

**БУДІВНИЦТВО, РЕКОНСТРУКЦІЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЯ
КОНСТРУКЦІЙ І СПОРУД ЗАЛІЗНИЧНОГО
ТРАНСПОРТУ**

УДК 625.032.432

*Рибкін В.В., д.т.н., професор (ДНУЗТ)
Патласов О.М., к.т.н., доцент (ДНУЗТ)
Панченко П.В., аспірант (ДНУЗТ)*

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ КОЛІЇ ТА
РУХОМОГО СКЛАДУ ПРИ ШВИДКОСТЯХ РУХУ ДО 160 КМ/ГОД**

З метою впровадження швидкісного руху пасажирських поїздів до ЕВРО-2012 та згідно «Стратегії розвитку залізничного транспорту на період до 2020 року», введеною в дію рішенням КМУ від 16.12.2009 р. №1555-р [1], колієвипробувальною лабораторією ДНУЗТа на замовлення Укрзалізниці були проведені дослідження взаємодії колії та рухомого складу при швидкостях руху до 160 км/год.

Підстава для проведення експериментальних досліджень є відсутність допусків по утриманню колії при досягненні яких необхідно обмежувати швидкість руху поїздів на ділянках де встановлена швидкість руху пасажирських поїздів понад 140 км/год [2, 3, 4].

Характеристика дослідної ділянки, методика проведення випробувань та обробки даних. Ділянка колії, що досліджувалась, розташована на непарній колії перегону Бориспіль – Баришівка Південно-Західної залізниці в кривій радіусом 2100 м; конструкція колії безстикова; рейки Р65; шпали залізобетонні, епюра шпал 1840 шт./км; баласт щебеневий.

Відступи за станом колії від нормативів не перевищували III ступеня.

Загальна оцінка колії на кілометрі – «відмінно».

Напружено-деформований стан колії досліджувався під дією дослідного поїзда. Згідно з [5] його максимальна реалізована швидкість підчас експерименту повинна дорівнювати 176 км/год. Для цієї реалізації

дослідний поїзд був сформований з двох електровозів серії ДС-3, двох пасажирських вагонів на візках КВЗ-ЦНИИ.

Поїздки виконувалися човником (в парному та непарному напрямку) зі швидкостями 5, 100, 120, 130, 140, 150, 160, 176 км/год. Швидкість 5 км/год реалізовувалась для тарування вимірювальної апаратури.

Під час експерименту визначалися такі характеристики взаємодії рухомого складу та колії:

- напруження у рейках;
- вертикальні та горизонтальні сили, що діють на рейки;
- горизонтальні та вертикальні переміщення рейкових елементів;
- горизонтальні та вертикальні прискорення кузова пасажирського вагона.

Допустимі величини прискорень кузова вагона, сил, деформацій та напружень в колії згідно з [5, 6] становлять:

1. Напруження в кромках, МПа:
 - підосви рейки.....240
2. Горизонтальні сили взаємодії колеса та рейки, кН:
 - для локомотива.....150
 - для вагона.....120
3. Переміщення рейки, мм:
 - вертикальні10
 - горизонтальні (рекомендований показник, який визначається під час випробувань)6
4. Прискорення кузова пасажирського вагона, м/с^2 :
 - вертикальні3.43
 - горизонтальні2.45

Місця встановлення приладів визначалися на підставі натурних обмірів колії та математичного моделювання взаємодії пасажирського вагона з колією.

Натурні обміри включають в себе ширину колії, положення за рівнем та стріли вигину. Результати вимірів приведені на рисунках 1- 2. Нульова точка на рисунках 1 та 2 відповідає початку перехідної кривої. Центр дослідної ділянки (ПГ7) знаходиться на цих рисунках в точці 170 м. Ця точка відповідає центру штучно зроблених нерівностей в плані. Сама нерівність робилась для встановлення впливу різниці суміжних стріл вигину, виміряних від середини хорди 20 м, на динамічні показники вагона та колії при швидкості руху до 160 км/год.

Схема установки приладів на дослідній ділянці наведена на рисунку 3.

