

УДК 625.161.6.031

М. Б. КУРГАН - д.т.н., проф., зав. каф. «Проектування і будівництво доріг»,
Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка
В. Лазаряна, kunibor@mail.ru, ORCID 0000-0002-8182-7709

Д. М. КУРГАН – к.т.н, доц., каф. «Колія та колійне господарство», Дніпропетровський
національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна
kurgan@brailsys.com, ORCID 0000-0002-9448-5269

О. Ф. ЛУЖИЦЬКИЙ – аспірант каф. «Проектування і будівництво доріг»,
Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка
В. Лазаряна oleg-luzhickii@ukr.net, ORCID 0000-0001-6519-7447

ВПЛИВ НЕРІВНОСТЕЙ КОЛІЇ В МЕЖАХ ЗАЛІЗНИЧНИХ ПЕРЕЇЗДІВ НА БЕЗПЕКУ РУХУ ПОЇЗДІВ

Вступ

Перетин автомобільних доріг із залізницею в одному рівні – залізничний переїзд є зоною підвищеної небезпеки для залізничного та автомобільного транспорту. Майже половина всіх переїздів розташовані на маршрутах основних пасажирських перевезень. Звідси виникає проблема утримання й обслуговування місць перетину залізниці і автодороги.

Відомо, що при реконструкції залізниці для впровадження швидкісного руху поїздів виконуються роботи з виправки колії в профілі і в плані. Якщо на ділянках між переїздами корегування плану виконується у межах основної площадки земляного полотна, то в зоні переїзду такі зсуви виконати складно, а тому часто перед і за переїздом настилом утворюються нерівності в плані, що призводить до зниження комфортабельності їзди. Такі нерівності виявляються під час аналізу колієвимірювальних стрічок після проходу колієвимірювального вагону. Проведений статистичний аналіз показав стійку тенденцію накопичення нерівностей колії в зоні розташування переїзду [1].

Метою даної роботи є дослідження впливу нерівностей колії в зоні переїзду на безпеку руху поїздів.

Огляд наукових досліджень

Протягом багатьох років фахівці з різних галузей науки і техніки проводили дос-

лідження, що стосуються безпеки руху поїздів і автотранспорту в зоні залізничних переїздів. Результати досліджень проблеми пересічення залізничних колій і переїздів з різним ступенем деталізації викладені в працях вітчизняних і закордонних вчених: В. Н. Образцов, Ф. І. Шаульський, С. В. Зембінов, К. Ю. Скалов, А. М. Корнаков, К. К. Таль, Б. Б. Штанге, А. А. Поляков, В. П. Ходатаєв, В. А. Бураков, Н. С. Усков, В. Н. Правдин, Г. Поттгоф, Х. Крампе, К. Лейбрандт та ін.

При всій важливості виконаних досліджень проблема безпеки руху на переїздах не втратила актуальності. При вельми детальному опрацюванні низки технічних питань (розміщення переїздів, їх обладнання, забезпечення безпеки руху на переїздах засобами сигналізації та ін.) багато аспектів проблеми залишаються недостатньо вивченими. Зупинимося на деяких дослідженнях, проведених в останні роки. Так, наприклад, Ганічев А. І. досліджував питання, що стосуються забезпечення безпеки руху на нерегульованих залізничних переїздах в системі «машиніст-локомотив-навколишнє середовище» [2]. Ґрунтуючись на теорії випадкових процесів, була створена модель, за допомогою якої досліджено систему забезпечення безпеки руху на залізничних переїздах і розроблена методика оцінки ефективності інвестицій в реконструкцію залізничних переїздів. Недоліком можна вважати те, що дослідження проведені стосовно до

нерегульованих переїздів, питома вага яких на основних напрямках міжнародних транспортних коридорів невелика.

Науковий інтерес представляє визначення затримок транспортних засобів, вантажів і пасажирів на переїздах, які є бар'єрними місцями на напрямках міжнародних транспортних коридорів [3...5]. Так, в роботі [6] наведено науково-методичні рекомендації щодо визначення економічного збитку, що завдається затримкою автотранспорту на переїздах. Їх урахування, вважає Гаттаулін С. Т., дозволить більш обґрунтовано приймати рішення про закриття переїздів, їх збереження або заміни перетинами залізничних ліній і автодоріг в різних рівнях.

