні дослідження мають виключити грубі промахи та в цілому дозволять підвищити якість і точність отриманих результатів показників з впливу рухомого складу на залізничну колію.

Мета роботи – апробація процедури комплексних досліджень з впливу рухомого складу на залізничну колію.

Матеріал і результати досліджень. Апробація процедури комплексних досліджень з впливу рухомого складу на залізничну колію складається з трьох етапів:

- доекспериментальні дослідження (теоретичні дослідження з використанням програмного забезпечення);
- експериментально-теоретичні дослідження (розрахунково-експериментальна оцінка показників впливу на колію з використанням результатів ходових динамічних випробувань дослідного рухомого складу);
- експериментальні дослідження (експериментальна оцінка показників впливу на колію дослідного рухомого складу з використанням вимірювального комплексу).

В якості дослідного рухомого складу для проведення вищезазначених досліджень обрано вагон для перевезення зерна моделі 19-7053-03 з осьовим навантаженням 23,5 тс. Цей вагон створений ПАТ «Крюківський вагонобудівний завод» на базі вагона моделі 19-7053-02 та призначений для перевезення зерна та аналогічних харчових продуктів, а також інших сипучих вантажів, які потребують захисту від атмосферних опадів, зі швидкостями до 120 км/год.

Загальний вид дослідного вагона для перевезення зерна моделі 19-7053-03 наведено на рисунку 1.

Технічні характеристики вагона моделі 19-7053-03 наведено в табл. 1.

Доекспериментальні, експериментально-теоретичні та експериментальні дослідження проводились під час руху дослідного вагона на трьох дослідних ділянках залізничної колії: на прямій, кривих радіусом 906 м та 419 м.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД



Рис. 1 – Загальний вигляд вагона моделі 19-7053-03

Таблиця 1. Технічні характеристики вагона моделі 19-7053-03 [6]

№ п/п	Параметри	Умовна позначка і розмірність	Значення параметру
1	Кількість осей у візку	n	2
2	Повне статичне навантаження від колеса на рейку	P_0 , кН	115,25
3	Непідресорене статичне навантаження від колеса на рейку	q_k , кН	11,6
4	Діаметр колеса	d , см	95,7
5	Глибина ізольованої нерівності на	e_0 , см	0,067
6	Сумарний (I і II ступеней) статичний прогин ресорного підвішування	y , мм	48,2
7	Конструкційна швидкість руху	V_{max} , км/год	120
8	Відстані між осями колісних пар	l , м	1,85

На прямій ділянці дослідження проводились під час руху вагона зі швидкостями 40; 80; 100; 120; 132 км/год; на кривій радіусом 906 м – 40; 80; 100 км/год; на кривій радіусом 419 м – 40; 80; 90 км/год.

Перший етап (доекспериментальні дослідження). Доекспериментальні дослідження виконуються для оцінки показників впливу на залізничну колію на етапі проектування та виготовлення дослідного рухомого складу. Доекспериментальні дослідження виконані за допомогою атестованого програмного забезпечення «Rail Load Calculation» (далі – КП «RLC»).

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Вхідні дані для розрахунків було обрано з технічної документації на дослідний вагон моделі 19-7053-03 [6], Правил розрахунків [7] та типової методики [8].

Під час доекспериментальних досліджень з впливу вагона моделі 19-7053-03 на залізничну колію визначались наступні показники:

- динамічні напруження в кромках підшви рейки на прямих і кривих ділянках залізничної колії (σ_k , МПа);
- напруження в шпалах під підкладками ($\sigma_{ш}$, МПа);
- напруження в баласті під шпалою (σ_B , МПа);
- напруження на основній площадці земляного полотна (σ_h , МПа);
- бічні сили, які передаються від колеса на рейку (Y_B , кН);
- динамічне вертикальне навантаження від колеса на рейку ($P_{дин}^{max}$, кН);
- коефіцієнт запасу стійкості рейко-шпальної решітки від поперечного зсуву по баласту, який визначають навантаженням, що передається на рейки (α);
- коефіцієнт запасу стійкості рейко-шпальної решітки від поперечного зсуву по баласту, який визначають за рамними силами (γ);
- динамічне погонне навантаження на залізничну колію від візка ($q_{дин}$, кН/м).

Отримані результати теоретичних досліджень з впливу вагона моделі 19-7053-03 на залізничну колію, наведено в табл. 2.

Таблиця 2. Результати теоретичних досліджень

Ділянка колії	Назва показника	Одиниця вимірювання	Максимально імовірне значення для швидкості руху, км/год					
			40	80	90	100	120	132
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Пряма	σ_k	МПа	86	100	–	107	116	120
	$\sigma_{ш}$	МПа	0,75	0,86	–	0,91	0,97	1,01
	σ_B	МПа	0,16	0,18	–	0,19	0,2	0,21
	σ_h	МПа	0,052	0,059	–	0,063	0,067	0,069
	Y_B	кН	62	66	–	68	70	71
Пряма	$P_{дин}^{max}$	кН	146	167	–	178	191	198
	α	-	0,45	0,44	–	0,43	0,43	0,43
	γ	-	0,05	0,08	–	0,1	0,11	0,13
	$q_{дин}$	кН/м	137	151	–	157	165	168
R = 906 м	σ_k	МПа	93	108	–	115	–	–
	$\sigma_{ш}$	МПа	0,75	0,86	–	0,91	–	–
	σ_B	МПа	0,16	0,18	–	0,19	–	–
	σ_h	МПа	0,052	0,059	–	0,063	–	–
	Y_B	кН	67	71	–	73	–	–
	$P_{дин}^{max}$	кН	146	167	–	178	–	–
	α	-	0,49	0,48	–	0,47	–	–
	γ	-	0,05	0,09	–	0,1	–	–
$q_{дин}$	кН/м	137	151	–	157	–	–	

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Кінець таблиці 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
R = 419 м	σ_k	МПа	108	125	129	–	–	–
	$\sigma_{ш}$	МПа	0,68	0,78	0,8	–	–	–
	σ_B	МПа	0,14	0,15	0,16	–	–	–
	σ_h	МПа	0,045	0,051	0,056	–	–	–
	Y_B	кН	78	83	85	–	–	–
	$R_{дин}^{max}$	кН	145	166	171	–	–	–
	α	-	0,56	0,55	0,54	–	–	–
	γ	-	0,06	0,1	0,11	–	–	–
	$q_{дин}$	кН/м	137	151	154	–	–	–

Другий етап (експериментально-теоретичні дослідження). Експериментально-теоретичні дослідження передбачають оцінку показників впливу на колію та стрілочні переводи з використанням результатів ходових динамічних випробувань дослідного рухомого складу. Вхідні дані для розрахунків беруться з урахуванням результатів визначення показників коефіцієнта вертикальної динаміки обресорених частин візка та рамних сил, які отримано в ході ходових динамічних випробувань.

Під час проведення розрахунково-експериментальної оцінки впливу дослідного рухомого складу на колію та стрілочні переводи визначаються показники аналогічні тим, які визначаються під час доекспериментальних досліджень.

За результатами обробки даних експериментальних досліджень визначено коефіцієнт вертикальної динаміки обресорених частин візка та рамних сил, які отримано в ході ходових динамічних випробувань для заданих швидкостей руху. Результати обробки даних ходових динамічних випробувань на заданих ділянках колії наведено в табл. 3.

Таблиця 3. Результати обробки даних ходових динамічних випробувань

Назва показника	Позначення показника	Значення показника
1	2	3
Коефіцієнт вертикальної динаміки обресорених частин візка:		
- пряма 40 км/год;	Kd	0,26
- пряма 80 км/год;		0,46
- пряма 100 км/год;		0,56
- пряма 120 км/год;	Kd	0,48
- пряма 132 км/год;		0,63
- крива R=906 м; 40 км/год;		0,26
- крива R=906 м; 80 км/год;		0,29
- крива R=906 м; 100 км/год;		0,35
- крива R=419 м; 40 км/год;		0,29
- крива R=419 м; 80 км/год;		0,29
- крива R=419 м; 90 км/год;		0,41

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Кінець таблиці 3

1	2	3
Рамна сила, кН:		
- пряма 40 км/год;		15,7
- пряма 80 км/год;		18,6
- пряма 100 км/год;		24,5
- пряма 120 км/год;		28,4
- пряма 132 км/год;		33,4
- крива R=906 м; 40 км/год;	Нр	12,8
- крива R=906 м; 80 км/год;		14,7
- крива R=906 м; 100 км/год;		13,7
- крива R=419 м; 40 км/год;		20,6
- крива R=419 м; 80 км/год;		21,6
- крива R=419 м; 90 км/год;		22,6

Отримані результати розрахунків наведено в табл. 4.

Таблиця 4. Результати експериментально-розрахункових досліджень

Ділянка колії	Назва показника	Одиниця вимірювання	Максимально імовірне значення для швидкості руху, км/год					
			40	80	90	100	120	132
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Пряма	σ_k	МПа	86	102	–	110	108	119
	$\sigma_{ш}$	МПа	0,74	0,87	–	0,91	0,97	1,01
	σ_B	МПа	0,16	0,18	–	0,19	0,2	0,21
	σ_h	МПа	0,052	0,059	–	0,063	0,067	0,069
	Y_B	кН	66	66	–	69	71	75
	$R_{дин}^{max}$	кН	145	170	–	183	179	196
	α	-	0,49	0,43	–	0,44	0,47	0,46
	γ	-	0,07	0,08	–	0,11	0,12	0,14
	$Q_{дин}$	кН/м	135	152	–	161	154	167
R = 906 м	σ_k	МПа	92	110	–	119	–	–
	$\sigma_{ш}$	МПа	0,75	0,87	–	0,94	–	–
	σ_B	МПа	0,16	0,18	–	0,14	–	–
	σ_h	МПа	0,052	0,061	–	0,065	–	–
	Y_B	кН	64	65	–	64	–	–
	$R_{дин}^{max}$	кН	145	154	–	163	–	–
	α	-	0,47	0,47	–	0,45	–	–
	γ	-	0,06	0,06	–	0,06	–	–
	$Q_{дин}$	кН/м	135	138	–	143	–	–
R = 419 м	σ_k	МПа	110	116	126	–	–	–
	$\sigma_{ш}$	МПа	0,76	0,79	0,86	–	–	–
	σ_B	МПа	0,14	0,16	0,17	–	–	–

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Кінець таблиці 4

1	2	3	4		5		6	
	$\sigma_{\text{н}}$	МПа	0,053	0,055	0,059	–	–	–
	$Y_{\text{б}}$	кН	71	72	73	–	–	–
	$P_{\text{дин}}^{\text{max}}$	кН	148	154	167	–	–	–
	α	-	0,52	0,52	0,5	–	–	–
	γ	-	0,07	0,08	0,08	–	–	–
	$Q_{\text{дин}}$	кН/м	138	138	148	–	–	–

Третій етап (експериментальні дослідження). Експериментальні дослідження передбачають оцінку показників впливу на колію вагона моделі 19-7053-03 з використанням вимірювального комплексу.

Підготовка і проведення досліджень з впливу вагона на залізничну колію здійснювались згідно з М 6.5.00736 [9]. Під час проведення досліджень вагон був завантажений керамзитом. Маса завантаженого вагона склала 93,4 т.