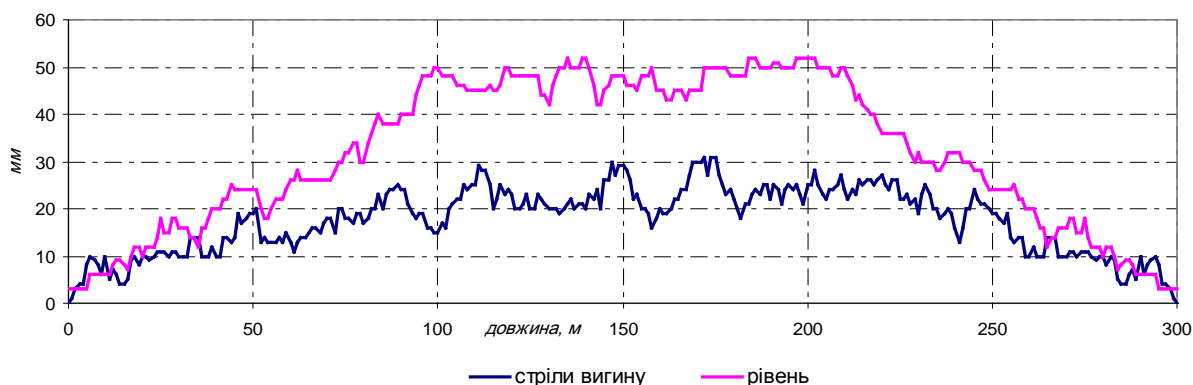


Рисунок 1 - Результати натурних вимірів рівня рейкових ниток та стріл вигину від середини хорди 20 м

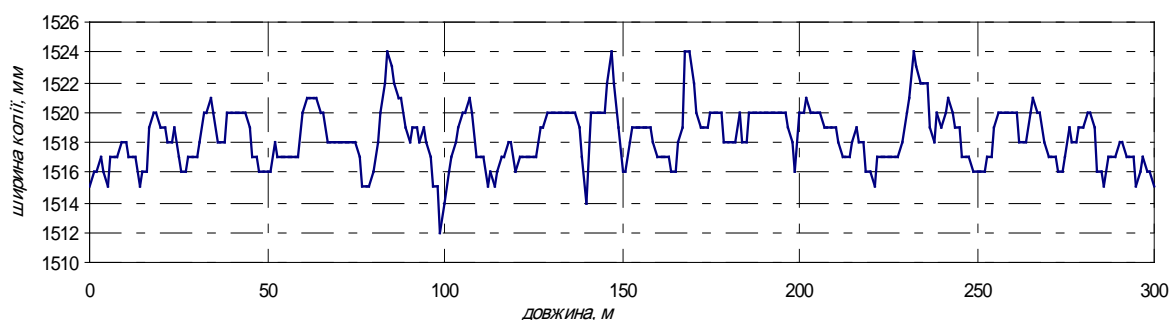
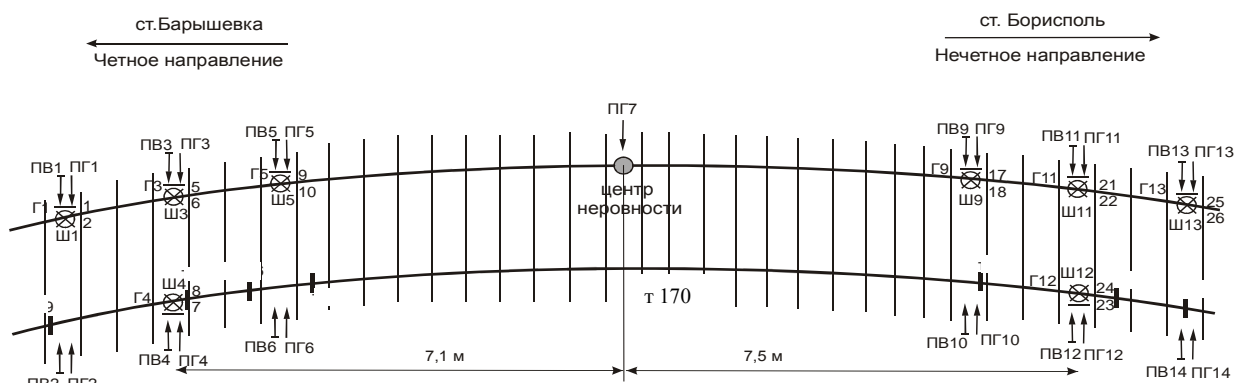