У роботі Мохонько В. П. [7] запропоновано нові алгоритми функціонування залізничних переїздів, що дозволяють істотно підвищити безпеку руху і покращити екологічну обстановку на переїздах. Встановлено, що при існуючих алгоритмах функціонування переїздів простий автотранспорту біля переїздів становить близько 10 хв. на однокільйонних ділянках і 15-18 хв. на двокільйонних ділянках. Показано, що одним з ефективних шляхів підвищення пропускної спроможності переїздів є управління системою АПС, яка використовує безперервну інформацію про швидкість і координати поїзда з метою забезпечення інваріантності часу сповіщення для зміни швидкості поїзда.

Слід відзначити актуальність роботи Тардіна Н. А. [8], яка присвячена розробці теоретичних методів оцінки показників безпеки функціонування систем і устроїв залізничної автоматики і телемеханіки (ЗАТ) з урахуванням умов експлуатації.

Але, як впливає з короткого огляду робіт, питання щодо впливу на плавність і безпеку руху поїздів стану залізничної колії, наявності відступів у профілі й плані, що реально мають місце на залізницях, особливо при впровадженні швидкісного руху, недостатньо вивчені.

Методика

При проведенні модернізації колії повинні виконуватись роботи з постановки вісі колії в проектне положення в профілі, й плані з відновленням проектних радіусів, ремонт або перевлаштування переїздів [9]. Але за відсутності достатнього фінансування та інших об'єктивних причин вище зазначені роботи не виконуються в повному обсязі, що впливає на плавність й безпеку руху поїздів. Аналіз проектів капітальних ремонтів і модернізації колії, а також натурні обслідування показали, що на підходах в зоні розташування переїздів виникають нерівності в плані, так звані «злами», які в деяких проектах не показують із-за відсутності відповідної нормативної бази.

Аналіз колієвимірвальних стрічок у межах переїздів і виконані авторами розрахунки [1] показали, що наявність відступів у плані й профілі в межах залізничного переїзду та на підходах до нього погіршують плавність залізничної колії і, як наслідок, знижують плавність і комфортабельність їзди.

Конструкції й стан колії в межах переїзду впливають на умови взаємодії колії і рухомого складу, плавність і безпеку руху. Такі задачі, як правило, вирішується засобами сучасного математичного моделювання. Наприклад, відповідна модель взаємодії саме для умов наявності переїзду описана в роботах [10, 11]. Для виконання таких розрахунків необхідні відповідні вихідні дані, що адекватно описують геометрію колії.

На сьогодні існують різні можливості для зйомки натурної геометрії залізничної колії. Для проведення досліджень за значною кількістю ділянок і за тривалий термін експлуатації найбільш зручним, перш за все враховуючи регулярність заїздів, залишається стрічка колієвимірвального вагону [12].

На колієвимірвальних стрічках, що були прийняті до аналізу, відокремлювались

ділянки довжиною 30 м в зоні переїзду та на відстані 100 м до і після нього. Обчислення виконувались для нерівностей в горизонтальній (в плані) і у вертикальній площинах. Приклад такої обробки наведено на рис. 1 і 2.

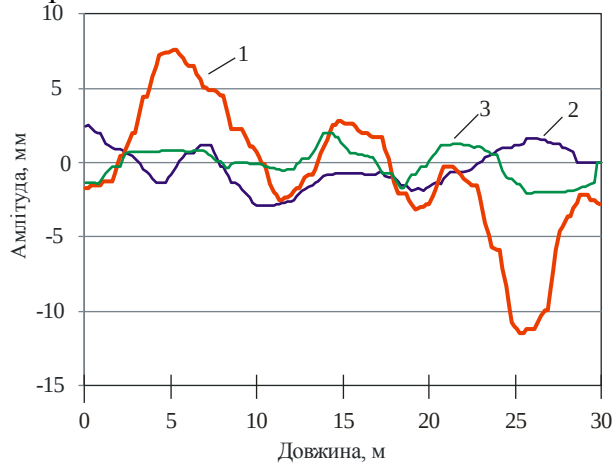


Рис. 1. Приклад запису нерівності в вертикальній площині:

1) в зоні переїзду; 2), 3) на відстані 100 м до і після переїзду відповідно

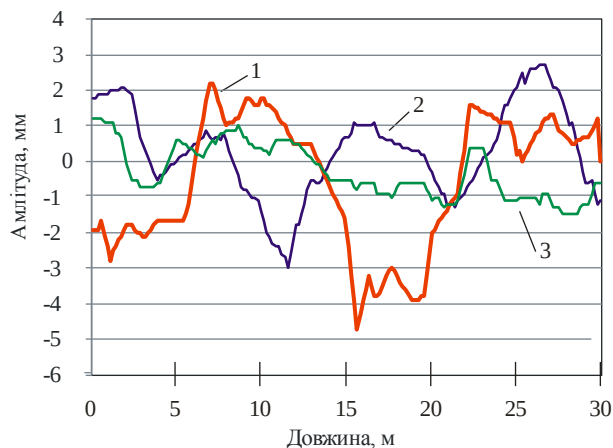


Рис. 2. Приклад запису нерівності в плані:

1) в зоні переїзду; 2), 3) на відстані 100 м до і після переїзду відповідно

Однак слід зазначити, що цей засіб спрямовано для оцінки стану залізничної колії [12], а не для визначення точного геометричного положення. Так, при спробі визначати за колієвиміральною стрічкою дійсні обриси нерівностей колії виникає низька складностей [13]. Вихід з такого становища запропоновано в роботі [1].

Проведений статистичний аналіз показав стійку тенденцію зростання нерівностей колії в зоні розташування переїзду. Як правило показник, що характеризує відхилення в вертикальній площині, зростає в 1,3...3,2 рази та в 1,2...2,0 рази – в горизонтальній площині у порівнянні з ділянками за межами переїзду. Дослідження показали, що для зони переїзду поява і розвиток відхилень в колії в основному є наслідком двох факторів: особливості виконання виправочно-підбивочних робіт і зміни у конструкції колії.

Для вирішення задач взаємодії екіпажа і колії при русі по колії з різними відступами в її утриманні було застосовано математичне моделювання. На даний час накопичений великий досвід математичного моделювання коливання динамічної системи «екіпаж-колія», а тому в даній роботі не ставилася задача розробки нової моделі. В інституті технічної механіки НАН України під керівництвом члена-кореспондента НАН України, проф. В. Ф. Ушкалова [14], в Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту під керівництвом проф. В. Д. Дановича розроблене й широко використовується програмне забезпечення для моделювання руху вантажних вагонів, пасажирських вагонів та ін. екіпажів [15].

Колія представлена інерційною пружньо-дисипативною системою з натурними нерівностями. Переміщення кожного з тіл у можливих лінійних і кутових напрямках описується диференціальними рівняннями Лагранжа другого роду з урахуванням зв'язків, накладених на ці тіла [16...18]:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} - \frac{\partial T}{\partial q_i} + \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{q}_i} + \frac{\partial \Pi}{\partial q_i} = Q_i, \quad (1)$$

де t – час;

T , Π , Φ – відповідно кінетична, потенціальна енергії і функція розсіювання;

q_i , $\dot{q}_i$ – компоненти вектора узагальнених координат і їхні похідні за часом;

Q_i – відповідні їм узагальнені сили, що не мають потенціалу;

$i = 1, 2, \dots, n$, де n – число ступенів вільності системи.

Рух екіпажа по криволінійній ділянці колії розглядається як складний, що складається з відносного і переносного.

У результаті розв’язуються диференціальні рівняння виду

$$\ddot{q}_i = f(\dot{q}_1, \dot{q}_2, \dots, \dot{q}_n, q_1, q_2, \dots, q_n, f'), \quad (2)$$

де f' – функція, що описує параметри ділянки колії (вісь колії в плані, підвищення однієї рейки щодо іншої).

Розв’язування рівнянь (2) здійснювалось методом чисельного інтегрування в часовій області. Результатом є лінійні й кутові переміщення тіл системи, за якими розраховувались їхні прискорення, сили взаємодії, динамічні коефіцієнти.

Рівняння складені за умови, коли колеса екіпажа мають одноконтатну взаємодію з рейками. В монографії М. О. Радченка [19] показано, що двоконтатний характер взаємодії коліс з рейками впливає на стійкість стаціонарного руху екіпажа з подвійним ресорним підвішуванням при русі із швидкістю 160 км/год і більше в положистих кривих радіусом більше 2000 м. Прийнята модель обумовлюється задачами, що розглядаються за її допомогою і точністю отриманих результатів.

Вихідними даними для моделювання руху є геометричні й динамічні параметри вагона і колії. Зокрема, задається положення осі колії в горизонтальній і вертикальній площинах і швидкість руху. Прийнято, що переміщення колісної пари у вертикальній площині відбувається без відриву від рейок.

Використовуючи методи статистичної обробки, отримувались узагальнені характеристики – середнє значення, середньоквадратичне відхилення, спектр коливань за частотою чи амплітудою та ін.