Дослідження проводились під час руху дослідного зчепу. Дослідний зчеп формувався із двох електровозів ЧС-2 та дослідного вагона для перевезення зерна моделі 19-7053-03. Поїздки дослідного зчепу здійснювалися «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. Обробка даних здійснювалась на персональному комп'ютері за допомогою атестованого програмного комплексу «ImpactRawData» (далі – ПК «IRD»). Загальний вигляд вимірювальної системи зображено на рис. 2.



Рис. 2 – Загальний вигляд вимірювальної системи

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Бічні сили визначалися через напруження в кромках підошви та головки рейки за формулою [4]:

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

де W_{nz} - горизонтальний момент опору рейок щодо крайніх волокон підошви, 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 підошви рейки та зовнішній грані головки рейки, МПа;

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

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

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

За результатами обробки даних визначались: середні значення, середньоквадратичні відхилення, максимально зафіксовані та максимально імовірні значення кромочних напружень, бічних та вертикальних сил (табл. 4). Максимально імовірні значення отримано з довіркою ймовірністю 0,994.

Під час проведення розрахунково-експериментальної оцінки впливу дослідного рухомого складу на колію та стрілочні переводи визначаються показники аналогічні тим, які визначаються під час доекспериментальних та розрахунково-експериментальних досліджень.

Результати експериментальних досліджень наведено в табл. 5.

Таблиця 5. Результати експериментальних досліджень

Ділянка колії	Назва показника	Одиниця вимірювання	Максимально імовірне значення для швидкості руху, км/год					
			40	80	90	100	120	132
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Пряма	σ_k	МПа	99	96	–	111	126	152
	$\sigma_{ш}$	МПа	0,96	0,93	–	1,01	0,99	0,96
	σ_B	МПа	0,16	0,16	–	0,17	0,17	0,16
	σ_h	МПа	0,06 1	0,05 9	–	0,064	0,06 3	0,06 1
	Y_B	кН	47	58	–	48	49	64
	$R_{дин}^{max}$	кН	165	158	–	172	169	162
	α	-	0,36	0,43	–	0,34	0,36	0,45
	γ	-	0,07	0,08	–	0,11	0,12	0,14
	$Q_{дин}$	кН/м	135	152	–	160	154	167

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Кінець таблиці 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9
R = 906 м	σ_k	МПа	100	90	–	94	–	–
	$\sigma_{ш}$	МПа	0,87	0,91	–	0,84	–	–
	σ_B	МПа	0,15	0,15	–	0,15	–	–
	σ_h	МПа	0,053	0,056	–	0,072	–	–
	Y_B	кН	48	41	–	42	–	–
	$R_{дин}^{max}$	кН	148	156	–	206	–	–
	α	-	0,41	0,32	–	0,3	–	–
	γ	-	0,05	0,06	–	0,06	–	–
	$q_{дин}$	кН/м	136	138	–	143	–	–
R = 419 м	σ_k	МПа	125	125	138	–	–	–
	$\sigma_{ш}$	МПа	0,95	1,01	1,08	–	–	–
	σ_B	МПа	0,16	0,17	0,18	–	–	–
	σ_h	МПа	0,058	0,061	0,066	–	–	–
	Y_B	кН	68	65	64	–	–	–
	$R_{дин}^{max}$	кН	163	174	187	–	–	–
	α	-	0,57	0,52	0,47	–	–	–
	γ	-	0,09	0,09	0,1	–	–	–
	$q_{дин}$	кН/м	138	138	148	–	–	–

Четвертий етап (порівняльний аналіз досліджень). За результатами аналізу даних доекспериментальних, експериментально-розрахункових та експериментальних досліджень побудовано графіки показників впливу вагона моделі 19-7053-03 на залізничну колію у вигляді діаграм залежно від швидкості руху для прямої, кривих радіусом 906 м та 419 м (рис. 3-29).

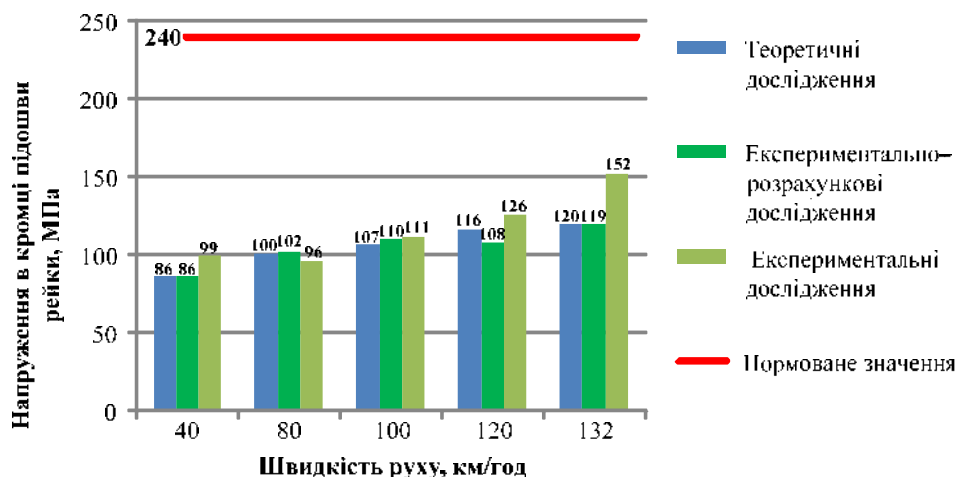


Рис. 3 – Діаграми напружень в кромці підшви рейки на прямій ділянці

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

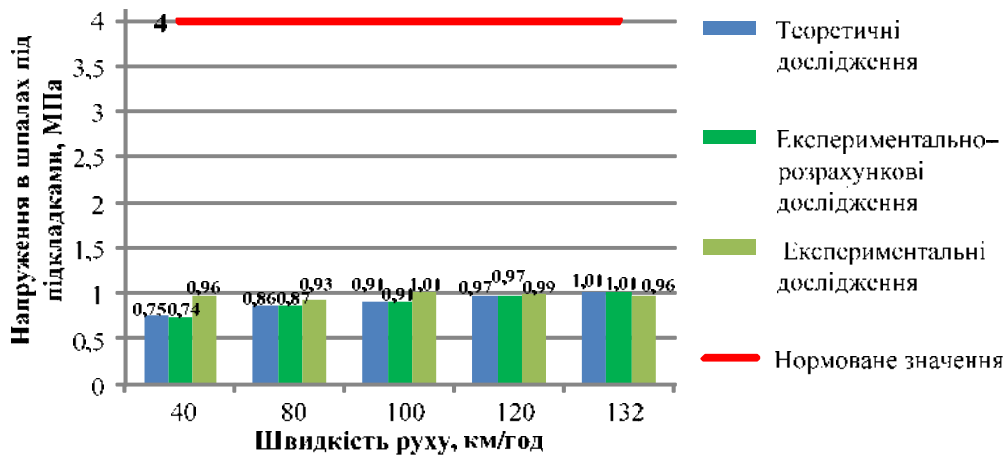


Рис. 4 – Діаграми напружень в шпалах під підкладками на прямій ділянці

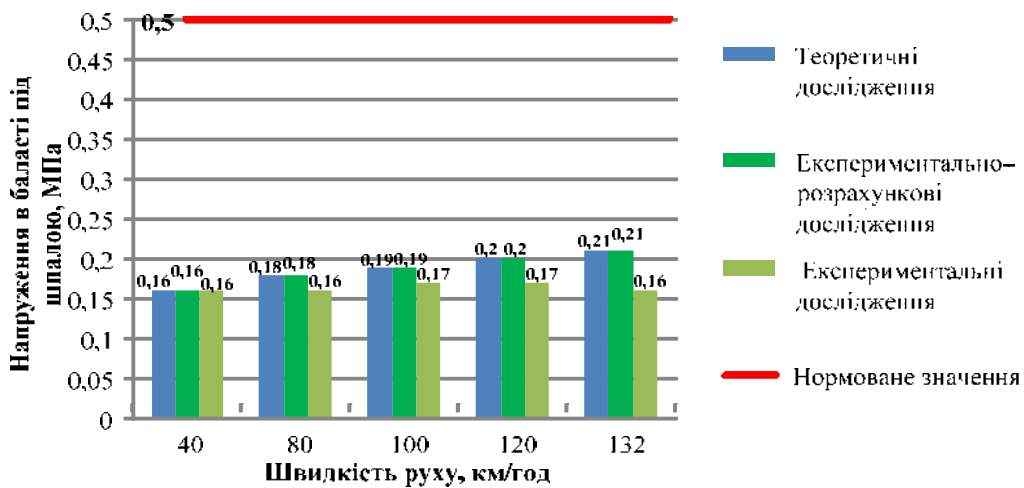


Рис. 5 – Діаграми напружень в баласті під шпалою на прямій ділянці

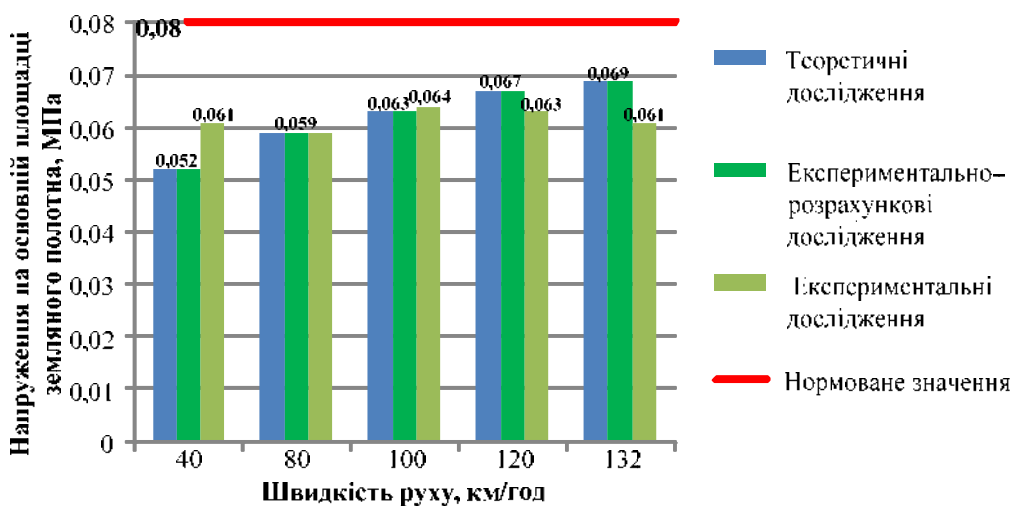


Рис. 6 – Діаграми напружень на основній площадці земляного полотна на прямій ділянці

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

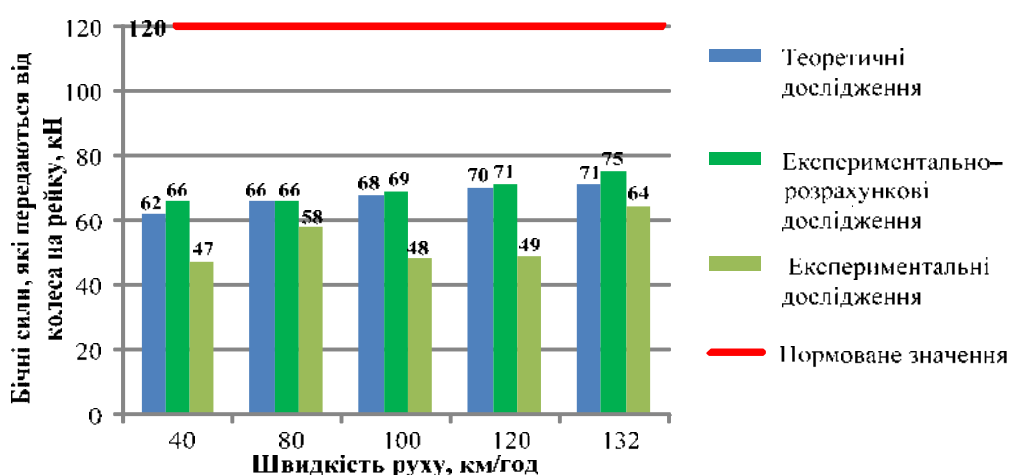


Рис. 7 – Діаграми бічних сил, які передаються від колеса на рейку на прямій ділянці