Рисунок 2 - Результати натурних вимірів ширини колії



Умовні позначення:

- ✕ – прилад для вимірювань вертикальних сил, Ш;
- ⤿ – прилад для вимірювань напружень у кромці підшві рейки;
- – прилад для вимірювань напружень у кромці головки рейки, Г;
- ↓ – прилад для вимірювання горизонтальних переміщень головки рейки, ПГ;
- ↕ – прилад для вимірювання вертикальних переміщень рейки, ПВ.

Рисунок 3 - Схема установки приладів

Кількість дослідних поїздок при кожній швидкості забезпечувала необхідну статистичну достовірність результатів.

Для реєстрації показників взаємодії колії та рухомого складу використовувалися тензометричні датчики, для вимірів просторової деформації рейкових ниток – електропрогиноміри системи ЦНИИ МПС. Реєстрація показників здійснювалась за допомогою аналого-цифрових перетворювачів на переносний комп'ютер.

Горизонтальні прогини вимірювалися за допомогою прогиномірів (ПГ), які кріпилися до штирів, що забивалися у баласт безпосередньо біля рейки.

Вертикальні сили, що діють від коліс на рейки, вимірювалися за допомогою тензодатчиків (Ш), що наклеювалися вертикально в зоні нейтральної осі по обидва боки шийки рейки і включалися в спільну роботу. Показання цих датчиків записувалися через підсилювачі.

Для визначення бокових сил, що діють від рухомого складу на колію, прилади розташовувалися групами. Вимір напружень у зовнішніх і внутрішніх кромках підшов рейок здійснювався за допомогою тензометричних датчиків з базою 20 мм і опором 200 Ом. Датчики наклеювалися практично біля самої кромки підшви по її нижній поверхні. У тих поперечних перерізах рейок, де розміщувалися датчики кромкових напружень, вимірялися напруження в зовнішній грані головки рейок (Г) за допомогою аналогічних датчиків.

Бокові сили, що діють від коліс на рейки, розраховувалися за методикою О.П. Єршкова [7].

Напружено-деформований стан колії. Виникаючі в колії бокові сили від дослідного поїзда наведені в таблиці 1.

Середні значення горизонтальних сил на головку рейкової нитки від вагонів і локомотивів діяли назовні колії і не перевищували відповідно 20 та 33 кН. Максимальні бокові сили в колії досягали 43,21 кН від пасажирських вагонів при швидкості 160 км/год та 62,35 кН від локомотивів при швидкості 140 км/год. При цьому ці значення не суттєво залежать від швидкості.

Аналіз таблиці 1 показав, що абсолютні величини бокових сил не перевищували за максимальними ймовірними та спостереженими значеннями 120 кН та 150 кН (для вагона та локомотива).

Середні статичні горизонтальні віджимання головки рейкової нитки при швидкості 176 км/год від вагонів не перевищили 0,54 мм, а від локомотивів 0,82 мм (див. таблиця 2).