Для визначення спектру динамічних показників було виконано моделювання руху пасажирського і вантажного вагонів на прямих ділянках колії на підходах і в зоні залізничних переїздів.

Для знаходження бічної сили, що діє на рейки з боку коліс і рамних сил, що діють на колісні пари, обчислювалась направляюча сила, що являє собою реакцію рейки на загальний опір повороту візка (екіпажа). При відомих направляючих силах HN , бічні HB і рамні сили HR визначались за формулами:

$$HB_{(i,j,k)} = HN_{(i,j,k)} - Y_{(i,j,k)}, \quad (3)$$

$$HR_{(i,j)} = HN_{(i,j,k)} - \sum_{k=1}^2 Y_{(i,j,k)}, \quad (4)$$

де i – номер візка,

j – номер колісної пари у візку,

k – сторона (1 – ліва, 2 – права, якщо дивитися на вагон з задку);

$Y_{(i,j,k)}$ – поперечні сили тертя між рейкою і лівим чи правим колесом відповідної колісної пари і візка.

Як приклад, вираз для визначення бічної сили, що діє з боку колії на ліве колесо першої колісної пари першого візка буде мати вигляд

$$HB_{(1,1,1)} = HN_{(1,1,1)} - Y_{(1,1,2)}.$$

Значення рамної сили, що діє на першу колісну пару першого візка, визначається з виразу

$$HR_{(1,1)} = HN_{(1,1,1)} - Y_{(1,1,1)} - Y_{(1,1,2)}.$$

Авторами було проаналізовано спектр різних динамічних показників, отриманих при моделюванні просторових коливань вантажного вагона:

$KVD_{(i,j,k)}$ – коефіцієнт вертикальної динаміки колії по силам взаємодії коліс з рейками (відношення динамічної добавки вертикальної сили до статичного тиску колеса на рейку);

$KGD_{(i,j,k)}$ – коефіцієнт горизонтальної динаміки колії по горизонтальним силам взаємодії коліс з рейками;

$KSD_{(i)}$ – коефіцієнт від зсуву рейкошпальної решітки під колесами першої колісної пари переднього візка;

$KVK_{(i,j)}$ – коефіцієнт стійкості від сповзання колеса на рейку.

Для кожного з динамічних показників визначались:

- мінімальні значення $F_{\min}$ і абсциса колії, при якій досягнуте $X_{\min}$;
- максимальне значення $F_{\max}$ і відповідна абсциса колії $X_{\max}$;
- середнє значення показника на даній ділянці M ;
- дисперсія D ;
- середньоквадратичне відхилення S ;
- максимальне-ймовірне значення, що дорівнює $|M| + 2,5 * S$.

Коефіцієнт горизонтальної динаміки, бокові сили та інші показники були використані для оцінки процесу взаємодії рухомого складу і колії при наявності нерівностей в зоні залізничних переїздів.

Аналіз роботи колії за результатами моделювання руху вантажного вагона

При підвищенні швидкостей руху поїздів збільшується динамічний вплив на колію рухомого складу, в зв'язку з чим має місце зростання вертикальних і горизонтальних сил і, як наслідок, зміна показників, що характеризують безпеку руху поїздів. Вертикальні й горизонтальні нерівності для ділянок поза переїздами прийняті за результатами проходження колісвимірною вагону. Для прикладу на рис. 3 наведені вертикальні нерівності по рейковій нитці. В зоні переїздів враховувались додаткові нерівності подібно тим, що відображені на рис. 1, 2.

