

УДК 629.4.015

*О. Ю. Дорошенко  
В. О. Демченко  
В. Г. Вербицький*

### **ВПЛИВ ПОВЕРХНІ КОЧЕННЯ НА КОЛИВАННЯ ТА СТІЙКІСТЬ ДИНАМІЧНОЇ СИСТЕМИ «РЕЙКА–КОЛЕСО»**

*У роботі досліджено, як стан поверхні кочення колісної пари локомотива впливає на стійкість руху колісної пари та значення бокових сил взаємодії рейки та колеса. Розрахунки виконувалися в різних програмах, результати в цілому мають однакові значення, прораховувались варіанти з різними ступенями зношування поверхні колісної пари.*

*В работе исследовано, как состояние поверхности катания колесной пары локомотива влияет на устойчивость движения колесной пары и значение боковых сил взаимодействия рельсы и колеса. Расчеты выполнялись в различных программах, результаты в целом имеют одинаковые значения, просчитывались варианты с различными степенями износа поверхности колесной пары.*

*In this work, as a condition of the surface of the wheel set rolling locomotive affects the stability of motion of the wheel set and the importance of lateral interaction forces rails and wheels. Calculations were performed in different programs, the results generally have the same meaning options with different degrees of surface deterioration wheel set.*

**Ключові слова:** поверхня кочення, взаємодія, система «рейка-колесо».

Одним із перших учених, хто системно підійшов до дослідження проблеми зношування гребенів колісних пар був С.М. Андрієвський, який одним із параметрів впливу на бокове зношування в системі «рейка-колесо» назвав досконале утримання колії [1]. В той час на залізницях відбувся перехід із ширини 1524 мм на 1520 мм і різко збільшився темп зношування, почали висловлювати думку, що це пов'язано із зменшенням ширини колії. Але професор М.А. Фрішман наголошував, що в кривих ділянках радіусом 500 м і менше ширина колії майже не змінилась, а підріз гребенів та боковий знос рейок від цього не став меншим [2].

Під час експлуатації локомотивів з профілем поверхні кочення ЗАТ «Мінетек» його параметри змінюються залежно від різних умов експлуатації. Основними умовами, які впливають на силову взаємодію рейки та колісної пари є швидкість руху локомотива, радіус кривої ділянки колії, підвищення зовнішньої рейкової нитки, значення ширини колії, наявність нерівностей на поверхні рейки.

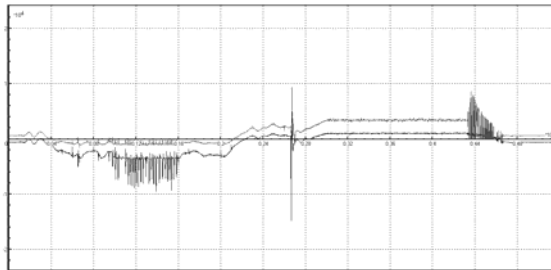
© Дорошенко О. Ю., Демченко В. О., Вербицький В. Г., 2013

---

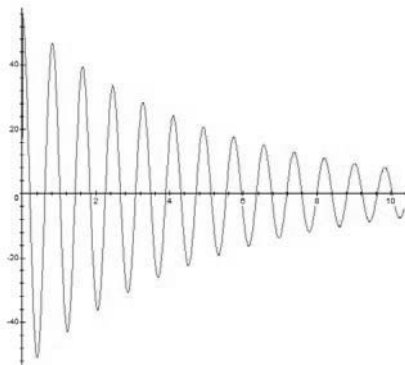
---

Виходячи із отриманих розрахунків у програмному комплексі «універсальний механізм» можна зробити висновок, що значення бокових сил тиску гребеня колісної пари на зовнішню рейку для вищенаведених серій локомотивів змінюється не лише від значення радіусу, а значною мірою від швидкості руху локомотива, та конструкції самих візків. Слід зазначити, що значення бокових сил залежать також від стану самої поверхні кочення, точніше, від підрізу гребеня колісної пари.

Після проведення розрахунків у програмному комплексі «універсальний механізм» та математичному моделюванні в Maple були отримані результати значень бокових сил. Графік для одного типу рухомого складу (ЧС-4) швидкість 15 м/с (рис. 1). Для різного рухомого складу та різних профілів розрахунки виконувались для кривих, розташованих послідовно, та радіусами від 300 м до 1200 м; швидкість руху локомотивів становить від 15 м/с до 60 м/с, профіль колісних пар незношений, новий. Розрахунки виконувались, в порівнянні, двома програмами, вихідні дані для двох програм однакові. Звісно, що програма Maple в повній мірі не задовольняє розрахунків, але порівняно з версією універсального механізму отримані результати мають значення, яке відрізняється на незначну величину (рис. 2).



*Рис. 1. Значення бокової сили (15 м/с), нові профілі, радіус 300 м S-подібна крива*



*Рис. 2. Значення бокової сили, отримані в програмі Maple*

В експлуатації поверхня кочення бандажної колісної пари локомотива через незначний пробіг змінює свої геометричні розміри, в розділі 2 докладно розглядалось це питання. Тому розрахунки виконувались із параметрами колісних пар локомотивів, які перебувають в експлуатації на Одеській (ТЧ – 5 ім. Т. Шевченка) та Південно-Західній (ТЧ – 1 Київ-пасажирський) залізницях, приписного парку локомоти-

## ТЕХНІКА І ТЕХНОЛОГІЇ

вів. Числові значення характеристик рухомого складу наведені в табл. 1. В таблиці також наведені дані і для вагонів, розрахунки стійкості руху колісних пар вагонів, значення критичної швидкості визначена в даній роботі в попередніх розділах. Значення розмірів колісної та рейкової ширини наведене в табл. 2.