Таблиця 1 - Горизонтальні сил (кН) , що спостерігалися

**БУДІВНИЦТВО, РЕКОНСТРУКЦІЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЯ КОНСТРУКЦІЙ І
СПОРУД ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

швидкість, км/год	рухомий склад	середні	середні квадратичні відхилення	тах ймовірні	тах спостережені
1	2	3	4	5	6
100	ДС-3	29,82	10,19	55,31	49,92
	вагон	17,42	7,14	35,27	33,00
120	ДС-3	32,04	8,87	54,23	57,39
	вагон	19,08	7,02	36,64	42,68
130	ДС-3	32,98	8,72	54,79	56,65
	вагон	19,52	6,53	35,84	35,98
140	ДС-3	31,35	9,81	55,86	62,35
	вагон	18,63	7,33	36,95	38,41
150	ДС-3	30,41	9,55	54,29	56,36
	вагон	18,31	6,77	35,24	33,82
160	ДС-3	30,89	9,74	55,25	57,01
	вагон	19,20	6,79	36,16	43,21
176	ДС-3	29,46	10,69	56,20	58,18
	вагон	18,19	7,95	38,05	35,60

Таблиця 2 - Горизонтальні прогини рейок (мм), що спостерігалися

швидкість, км/год	рухомий склад	середні	середні квадратичні відхилення	тах ймовірні	тах спостережені
1	2	3	4	5	6
100	ДС-3	0,17	0,43	1,24	1,57
	вагон	0,43	0,26	1,08	1,95
120	ДС-3	0,28	0,46	1,42	2,52
	вагон	0,46	0,30	1,21	2,07
130	ДС-3	0,34	0,44	1,43	2,90
	вагон	0,51	0,30	1,24	1,78
140	ДС-3	0,49	0,56	1,88	5,69
	вагон	0,50	0,36	1,40	2,44
150	ДС-3	0,54	0,76	2,45	5,80
	вагон	0,43	0,40	1,44	2,00
160	ДС-3	0,69	0,93	3,02	5,87
	вагон	0,43	0,41	1,45	2,08
176	ДС-3	0,82	1,07	3,51	7,28
	вагон	0,54	0,52	1,84	2,71

Максимальні віджимання головки назовні колії від вагонів досягали 2,71 мм та 7,28 мм від локомотивів при швидкості 175 км/год. При зростанні швидкості від 140 до 160 км/год максимальні прогини змінюються не суттєво.

Середні вертикальні сили діючі на рейку під час дослідних поїздок не перевищили для вагонів 81.13 кН при швидкості 160 км/год та 112.13 кН для локомотивів при швидкості 120 км/год (див. таблиця 3).

Максимальні спостережені вертикальні сили під локомотивом виникали при швидкості 160 км/год і склали 180 кН, під вагонами при швидкості 100 км/год і склали 134.6 кН.

При збільшенні швидкості спостерігається не суттєве зростання максимально ймовірних вертикальних сил, як для локомотивів так і для вагонів.

Таблиця 3 - Вертикальні сили (кН), що спостерігалися

швидкість, км/год	рухомий склад	середні	середні квадратичні відхилення	max ймовірні	max спостережені
1	2	3	4	5	6
100	ДС-3	104,28	13,98	139,22	166,10
	вагон	73,15	11,09	100,87	134,60
120	ДС-3	11,13	13,23	145,21	165,30
	вагон	79,19	9,36	102,59	109,20
130	ДС-3	112,00	14,59	148,47	169,20
	вагон	79,76	9,63	103,85	123,40
140	ДС-3	108,40	17,52	152,19	170,20
	вагон	77,05	11,29	105,27	108,30
150	ДС-3	110,31	16,41	151,34	174,00
	вагон	80,79	11,86	110,43	111,70
160	ДС-3	111,40	17,65	155,52	180,00
	вагон	81,13	12,77	113,06	110,40
176	ДС-3	107,91	18,43	154,00	179,20
	вагон	77,61	14,23	113,20	111,70

Напруження в кромках підшвів рейок також не суттєво залежать від швидкості, середні значення для локомотива не перевищили 49,58 МПа та для вагонів 33,59 МПа при швидкості 160 км/год. Максимальні ймовірні

БУДІВНИЦТВО, РЕКОНСТРУКЦІЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЯ КОНСТРУКЦІЙ І СПОРУД ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

та максимальні спостережені значення склали для локомотива 180 МПа, для вагонів 134,6 МПа (див. таблиця 4).