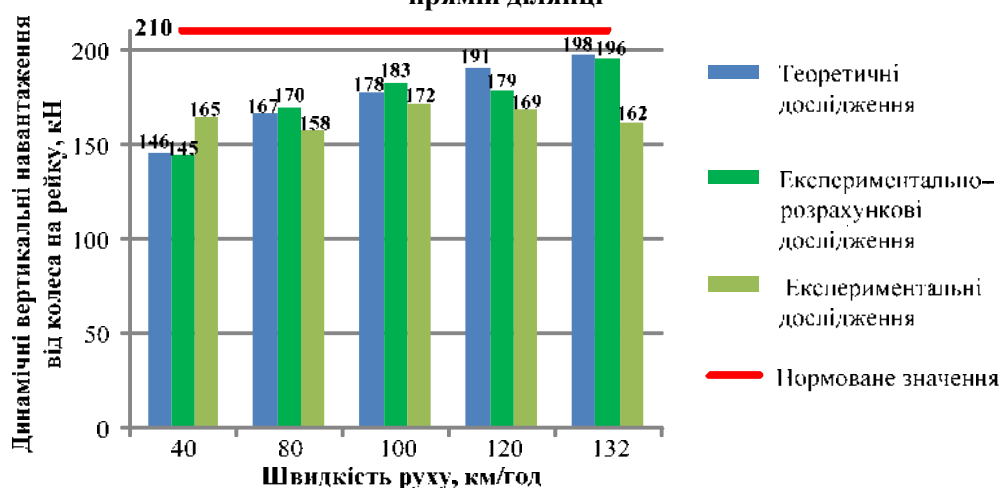


Рис. 8 – Діаграми динамічних вертикальних навантажень від колеса на рейку на прямій ділянці

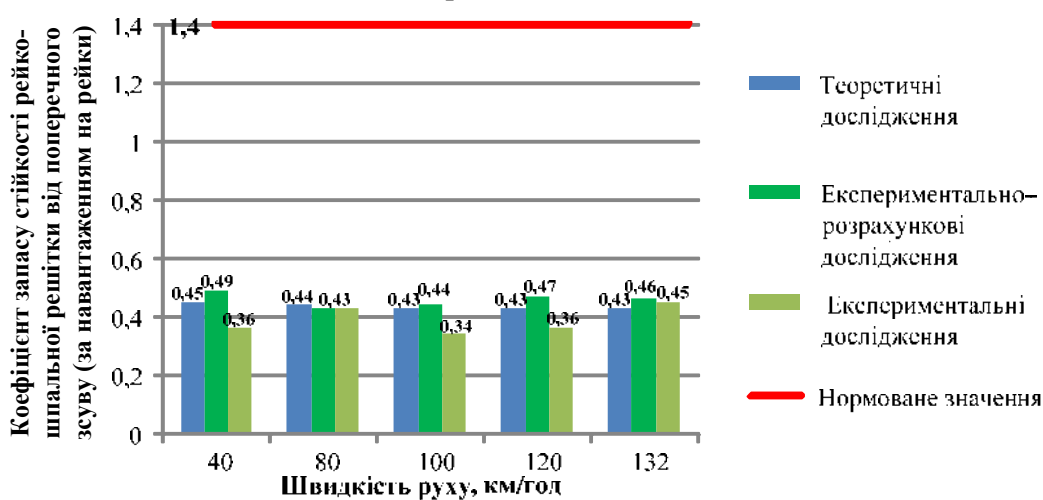


Рис. 9 – Діаграми коефіцієнта запасу стійкості рейко-шпальної решітки від поперечного зсуву (за навантаженням на рейки) на прямій ділянці

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

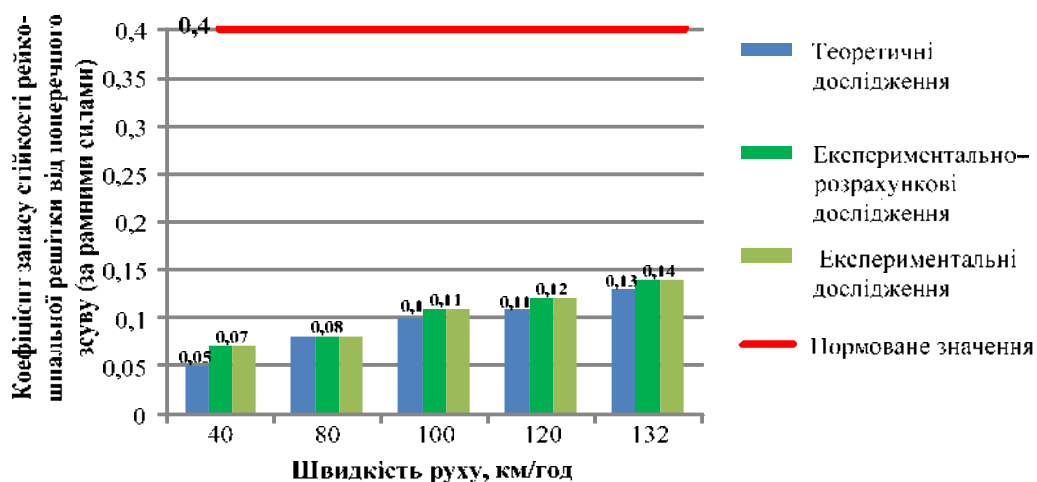


Рис. 10 – Діаграми коефіцієнта запасу стійкості рейко-шпальної решітки від поперечного зсуву (за рамними силами) на прямій ділянці

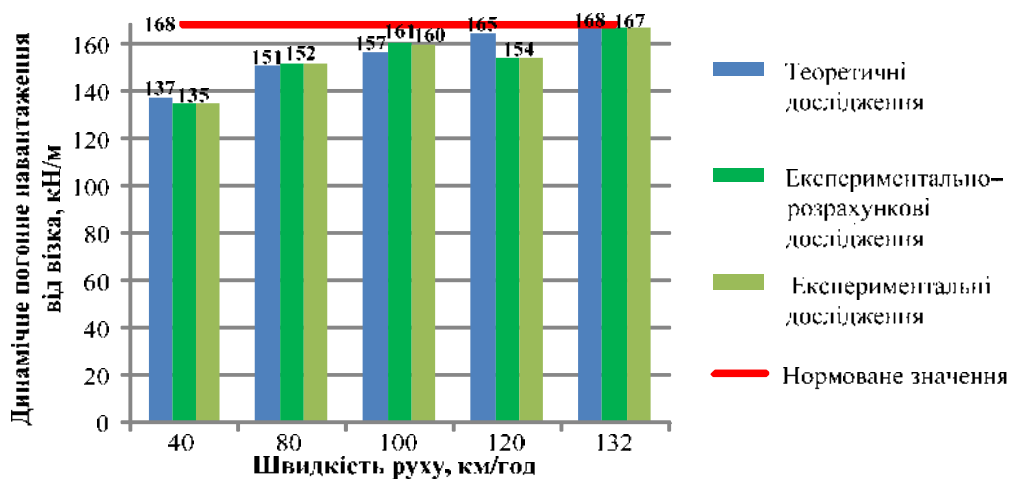


Рис. 11 – Діаграми динамічного погонного навантаження від візка на прямій ділянці

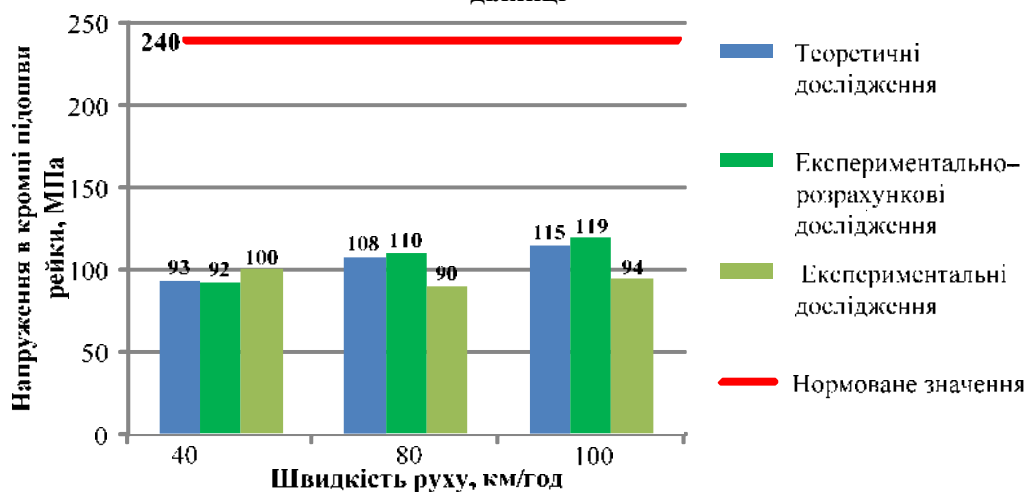


Рис. 12 – Діаграми напружень в кромці підшви рейки в кривій (R=906 м)

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

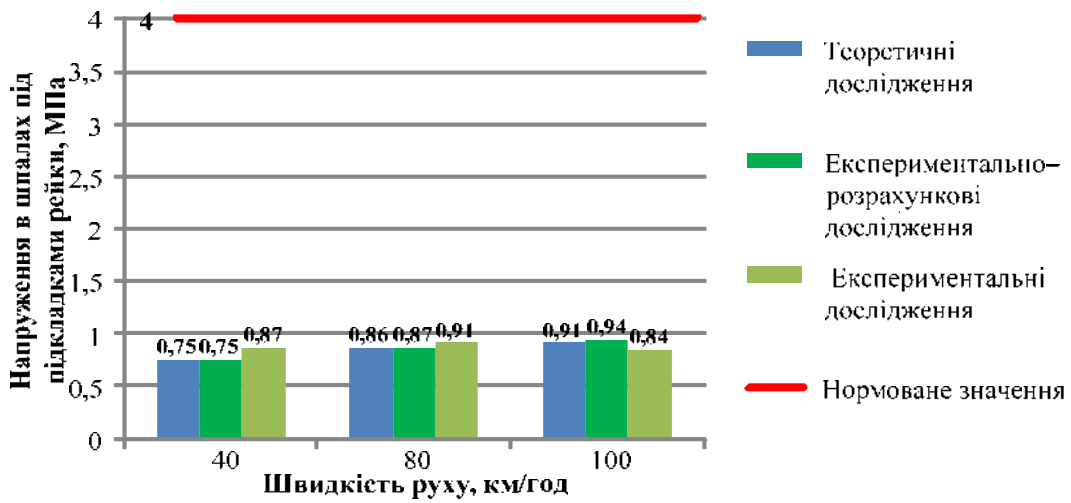


Рис. 13 – Діаграми напружень в шпалах під підкладками в кривій (R=906 м)