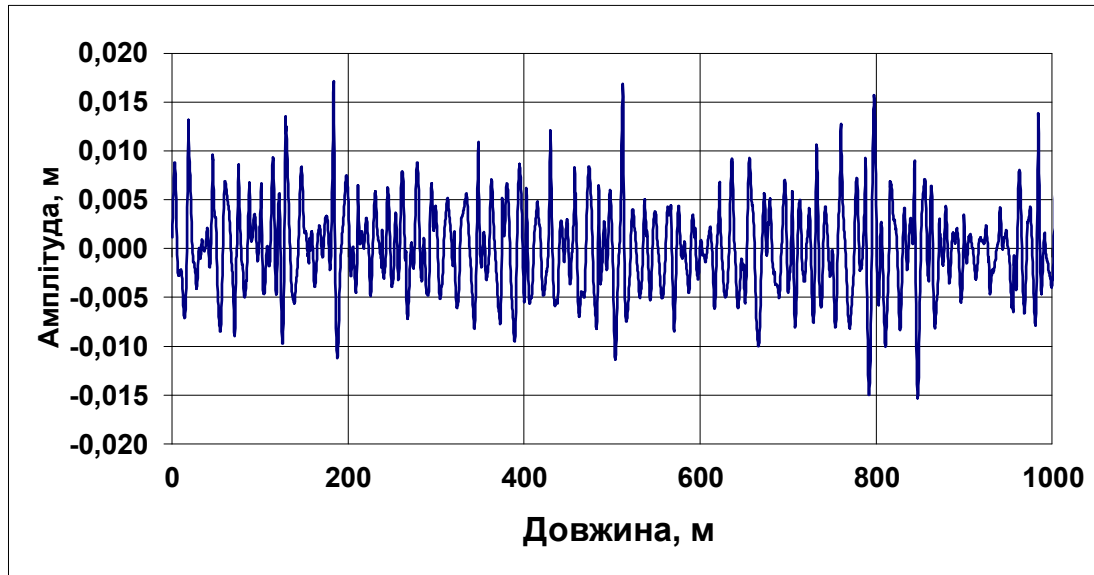


Рис. 3. Вертикальні нерівності по рейковій нитці

Моделювання руху екіпажу виконувалось для максимальних швидкостей 80, 100 і 120 км/год на колії, та нерівностями колії з відступами I ступеню, II ступеню (збіль-

шені в 1,2 рази) і III ступеню (збільшені в 1,4 рази). Вибіркові результати моделювання наведені для нерівностей I ступеню і швидкості руху 80 км/год (табл. 1).

Таблиця 1

Динамічні показники (швидкість 80 км/год, нерівності I ступеню)

Параметр	Fmin, кН	Xmin, м	Fmax, кН	Xmax, м	M +2.5S, кН
KVD(1,1,1)	-0.223	94.25	0.275	91.95	0.264
KVD(1,1,2)	-0.193	96.37	0.321	91.60	0.233
KVD(1,2,1)	-0.200	75.94	0.198	93.07	0.256
KVD(1,2,2)	-0.167	80.07	0.289	93.44	0.219
KGD(1,1,1)	-0.160	93.93	0.071	73.56	0.144
KGD(1,1,2)	-0.075	78.98	0.290	94.37	0.201
KGD(1,2,1)	-0.066	80.24	0.044	92.82	0.060
KGD(1,2,2)	-0.058	80.25	0.076	96.66	0.058
HR(1,1)	-23.950	91.51	26.720	93.91	30.650
HR(1,2)	-20.640	93.32	24.410	92.77	16.100
HR(2,1)	-25.520	71.74	29.870	99.54	19.110
HR(2,2)	-21.080	73.57	26.000	74.81	21.320
HB(1,1,1)	-21.700	91.54	47.700	93.90	28.630
HB(1,1,2)	-20.560	91.56	40.500	93.92	26.680
HB(1,2,1)	-19.310	93.36	19.230	92.85	11.740
HB(1,2,2)	-19.390	93.40	20.470	92.84	11.630
HN(1,1,1)	-29.850	99.99	61.290	93.90	35.640
HN(1,2,1)	-20.540	93.42	23.310	95.74	12.870
KSD(1)	0.000	82.17	0.242	99.99	0.094
KSD(2)	0.000	77.19	0.661	94.38	0.426

При підвищенні швидкості руху має місце різке зростання поперечних сил в сполученні з короточасним зменшенням вертикального навантаження. Щоб дослідити як впливає рівень нерівностей колії на безпеку руху розглядалися наступні показники:

1) умова забезпечення стійкості рейко-шпальної решітки проти зсуву по баласту $KZSU$. Аналіз великої кількості дослідних матеріалів показує, що ймовірність одночасного сполучення максимальних значень горизонтальних навантажень на колію з мінімальною величиною вертикальних сил, що сприймається шпалою, близька до нуля. Тому розрахунковий опір шпали зсуву прийнято визначати по середнім значенням вертикального навантаження від коліс на рейки. Коефіцієнт стійкості рейко-шпальної решітки в колії з щебеневим баластом повинен бути

$$KZSU = \frac{HB_{\max}}{P_{\text{дв}}} \leq 1,4, \quad (5)$$

де $HB_{\max}$ – максимальна горизонтальна сила, що сприймається шпалою від направляючого колеса екіпажу;

$P_{\text{дв}}$ – середнє значення динамічного вертикального навантаження рейки на шпалу.