Таблиця 4 - Напруження (МПа) у кромці підшви рейки, що спостерігалися

швидкість, км/год	рухомий склад	середні	середні квадратичні відхилення	max ймовірні	max спостережені
1	2	3	4	5	6
100	ДС-3	44,87	15,14	82,72	120,10
	вагон	30,20	10,24	55,79	89,70
120	ДС-3	46,76	16,59	88,23	138,80
	вагон	32,58	11,29	60,81	111,70
130	ДС-3	47,39	17,41	90,91	121,30
	вагон	33,57	10,65	60,19	82,60
140	ДС-3	46,64	20,15	97,02	135,30
	вагон	32,89	11,79	62,37	86,40
150	ДС-3	48,09	21,38	101,54	172,40
	вагон	33,59	10,78	60,55	72,20
160	ДС-3	49,58	23,54	108,44	169,60
	вагон	34,18	11,22	62,24	103,70
176	ДС-3	48,13	27,30	116,37	181,30
	вагон	33,43	13,03	66,02	80,90

Вертикальні прогини рейок під час експерименту не перевищили 5,19 мм для локомотивів та для вагонів 4,15 мм при швидкості 140 км/год. Середні значення як для вагонів так для локомотивів не перевищують 2,02 мм. Максимальні ймовірні прогини рейок для локомотивів склали 3,38 мм при швидкості 140 км/год та для пасажирських вагонів 3,03 мм при 140 км/год (див. таблиця 5).

Таблиця 5 - Вертикальні прогини рейок (мм), що спостерігалися

швидкість, км/год	рухомий склад	середні	середні квадратичні відхилення	max ймовірні	max спостережені
1	2	3	4	5	6
100	ДС-3	1.90	0.43	2.99	2.95

БУДІВНИЦТВО, РЕКОНСТРУКЦІЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЯ КОНСТРУКЦІЙ І СПОРУД ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

	вагон	1.63	0.43	2.72	2.63
120	ДС-3	1.87	0.47	3.05	3.10
	вагон	1.65	0.45	2.77	2.71
130	ДС-3	1.97	0.46	3.13	3.06
	вагон	1.71	0.48	2.90	2.67
140	ДС-3	1.94	0.57	3.38	5.19
	вагон	1.71	0.53	3.03	4.15
150	ДС-3	1.91	0.47	3.09	3.73
	вагон	1.67	0.46	2.83	3.09
160	ДС-3	2.02	0.44	3.13	3.57
	вагон	1.72	0.44	2.81	2.94
176	ДС-3	1.97	0.44	3.08	3.65
	вагон	1.70	0.47	2.87	2.94
	вагон	1.70	0.47	2.87	2.94

Аналіз горизонтальних прискорень кузова вагона. Горизонтальні (поперечні) та вертикальні прискорення вимірювались в останньому купе пасажирського вагону за допомогою приладу МАСТРАК.

Окремі осцилограми вимірів прискорень при різних швидкостях і напрямку руху з Баришівки на Бориспіль наведені на рисунку 4. Нульова точка на рисунку 4 відповідає 170 м точці рисунків 1 та 2. Ця точка є центром горизонтальної нерівності в плані.