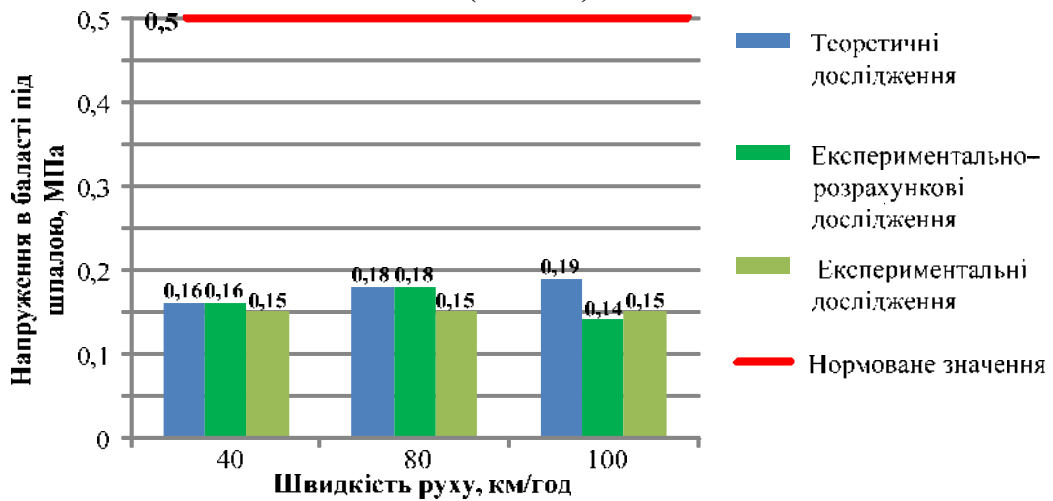


Рис. 14 – Діаграми напружень в баласті під шпалою в кривій (R=906 м)

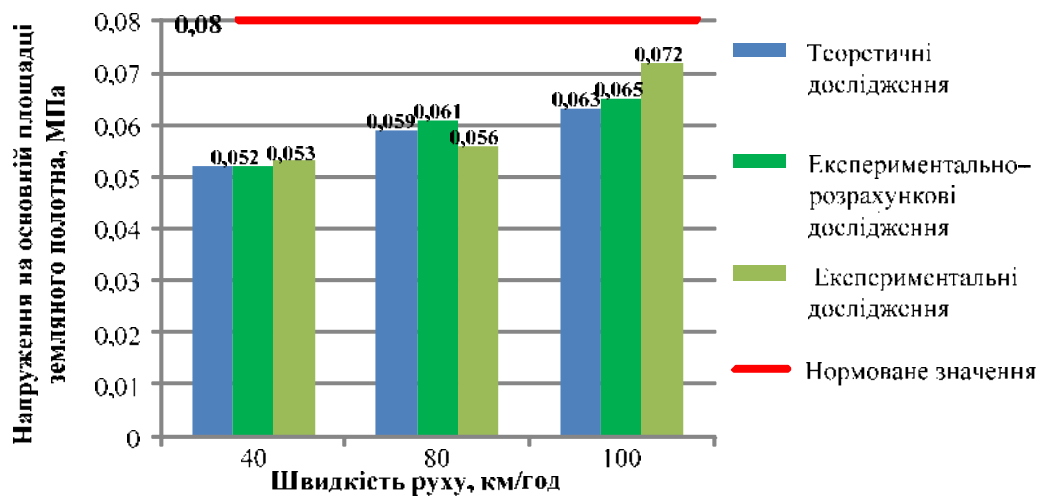


Рис. 15 – Діаграми напружень на основній площадці земляного полотна в кривій (R=906 м)

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

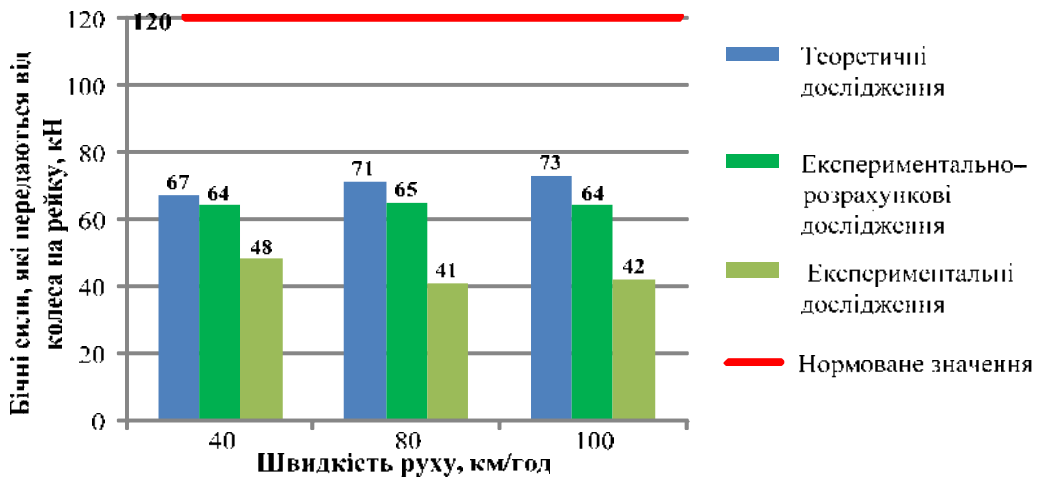


Рис. 16 – Діаграми бічних сил, які передаються від колеса на рейку в кривій (R=906 м)



Рис. 17 – Діаграми динамічних вертикальних навантажень від колеса на рейку в кривій (R=906 м)

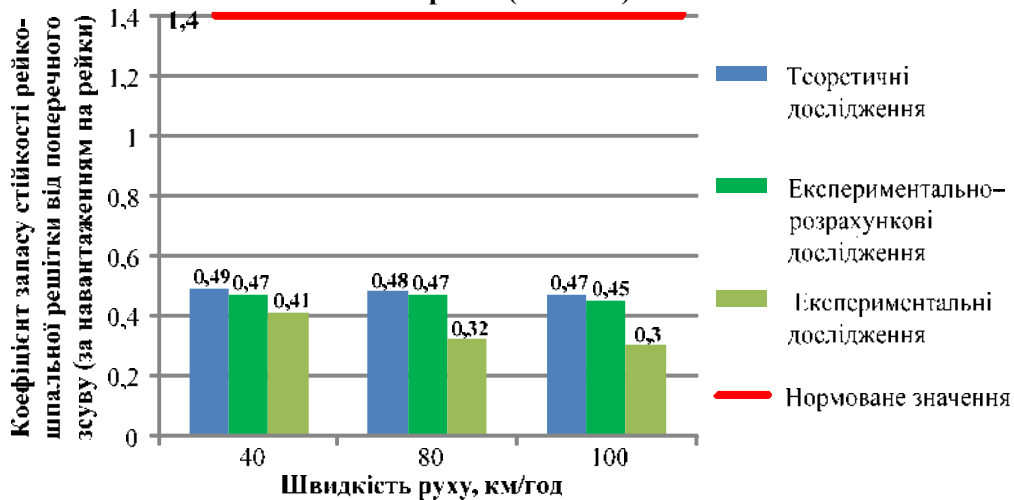


Рис. 18 – Діаграми коефіцієнта запасу стійкості рейко-шпальної решітки від поперечного зсуву (за навантаженням на рейки) в кривій (R=906 м)

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

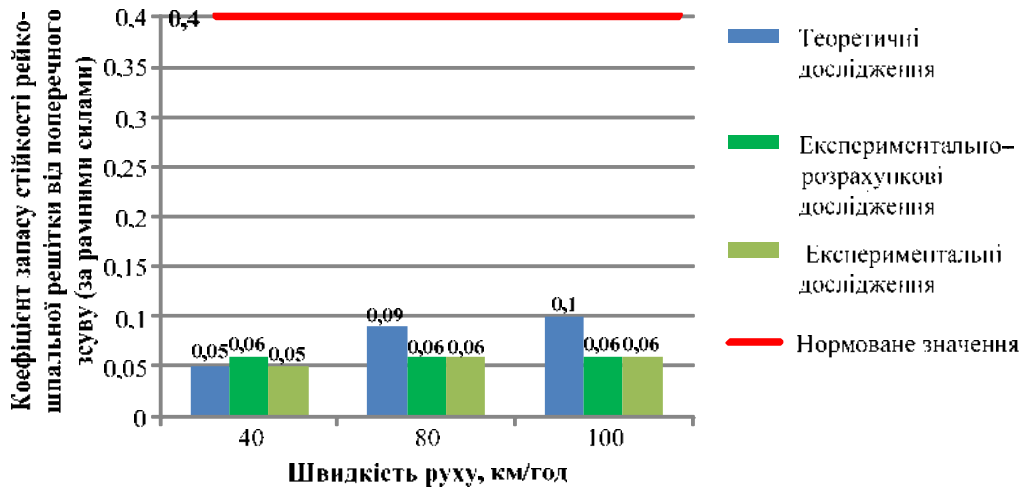


Рис. 19 – Діаграми коефіцієнта запасу стійкості рейко-шпальної решітки від поперечного зсуву (за рамними силами) в кривій (R=906 м)

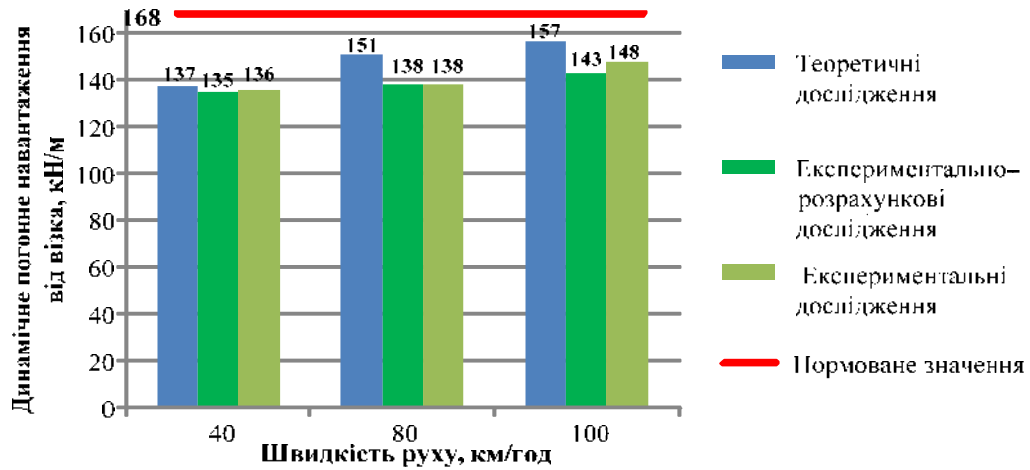


Рис. 20 – Діаграми динамічного погонного навантаження від візка в кривій (R=906м)