Як показали розрахунки, значення коефіцієнта $KZSU$ знаходиться в діапазоні 0,7...1.2, тобто умова (5) виконується;

2) коефіцієнт горизонтальної динаміки колії KGD . Цей показник є критерієм безпеки від зсуву рейко-шпальної решітки. Коефіцієнт горизонтальної динаміки визначається як відношення максимальної рамної сили $HR_{\max}$ до статичного навантаження $P_{\text{ст}}$ колісних пар на рейки

$$KGD = \frac{HR_{\max}}{P_{\text{ст}}} \leq 0,4. \quad (6)$$

Розрахунки показали, що при максимальній швидкості 120 км/год коефіцієнт горизонтальної динаміки менший 0,40, тобто умова (6) безпеки від поперечного зсуву рейко-шпальної решітки забезпечується;

3) перевірка стійкості коліс проти вкочення на головку рейки KVK . Стійкість колеса проти вкочення його гребня на рейку залежить від відношення бокової сили HB , що передається від колеса на рейку, до вертикальної сили P_v взаємодії колеса й рейки

$$KVK = \frac{HB_{\max}}{P_v} > [1, 4]. \quad (7)$$

Перевірка щодо забезпечення безпеки від сходу коліс з рейок показала, що коефіцієнт запасу стійкості колеса проти вкочення на головку рейки KVK зменшується з ростом швидкості і ступені нерівностей утримання колії (табл. 2).

Таблиця 2

Коефіцієнт запасу стійкості колеса проти вкочення на головку рейки

Vmax, км/год	$KVK_{(1,1)}$			$KVK_{(1,2)}$			$KVK_{(2,1)}$			$KVK_{(2,2)}$		
	k=1	k=1,2	k=1,4	k=1	k=1,2	k=1,4	k=1	k=1,2	k=1,4	k=1	k=1,2	k=1,4
80	5.21	4.52	3.98	19.73	12.14	11.58	4.75	3.30	3.49	6.24	6.20	4.94
100	4.78	3.59	2.61	12.64	12.47	7.76	25.00	2.90	2.44	4.24	2.46	2.23
120	4.02	2.73	2.44	6.27	5.68	3.31	11.53	2.47	2.27	2.58	1.67	1.49

Примітка: перша цифра в дужках відповідає номеру візка, друга – номеру колісної пари

Коефіцієнт запасу стійкості колеса проти вкочення на головку рейки знаходиться в діапазоні 1,5...4,0, а в окремих випадках і

більше, (рис. 4–6), що задовольняє допустимому значенню 1,4 при ймовірності 0,01, тобто умова (7) виконується.

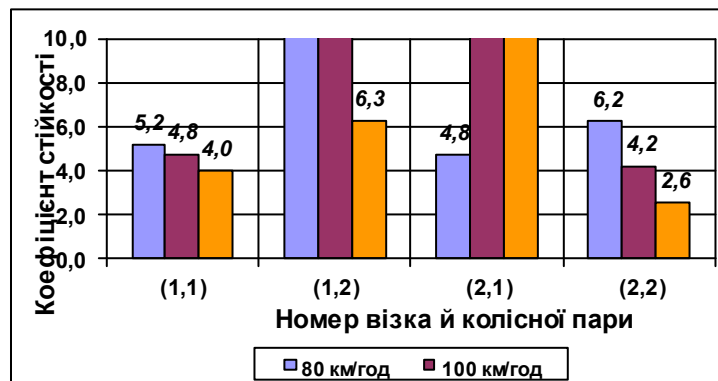


Рис. 4. Зміна коефіцієнту запасу стійкості колеса проти вкочення на головку рейки (нерівності I ступеню)

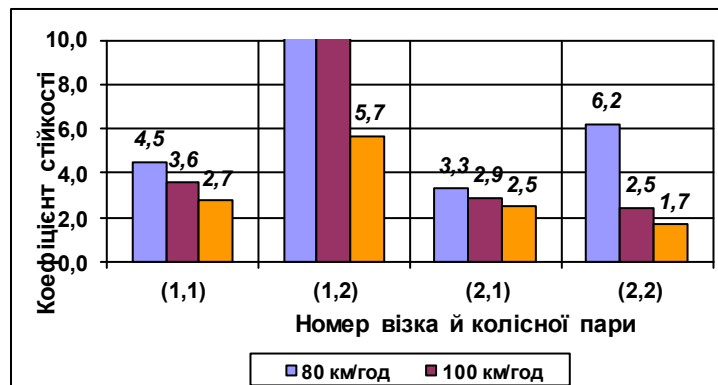


Рис. 5. Зміна коефіцієнту запасу стійкості колеса проти вкочення на головку рейки (нерівності II ступеню)