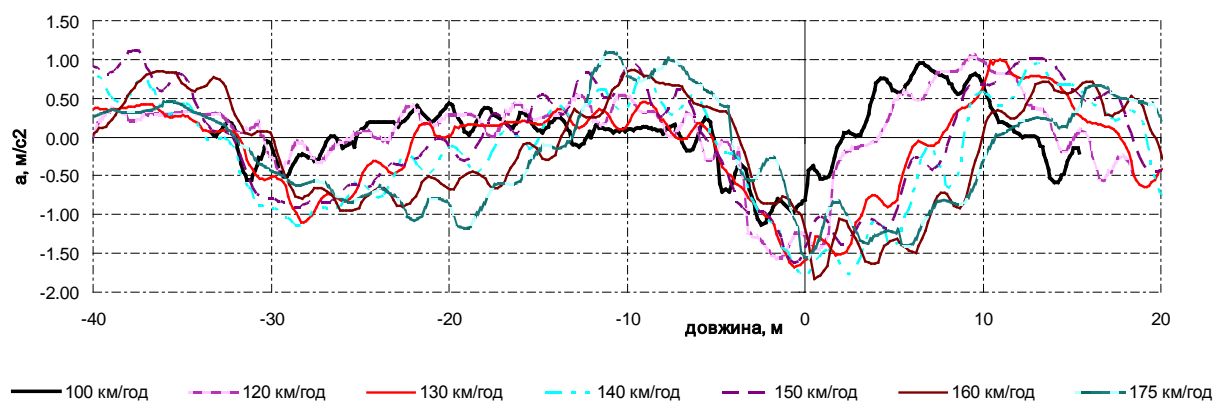


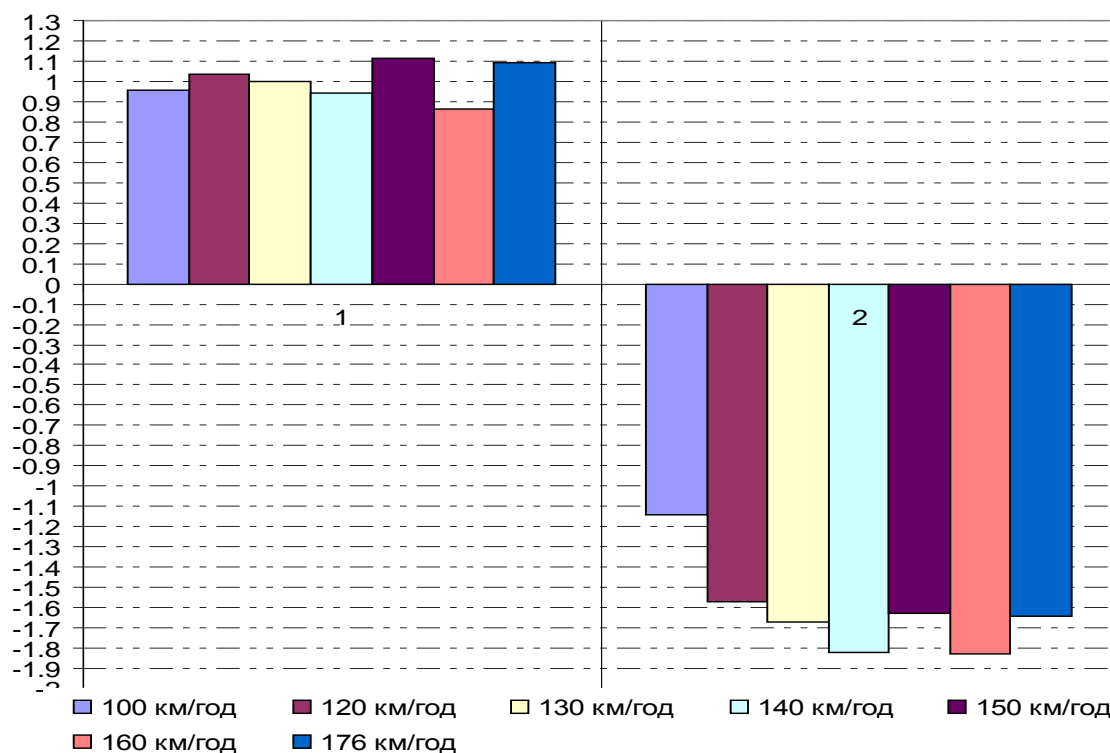
Рисунок 4 - Горизонтальні динамічні прискорення кузова пасажирського вагона в зоні дослідної ділянки

Горизонтальна нерівність робилася штучно кожен день перед проведенням експерименту і відповідала III ступеню відхилення. При цій

нерівності різниця у суміжних стрілах вигину виміряних від середини хорди 20 м дорівнювала 23-25 мм.

Аналіз записів горизонтальних прискорень показав схожість характеру записів при різних швидкостях. При цьому відбувається деяке запізнення при зростанні швидкості.

Значення максимальних прискорень при різних швидкостях в межах нерівності наведено на рисунку 5.