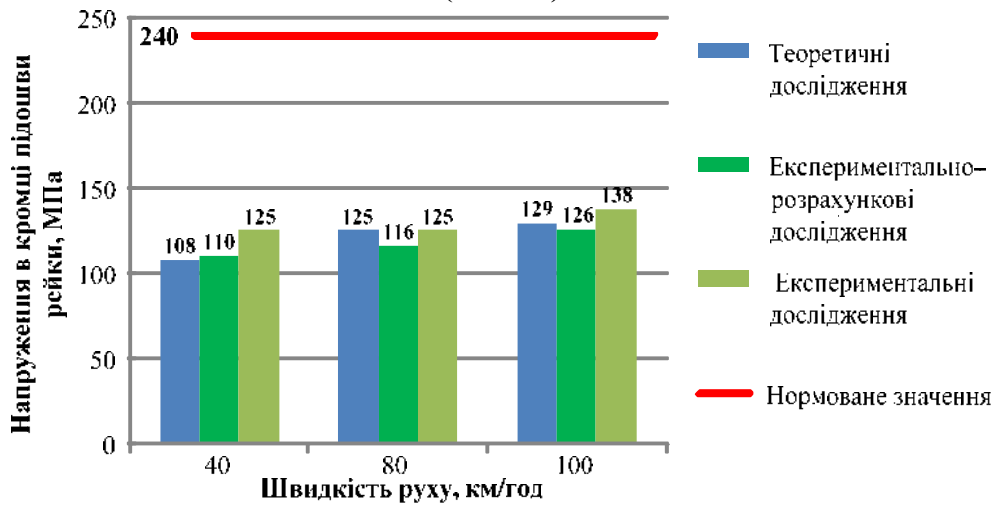


Рис. 21 – Діаграми напружень в кромці підшви рейки в кривій (R=419 м)

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

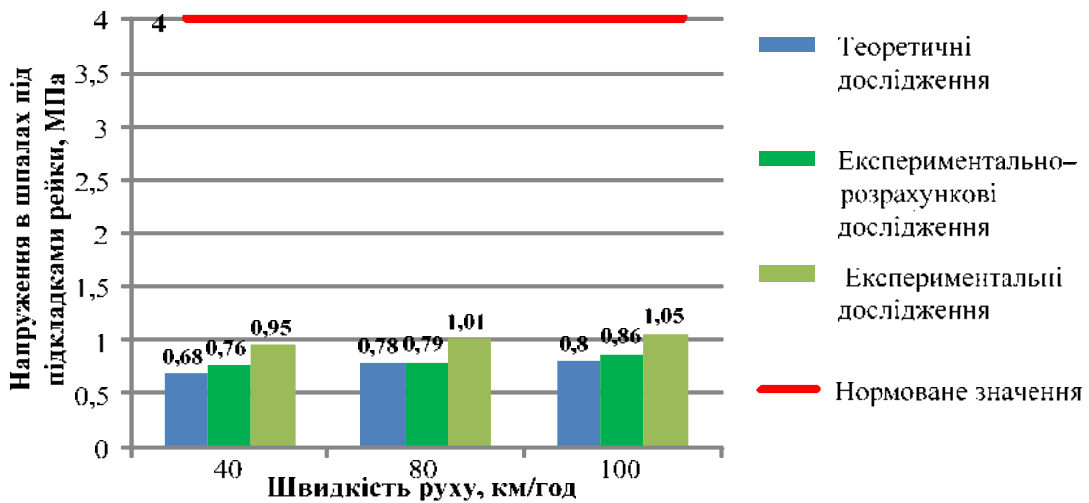


Рис. 22 – Діаграми напружень в шпалах під підкладками в кривій (R=419 м)

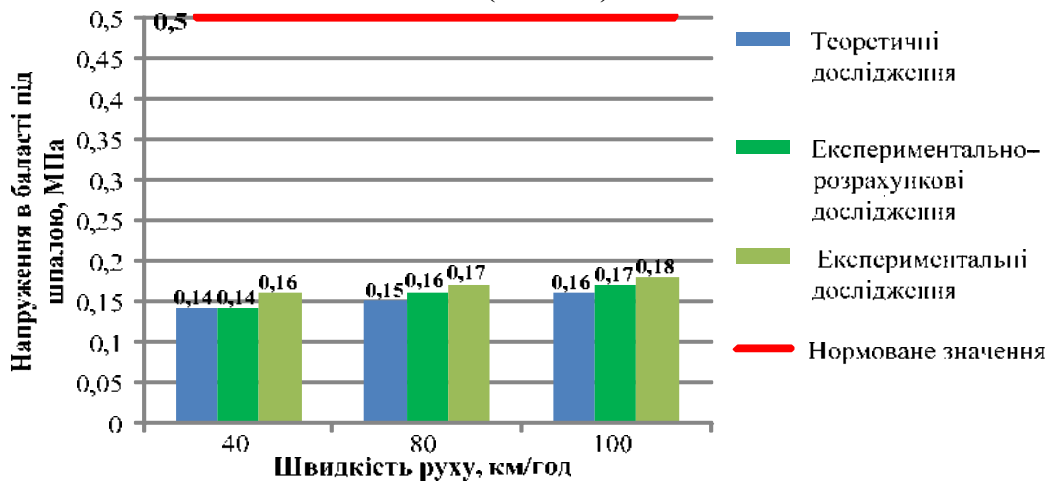


Рис. 23 – Діаграми напружень в баласті під шпалою в кривій (R=419 м)

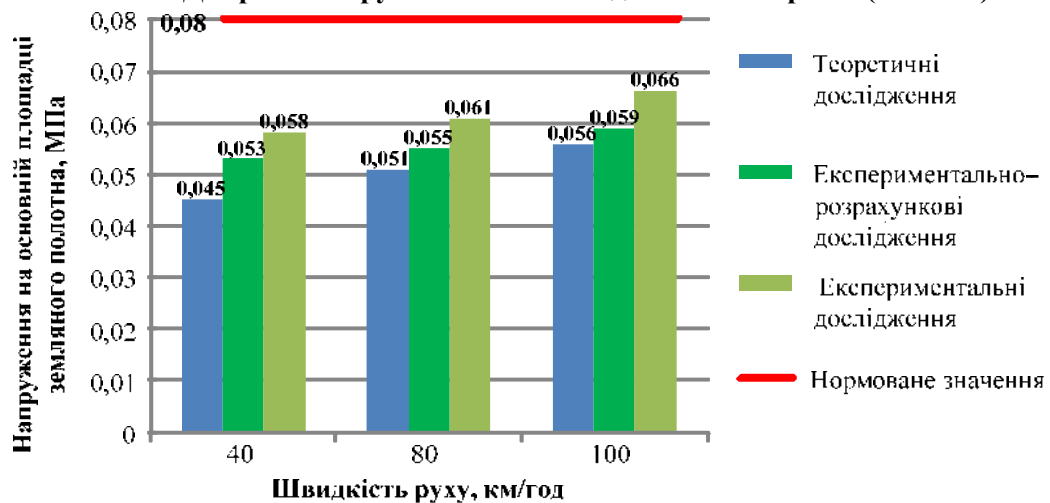


Рис. 24 – Діаграми напружень на основній площадці земляного полотна в кривій (R=419 м)

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

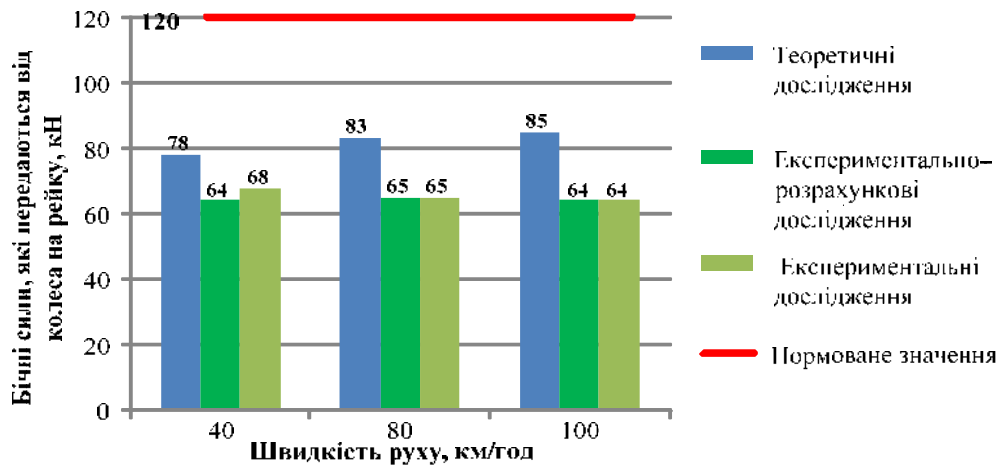


Рис. 25 – Діаграми бічних сил, які передаються від колеса на рейку в кривій (R=419 м)

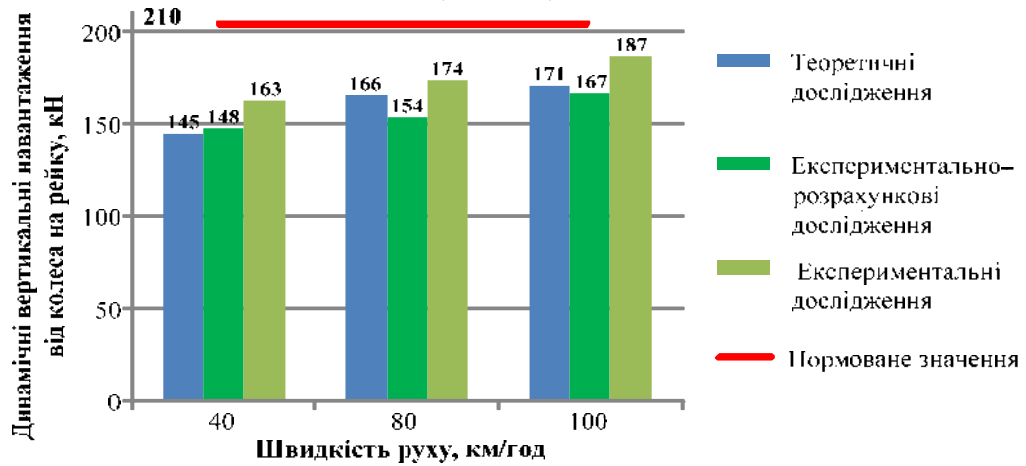


Рис. 26 – Діаграми динамічних вертикальних навантажень від колеса на рейку в кривій (R=419 м)

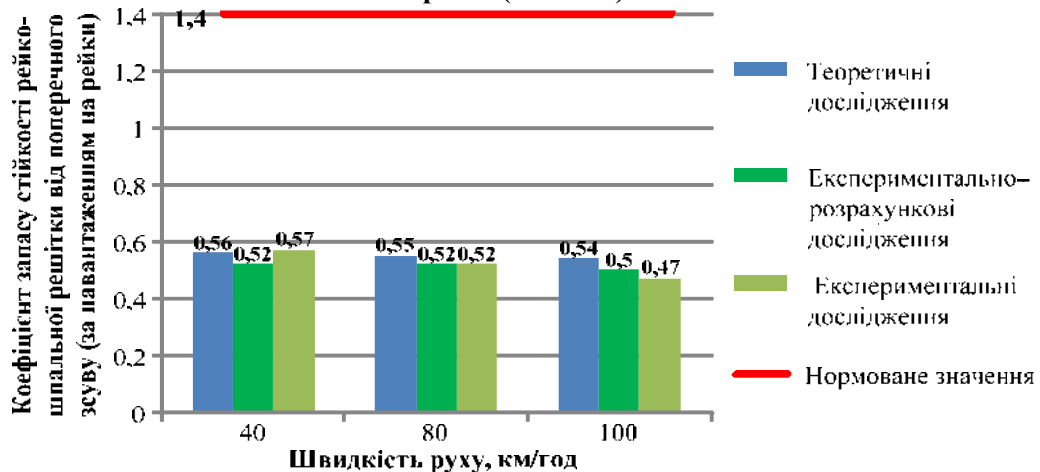


Рис. 27 – Діаграми коефіцієнта запасу стійкості рейко-шпальної решітки від поперечного зсуву (за навантаженням на рейки) в кривій (R=419 м)