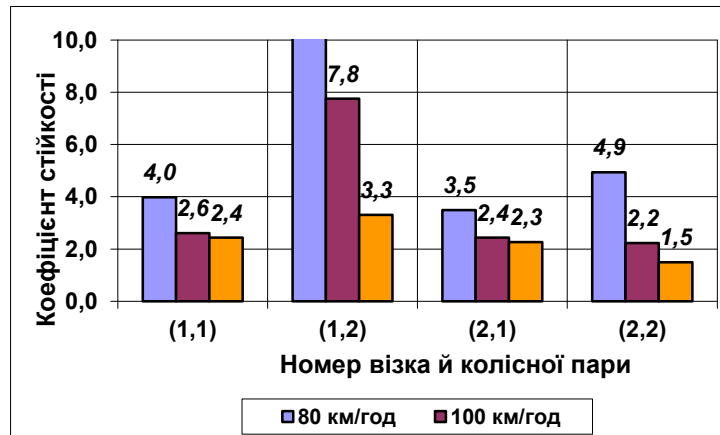


Рис. 6. Зміна коефіцієнту запасу стійкості колеса проти вкочення на головку рейки (нерівності III ступеню)

Аналіз гістограм (рис. 4–6) показує, що при швидкості руху 120 км/год коефіцієнт запасу стійкості колеса проти вкочення на головку рейки змінюється від 2,6 до 1,5 і при подальшому зростанні нерівностей колії з урахуванням нерівнопружності під рейкової основи [20] може стати меншим допустимого $KVK=1,4$, що викличе загрозу безпеки руху поїздів.

Висновки

Майже половина всіх залізничних переїздів розташовані на маршрутах основних пасажирських перевезень. У зонах переїзду виникають вертикальні і горизонтальні нерівності колії. Вони впливають на плавність руху, знижують рівень комфортабельності їзди, а в окремих випадках можуть створювати небезпеку для руху поїздів.

Проведений статистичний аналіз показав стійку тенденцію зростання нерівностей колії в зоні розташування переїзду. Як правило показник, що характеризує рівень нерівностей в вертикальній площині зростає в 1,3...3,2 рази та в 1,2...2,0 рази в горизонтальній площині у порівнянні з ділянками за межами переїзду.

Дослідження показали, що поява і розвиток нерівностей в колії у зоні переїзду в основному є наслідком двох факторів: особливості технології виконання виправочно-підбивочних робіт і зміни у конструкції колії.

З наведених результатів випливає, що локальні зміни жорсткості колії, які мають місце на залізничних переїздах, мають вплив на умови взаємодії колії і рухомого складу, плавність руху і комфортабельність їзди і при зростанні швидкості руху з одночасним зростанням нерівностей колії в профілі й плані на підходах і в зоні переїздів можуть викликати загрозу безпеки руху поїздів.

Бібліографічний список

1. Курган, М. Б. Дослідження нерівностей колії в межах залізничних переїздів [Текст] / М.Б. Курган, Д.М. Курган, О.Ф. Лужицький // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. – 2015. – № 5 (59).
2. Ганичев, А. И. Обеспечение безопасности движения на нерегулируемых железнодорожных переездах в системе «машинист-локомотив-окружающая среда»: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.22.07, 05.22.01 / А. И. Ганичев; Самара – 2001. – 10 с.
3. Fischer, S. Traction Energy Consumption of Electric Locomotives and Electric Multiple Units at Speed Restrictions [Text] // Acta Technica Jaurinensis. – 2015. – Т. 8. – №. 3. – С. 240-256.
4. Курган, М. Б. Шляхи зниження аварійності на залізничних переїздах [Текст] /