1 – прискорення кузова вагона, що діють у середину кривої;

2 - прискорення кузова вагона, що діють на зовні кривої.

Рисунок 5 - Максимальні додатні та від'ємні горизонтальні динамічні прискорення кузова пасажирського вагона в зоні штучно зробленої кривої

Висновки. У результаті виконаних експериментальних досліджень було встановлено:

1. Максимальні виміряні значення вертикальних сил від дії коліс вагонів та локомотивів на рейки в кривих ділянках з рейками Р65 не перевищували 135 та 180 кН відповідно, максимальні ймовірні – 113,2 та 155,52 кН відповідно, середні – 81,13 та 112,13 кН. При цьому при зростанні швидкості від 140 до 160 км/год вони змінюються не суттєво.

2. Динаміка зміни вертикальних прогинів рейок під дослідним

рухомим складом в залежності від швидкості аналогічна змінам вертикальних сил, а їх максимальна величина не перевищувала 6 мм на колії з штучно зробленою нерівністю в плані III ступеня. Найбільші прогини спостерігалися при швидкості 140 км/год і зі зростанням швидкості не збільшувались.

3. Максимальні експериментальні та ймовірні горизонтальні віджимання головки рейок під впливом рухомого зі зростанням швидкості від 140 до 160 км/год збільшуються несуттєво (на 1,5 - 2,0 мм).

4. Максимальні експериментальні та ймовірні сили бокової дії коліс рухомого складу на рейки зі зростанням швидкості від 140 до 160 км/год практично не збільшуються і під дією локомотивів знаходяться в межах 62,35 кН, а вагонів – 43,21 кН. Ці значення не перевищують допустимі 120 (150) кН.

5. Напруження, виникаючі в кромках підшви рейок під локомотивом не перевищували 182 МПа під локомотивом і 112 МПа під вагоном, що значно менше допустимого значення - 240 МПа.

6. Горизонтальні динамічні прискорення кузова вагона не перевищили 1.9 м/с^2 .

7. Результати експерименту (напружено-деформований стан колії та прискорення кузова пасажирського вагона) стали підставою для встановлення адекватності розробленої математичної моделі взаємодії колії та пасажирського вагона на візках КВЗ-ЦНИИ, що в цілому дозволило дати рекомендації [8] по нормативам утримання колії при швидкостях руху до 160 км/год.

Список літератури

1. Стратегія розвитку залізничного транспорту на період до 2020 року. Рішення КМУ від 16.12.2009 р. №1555-р.

2. Технічні вказівки щодо оцінки стану рейкової колії за показниками колісвимірних вагонів та забезпечення безпеки руху поїздів при відступах від норм утримання рейкової колії (ЦП/0020) // Біла Церква: ТОВ «Імпрес» -2005. -48 с.

3. Тимчасова інструкція з організації швидкісного руху пасажирських поїздів. Вимоги до інфраструктури та рухомого складу (ВНД 32.1.07.000-02), К.:Укрзалізниця, - 2002. – 51 с.

4. Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України (ЦП-0138) / Даніленко Е.І., Яковлев В.О., Орловський А.М., Карпов М.І. та інші. -К.: Транспорт України, 2006. -336 с.

5. Технічні вказівки з проведення натурних випробувань рухомого складу щодо впливу на колію та стрілочні переводи / В.Є. Савлук, В.В. Рибкін, О.М. Патласов - Київ -2010. - 17 с.

6. Нормы расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм

(несамоходных) / ГосНИИВ - ВНИИЖТ - Москва - 1996. - 203 с.

7. Ершков О.П. Исследование жесткости железнодорожного пути и ее влияние на работу рельсов в кривых участках // Труды ВНИИЖТа. - 1963.- Вып № 264. –С. 152.

8. Проведення досліджень з улаштування, укладання, ремонту і утримання безстикової колії в умовах швидкісного руху поїздів з наданням норм утримання та ремонту: Звіт о НДР / Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту. – № ГР 0110U006300 Инв. № 465. – Дніпропетровськ, 2010. – 64 с.