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

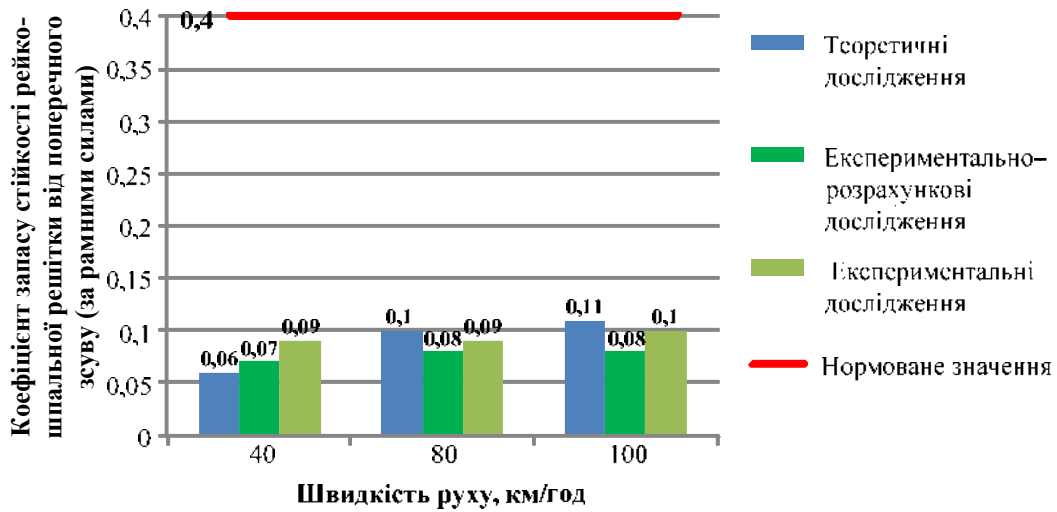


Рис. 28 – Діаграми коефіцієнта запасу стійкості рейко-шпальної решітки від поперечного зсуву (за рамними силами) в кривій (R=419 м)

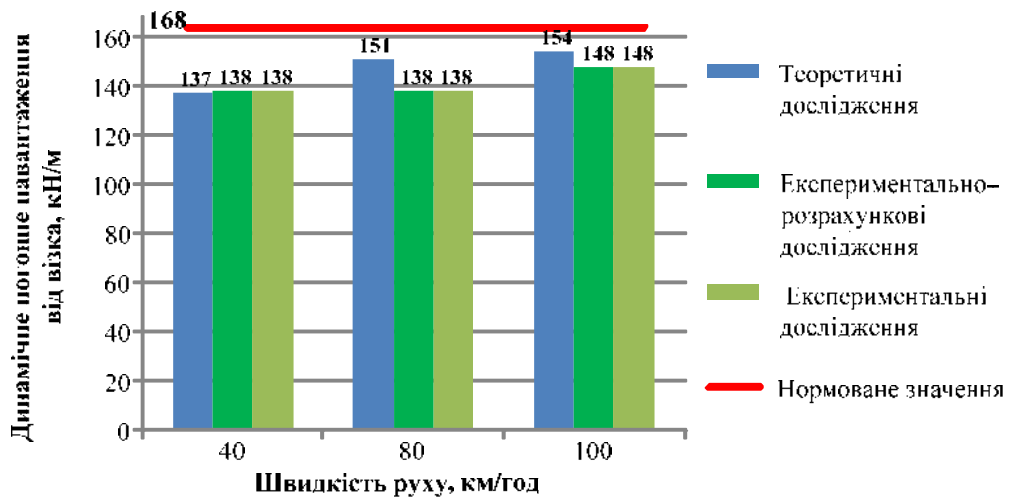


Рис. 29 – Діаграми динамічного погонного навантаження від візка в кривій (R=419 м)

За результатами аналізу даних впливу вагона моделі 19-7053-03 на візках моделі 18-7055 в прямій та кривих ділянках залізничної колії (рис. 3-29), які отримані в ході теоретичних, експериментально-розрахункових, експериментальних досліджень, встановлено наступне:

- показники впливу вагона моделі 19-7053-03 на залізничну колію не перевищують допустимих нормативних значень згідно [4];
- максимальне імовірне значення напруження в кромках підшви рейки в прямій і кривих ділянках залізничної колії склало 152 МПа, що становить 63 % від допустимої величини;

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

- максимальне напруження в шпалах під підкладками для залізобетонних шпал в прямій та кривих ділянках залізничної колії склало 1,05 МПа, що становить 26 % від допустимої величини;
 - максимальне напруження в щебеневому баласті під шпалою в прямій та кривих ділянках залізничної колії склало 0,21 МПа, що становить 42 % від допустимої величини;
 - максимальне напруження на основній площадці земляного полотна в прямій та кривих ділянках залізничної колії склало 0,072 МПа, що становить 90 % від допустимої величини;
 - максимальне імовірне значення бічних сил, які передаються від колеса на рейку за умови міцності рейкових скріплень для залізничних колій із залізобетонними шпалами в прямій та кривих ділянках залізничної колії склало 85 кН, що становить 71 % від допустимої величини;
 - максимальне імовірне значення динамічного вертикального навантаження від колеса на рейку в прямій та кривих ділянках залізничної колії склало 206 кН, що становить 98 % 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 прямій та кривих ділянках залізничної колії склало 0,57, що становить 41 % 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 прямій та кривих ділянках залізничної колії склало 0,14, що становить 35 % від допустимої величини;
 - максимальне динамічне погонне навантаження на залізничну колію від візка склало 168 кН/м, що дорівнює нормативній допустимій величині.
- За отриманими даними в ході доекспериментальних, експериментально-розрахункових та експериментальних досліджень виконано порівняльний аналіз їх величин. Порівняльний аналіз значень показників з впливу вагона моделі 19-7053-03 в прямій та кривих ділянках залізничної колії виконувався за формулою:

$$y = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{X_{\max}} \cdot 100\%, \quad (2)$$

де X_{\max} , X_{\min} - максимальне та мінімальне значення величин, що отримані в ході одного з типів досліджень (доекспериментального, експериментально-розрахункового або експериментального).

Результати порівняльного аналізу величин, отриманих в ході різних типів досліджень (доекспериментальних, експериментально-розрахункових або експериментальних), наведено у вигляді діаграм на рис. 30-38. Результати порівняльного аналізу величин, отриманих в ході експериментально-розрахункових та експериментальних досліджень, наведено у вигляді діаграм на рис. 39-47.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

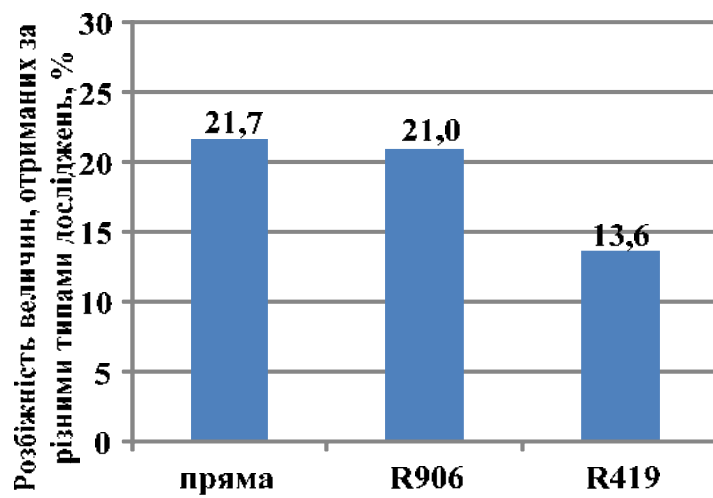


Рис. 30 – Діаграми розбіжності значень напружень в кромках підшви рейки

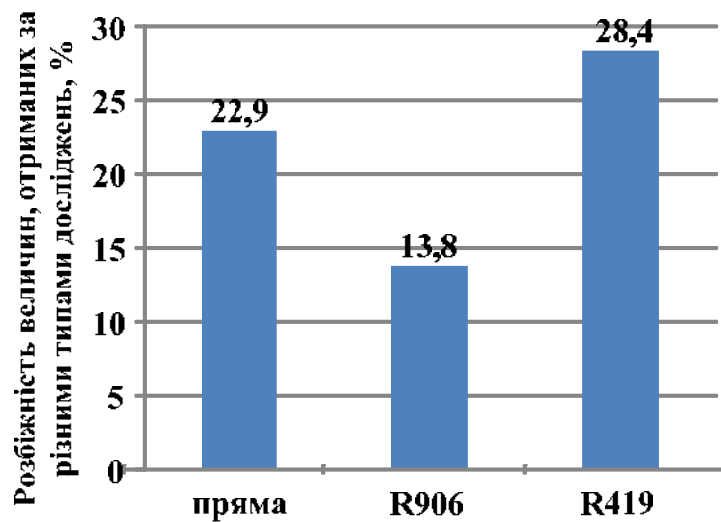


Рис. 31 – Діаграми розбіжності значень напружень в шпалах під підкладками

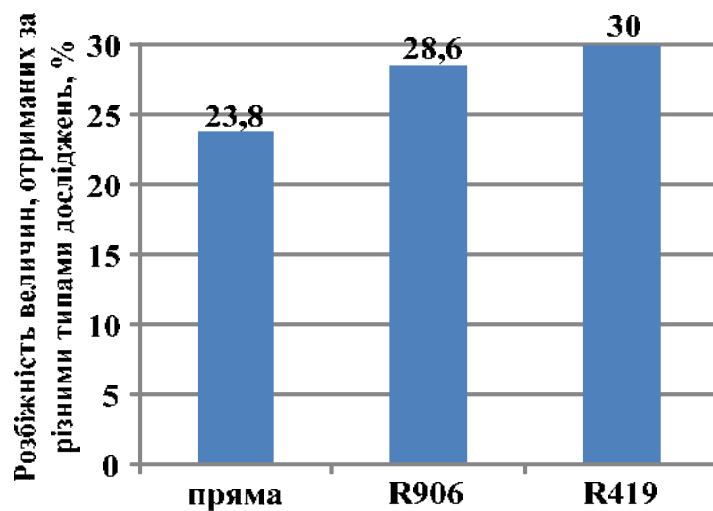


Рис. 32 – Діаграми розбіжності значень напружень в баласті під шпалою

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

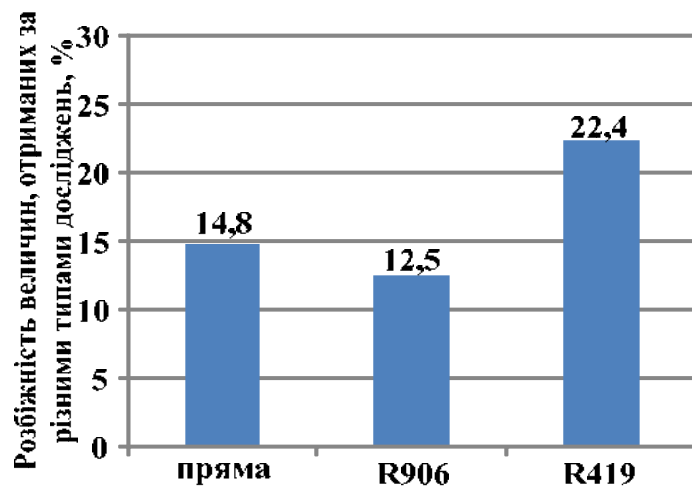


Рис. 33 – Діаграми розбіжності значень напружень на основній площадці земляного полотна