- М. Б. Курган, О. Ф. Лужицький, М. О. Гаврилов // Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті. – 2014. – № 7. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2014.
5. Курган, М. Б. Умови підвищення надійності і безпеки руху поїздів по залізничній колії [Текст] / М. Б. Курган, С. Ю. Байдак О. Ф. Лужицький // Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті. – 2014. – № 7. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2014.
 6. Гаттаулин, С. Т. Экономическая оценка и пути снижения потерь на железнодорожных переездах: автореф. дис.... канд. экон. наук: 08.00.05, 08.00.13 / Гаттаулин Сергей Тимурович; Москва – М., 2009. -19 с.
 7. Мохонько, В. П. Микропроцессорная система обеспечения безопасности функционирования железнодорожных переездов: автореф. дис.... канд. техн. наук: 27.00.02 / Мохонько Владимир Петрович; Самара – 2000. – 42 с.
 8. Тарадин, Н. А. Методы оценки безопасности функционирования систем железнодорожной автоматики и телемеханики: автореф. дис.... канд. техн. наук: 05.22.08 / Тарадин Николай Александрович; Москва – М., 2010.-14 с.
 9. Положення про проведення планово-запобіжних ремонтно-колійних робіт на залізницях України. ЦП-0287 [Текст] / А. Бабенко, Г. Линник, К. Мойсеєнко, О. Патласов, В. Яковлев. – Київ: 2015. – 45 с.
 10. Quantifying Rail-Highway Grade Crossing Roughness: Accelerations and Dynamic Modeling [Text] / T. Wang, R. R. Souleyrette, D. Lau, A. Aboubakr, E. Randerson // Transportation Research Board 94nd Annual Meeting. No. TRB15-4825. Washington DC, USA. – 2015.
 11. Rose, J. G. Rehabilitation Assessment and Management Practices to Ensure Long-Life, High-Performance Highway-Railway At Grade Crossings [Text] / J. G. Rose, B. R. Malloy, R. R. Souleyrette // Proceedings of the Joint Rail Conference JRC. – 2014. – Т. 3761.
 12. Технічні вказівки щодо оцінки стану рейкової колії за показниками колієвимірювальних вагонів та забезпечення безпеки руху поїздів при відступах від норм утримання рейкової колії. ЦП-0267 [Текст] / О. М. Патласов, В. В. Рибкін, Ю. В. Палейчук, С. О. Соломаха, П. В. Панченко. – Київ: 2012. – 25 с.
 13. Коссов, В. С. Результаты эксплуатационных испытаний геометрически-силового метода оценки состояния пути [Текст] / В. С. Коссов, А. Л. Бидуля, О. Г. Краснов, М. Г. Акашев // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2013. – №. 5. – С. 97-104.
 14. Ушкалов, В. Ф. Расчетные возмущения для оценки динамических качеств грузовых вагонов [Текст] / В. Ушкалов, Л. Лапина, И. Машченко // Наука и прогресс транспорта. Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта. – 2013. – N 4 (46). – С. 135-144.
 15. Данович, В. Д. Математическая модель взаимодействия пути и пассажирского вагона при движении по участкам произвольной кривизны [Текст] / В. Д. Данович, А. Г. Рейдемейстер, Н. В. Халипова // Транспорт: Сб. научн. тр. ДИИТа. Вып. 8 – Днепропетровск. 2001. с. 124–138.
 16. Лазарян, В. А. Динамика транспортных средств: Избр. тр. [Текст] / В. А. Лазарян – К.: Наук. думка, 1985. – 528 с.
 17. Динамика вагона [Текст] / Под ред. С. В. Вершинского. –М.: Транспорт, 1978. – 352 с.
 18. Курган, М. Б. Застосування математичної моделі просторових коливань пасажирського вагона для вирішення задач реконструкції плану залізничної колії

- [Текст] / М. Б. Курган // Проектування, виробництво та експлуатація автотранспортних засобів і поїздів: Щорічний науково-виробничий журнал. – Львів: Логос, 2004. – №11. – С. 128-135.
19. Радченко, Н. А. Криволинейное движение рельсовых транспортных средств [Текст] / Н. А. Радченко. – К.: Наук. думка, 1988. – 216 с.
20. Курган, Д. М. До вирішення задач розрахунку колії на міцність із урахуванням нерівнопружності підрейкової основи [Текст] / Д. М. Курган // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. – 2015. – № 1(55). – С. 90-99.
- Ключові слова:** безпека руху, нерівності колії, деформації колії, залізничний переїзд, пересічення в різних рівнях.
- Ключевые слова:** безопасность движения, неровности пути, деформации пути, железнодорожный переезд, пересечения в разных уровнях.
- Keywords:** safety traffic, inequalities of track, deformation of track, level crossing, crossing at different levels.
- Рецензенти:**
д.ф.-м.н. В. І. Гаврилюк,
д.т.н., проф. П. П. Петренко.

Надійшла до редколегії 15.04.2015.

Прийнята до друку 28.04.2015.