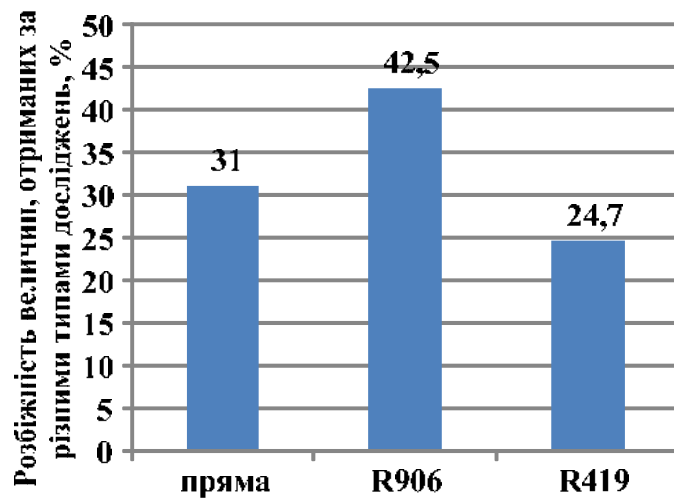


Рис. 34 – Діаграми розбіжності значень бічних сил, які передаються від колеса на рейку

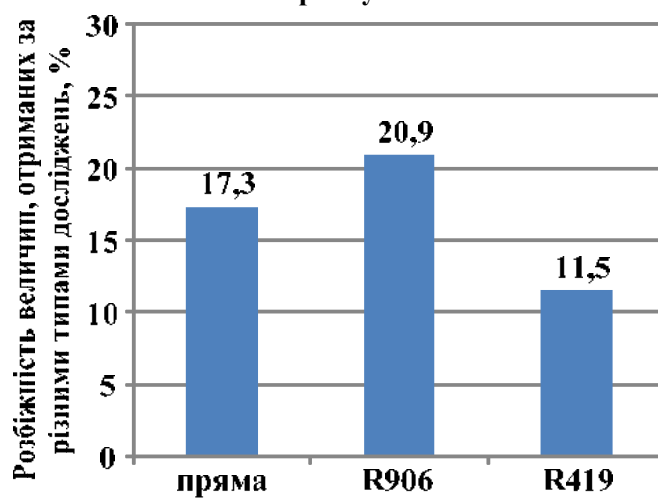


Рис. 35 – Діаграми розбіжності значень динамічних вертикальних навантажень від колеса на рейку

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

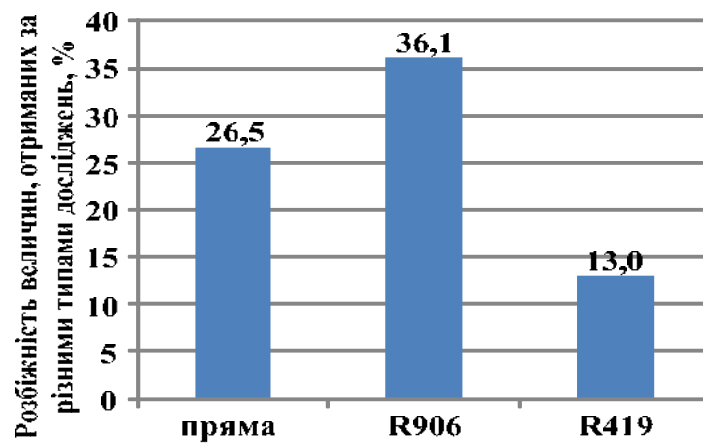


Рис. 36 – Діаграми розбіжності значень коефіцієнта запасу стійкості рейко-шпальної решітки від поперечного зсуву (за навантаженням на рейки)

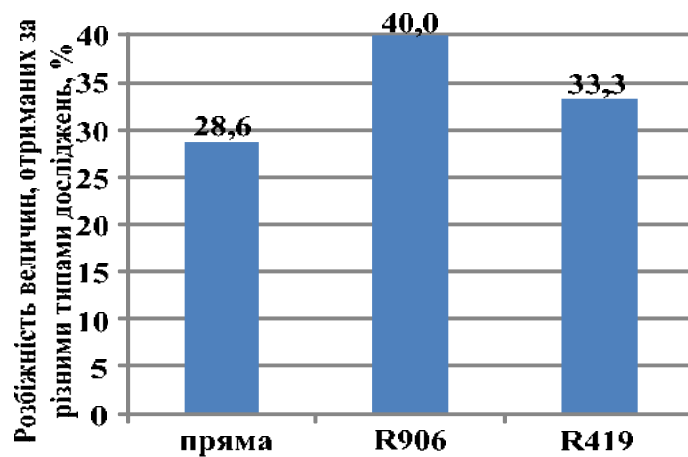


Рис. 37 – Діаграми розбіжності значень коефіцієнта запасу стійкості рейко-шпальної решітки від поперечного зсуву (за рамними силами)

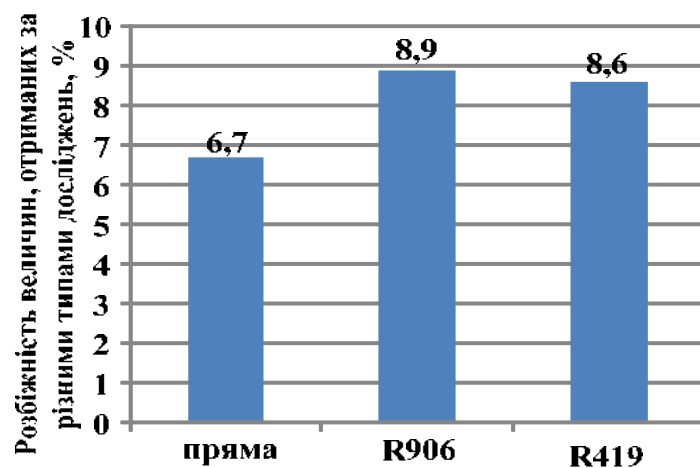


Рис. 38 – Діаграми розбіжності значень динамічного погонного навантаження від візка

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

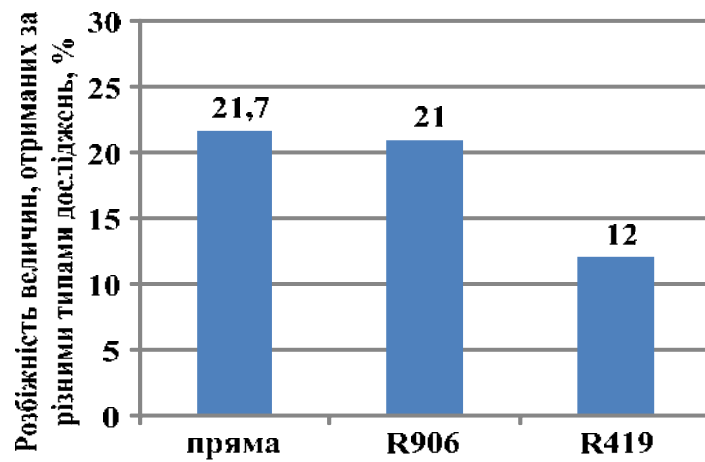


Рис. 39 – Діаграми розбіжності значень напружень в кромках підшви Рейки

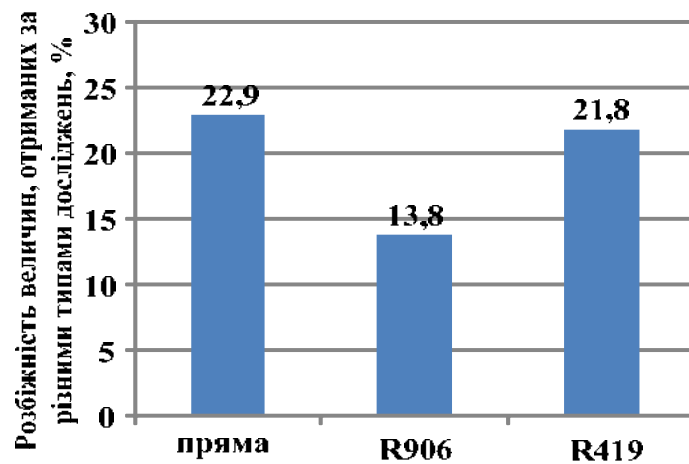


Рис. 40 – Діаграми розбіжності значень напружень в шпалах під підкладками

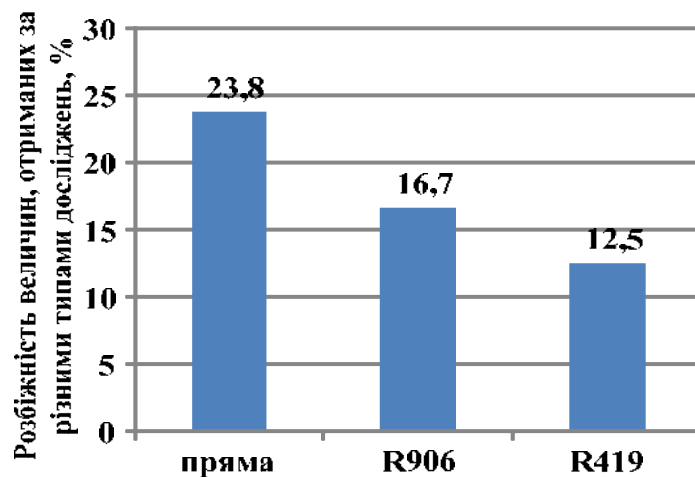


Рис. 41 – Діаграми розбіжності значень напружень в баласті під шпалою

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

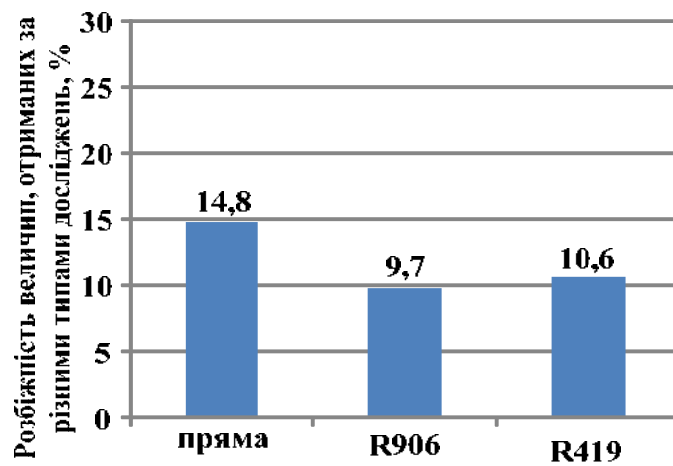


Рис. 42 – Діаграми розбіжності значень напружень на основній площадці земляного полотна

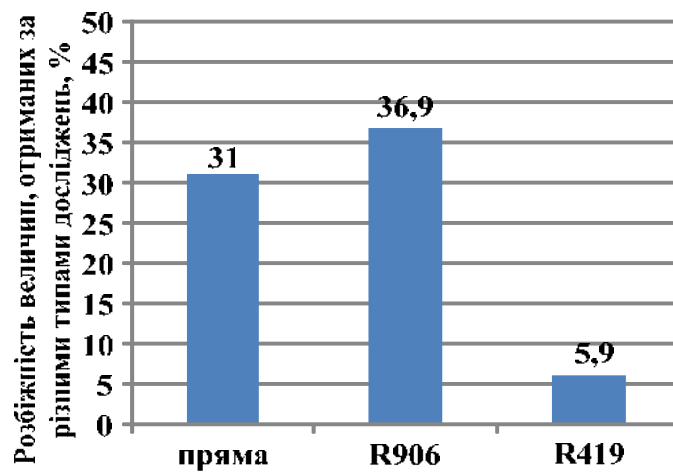


Рис. 43 – Діаграми розбіжності значень бічних сил, які передаються від колеса на рейку

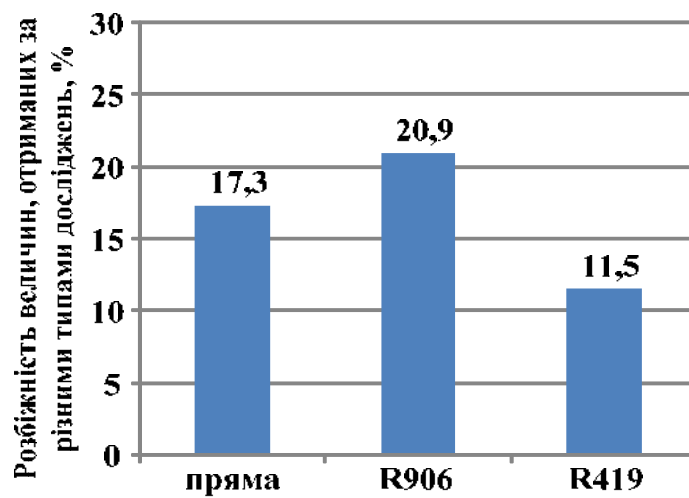


Рис. 44 – Діаграми розбіжності значень динамічних вертикальних навантажень від колеса на рейку

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

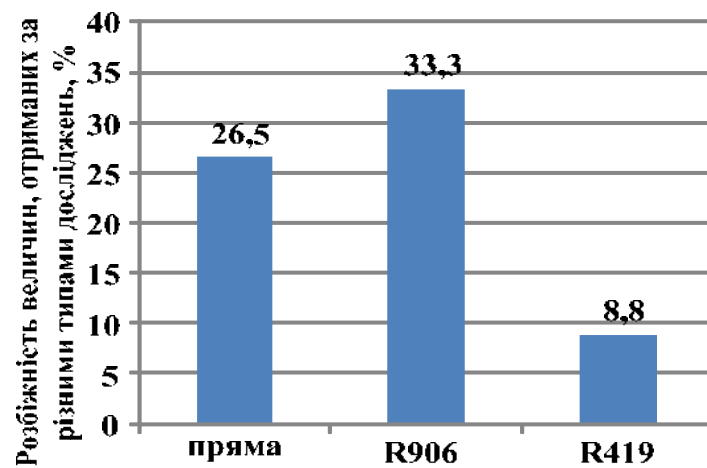


Рис. 45 – Діаграми розбіжності значень коефіцієнта запасу стійкості рейко-шпальної решітки від поперечного зсуву (за навантаженням на рейки)

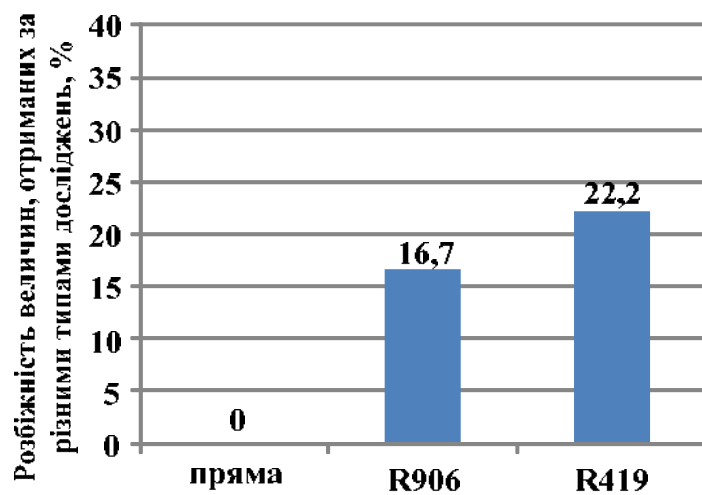


Рис. 46 – Діаграми розбіжності значень коефіцієнта запасу стійкості рейко-шпальної решітки від поперечного зсуву (за рамними силами)

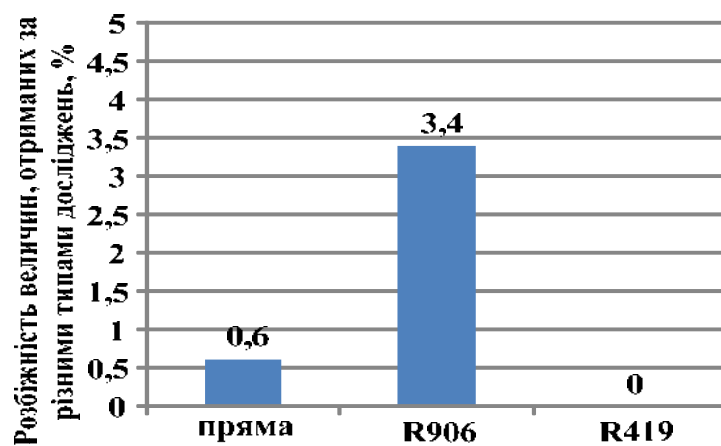


Рис. 47 – Діаграми розбіжності значень динамічного погонного навантаження від візка

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

За результатами порівняльного аналізу доекспериментальних, експериментально-розрахункових та експериментальних досліджень з визначення впливу вагона моделі 19-7053-03 на верхню будову залізничної колії (рис. 30–38) встановлено:

- розбіжність значень показників впливу вагона моделі 19-7053-03 для прямої та кривих ділянок залізничної колії в основному не перевищують 30 % за винятком бічних сил та коефіцієнтів запасу стійкості рейко-шпальної решітки від поперечного зсуву за навантаженням на рейки та рамними силами;

- максимальну розбіжність зафіксовано під час визначення бічних сил, яка складає 42,5 %;

- розбіжність значень динамічних вертикальних навантажень від колеса на рейку та динамічного погонного навантаження від візка вагона моделі 19-7053-03 для прямої та кривих ділянок залізничної колії не перевищують 21 %;

- мінімальну розбіжність зафіксовано під час визначення динамічного погонного навантаження, яка складає 6,7 %.

Отримана розбіжність значень показників впливу на колію, яка в основному складає до 30 %, є цілком прийнятною, оскільки теоретичні дослідження не враховують численні фактори за умов реальної експлуатації: стан колії (характер нерівностей, знос рейок), умови навколишнього середовища (температура, вологість), рухомий склад (нерівномірність розподілення вантажу, стан ходових частин), обробка результатів досліджень.

За результатами порівняльного аналізу експериментально-розрахункових та експериментальних досліджень з визначення впливу вагона моделі 19-7053-03 на верхню будову залізничної колії (рис. 39–47) встановлено:

- розбіжність значень показників впливу вагона моделі 19-7053-03 для прямої та кривих ділянок залізничної колії в основному не перевищують 25 % за винятком бічних сил та коефіцієнтів запасу стійкості рейко-шпальної решітки від поперечного зсуву за навантаженням на рейки;

- максимальну розбіжність зафіксовано під час визначення бічних сил, яка складає 36,9 %;

- розбіжність значень напружень на основній площадці земляного полотна та динамічного погонного навантаження від візка вагона моделі 19-7053-03 для прямої та кривих ділянок залізничної колії не перевищують 15 %;

- зафіксовано відсутність розбіжності під час визначення показників динамічного погонного навантаження та коефіцієнта запасу стійкості рейко-шпальної решітки від поперечного зсуву за рамними силами.

Висновки.

1. Апробовано процедуру комплексних досліджень з впливу рухомого складу на залізничну колію, яка включає наступні етапи досліджень: доекспериментальні, теоретично-експериментальні, експериментальні.

2. На підставі проведеного аналізу результатів досліджень з впливу на колію вагон моделі 19-7053-03 для перевезення зерна на візках моделі 18-7055 відповідає вимогам ДСТУ 7571: 2014 «Рухомий склад залізниць. Норми допустимого впливу на залізничну колію шириною 1520 мм.

3. Результати порівняльного аналізу свідчать про адекватність комплексної оцінки показників впливу на колію, оскільки розбіжність значень, отриманих за допомогою доекспериментальних, теоретично-експериментальних, експериментальних досліджень в основному не перевищує 30 %.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

4. Результати порівняльного аналізу теоретично-експериментальних та експериментальних досліджень свідчать про адекватність отриманих значень показників впливу на колію, оскільки розбіжність цих значень в основному не перевищує 25 %.

5. Використання запропонованої комплексної процедури досліджень дозволить виключити явні промахи під час отримання максимально імовірних значень показників з впливу на колію та в цілому підвищити точність і якість отриманих результатів.

Рекомендації.

Подальші дослідження необхідно направити на впровадження комплексної процедури досліджень з оцінки показників впливу рухомого складу на залізничну колію з метою поліпшення якості та точності отриманих результатів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ромен, Ю.С. Установление условий обращения вагонов с увеличенной осевой нагрузкой / Ю.С. Ромен, А.М. Орлова, М.С. Тихов, А.В. Заверталюк // Транспорт Российской Федерации. – 2013. – № 3 (46). – С. 25–35.
2. 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.
3. Рыбкин, В.В. Проведення випробувань з впливу на колію та стрілочні переводи рухомого складу нового покоління з осьовим навантаженням 25 т на вісь / В.В. Рыбкин, Савлук В.Є // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – Х., 2012. – Вип. 130. – С. 127–131.
4. 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.
5. 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.
6. 19-7053-03 ТЗ. Технічне завдання на дослідно-конструкторську роботу „Вагон для зерна моделі 19-7053-03” – Кременчук: ПАТ «КВБЗ», 2018. – 37 с.
7. Даніленко Е.І. Правила розрахунків залізничної колії на міцність та стійкість : ЦП-0117 / Е.І. Даніленко, В.В. Рыбкин. – К.: Транспорт України, 2004. – 64 с.
8. ТМ 06.178-2004 Типова методика оцінки впливу рухомого складу на колію. Полтавська обл., м. Кременчук: ДП «УкрНДІВ», 2004. – 34 с.
9. М 6.5.00736 „Вагон для зерна моделі 19-7053-03. Методика випробувань (вписування в габарит, визначення маси тари вагона, визначення геометричних розмірів, визначення статичного навантаження від осі колісної пари на рейки та висоти автозчепу від рівня головок рейок, статичних випробувань на міцність, стаціонарних та поїзних гальмівних випробувань, ходових динамічних випробувань, визначення рівня зовнішнього шуму, випробувань з впливу на колію та співудар”. Полтавська обл., м. Кременчук: ДП «УкрНДІВ», 2018. – 47 с.