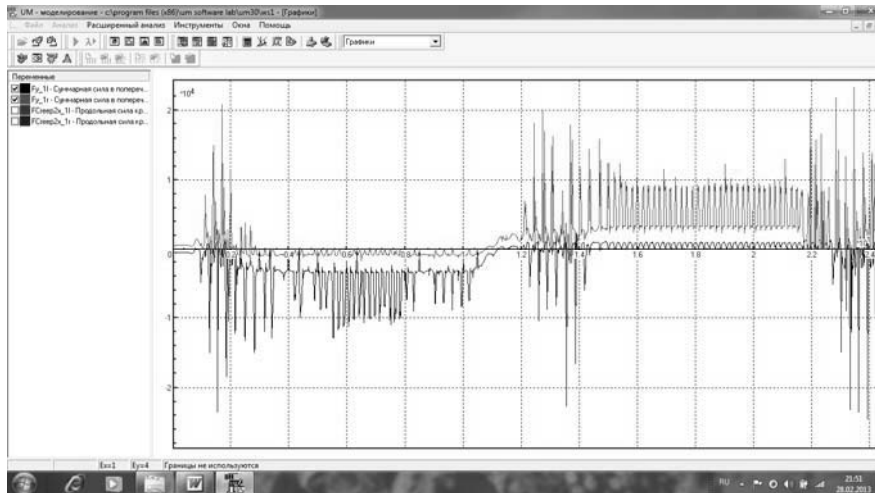
*Таблиця 1. Параметри ходових частин рухомого складу*

Тип екіпажу	Конструкційна Швидкість V, км/год	Радіус колеса по колу кочення r, см	Число вісей в жорсткій базі	Довжина жорсткої бази L <sub>ж</sub> , см	Поперечний розбіг вісей, мм	
					Крайніх	середніх у тривісного візка
Електровози						
ВЛ80, ВЛ80к	110	62,5	2	300	1,0	–
ВЛ82м	110	62,5	2	300	1,0	–
ЧС4	160	62,5	3	460	1,5	1,3
Тепловози						
2ТЭ10Л	100	52,5	3	420	1,5	14
2ТЭ10В	100	52,5	3	370	1,5	14
2ТЭ116	100	52,5	3	370	1,5	14
ТЭП60	160	52,5	3	460	0	19
ТЭП70	160	52,5	3	430	1,5	14
Вагони						
Вантажний чотиривісний	–	47,5	2	185	6	–
Вантажний шестивісний	–	47,5	3	350	2	6
Пасажирський	–	52,5	2	270	6	–

*Таблиця 2. Розміри колісних пар і рейкової колії в прямих ділянках, мм*

Параметри колісних пар і рейкової колії		Вагонні колеса при швидкостях, км/год		Локомотивні колеса при швидкостях, км/год	
		до 120	від 120 до 140	до 120	від 120 до 140
1		2	3	4	5
Насадка Т	макс.	1443	1443	1443	1443
	норм.	1440	1440	1440	1440
	мін.	1437	1439	1437	1439
Товщина гребеня h	макс.	33	33	33	33
	норм.	33	33	33	33
	мін.	25	28	25	28
Ширина колесної пари q (або колісної колії)	макс.	1511	1511	1509	1509
	норм.	1508	1508	1506	1506
	мін.	1489	1497	1487	1495
Ширина рейкової колії S	макс.	1528	1528	1528	1528
	норм.	1520	1520	1520	1520
	мін.	1516	1516	1516	1516
Сумарний зазор δ	макс.	39	31	41	33
	норм.	12	12	14	14
	мін.	5	5	7	7

На залізницях України значний процент становлять криві ділянки радіусами менше 600 м. За результатами виконаних розрахунків висновок такий: у кривих радіусом менше 600 м при швидкості 30 м/с бокові сили збільшуються на 20 – 25 %, а при радіусі 1000 м і швидкості 30 м/с зменшуються на 20 % за умови, що колісні пари нові (рис 3).



*Рис. 3. Значення бокової сили (30 м/с), радіуси кривих 1000 м*

На даний час змінити план колії на залізницях України неможливо. Зацікавленість впливу швидкості та стану поверхні кочення на виникнення бокових сил в контакт рейка-колесо і стала причиною розрахунків. Були виконані розрахунки для радіусів 300, 600, 800, 1000 м для кожного значення радіусу кривої ділянки колії брались реальні профілі колісних пар, різних серій локомотивів. Всі профілі за результатами статистичного аналізу розподілились на три групи: які не мають пробігу, нові, які мають гранично допустимий пробіг, зношені, та середній пробіг.

Для вантажних локомотивів розрахунки виконувались при максимальній швидкості 30 м/с для вантажних локомотивів, для пасажирських локомотивів розрахунки виконувались при швидкості 60 м/с (рис. 4).

За результатами розрахунків побудовані графіки залежності бокової сили від радіусу кривих ділянок колії та довжини перехідних кривих, при різних станах поверхні кочення та серіях локомотивів. Слід зауважити що розрахунки виконувались для одиної колісної пари. При розрахунках враховувалось достатня кількість умов руху колісної пари, результати, як уже згадувалось вище, мають не значні розбіжності.

Із виконаних розрахунків та (рис. 5, 6) можна зробити висновок що значення бокових сил хоч і незначною мірою, але залежать не лише від радіусу кривої, швидкості руху, а і від стану поверхні кочення бандажу колісної пари локомотива. Коли швидкість становить більше 100 км/год значення сили із зменшенням радіусу кривої збільшується до критичного значення.

Розрахунки для різного стану поверхні кочення колісної пари показали що значення бокової сили в більшій мірі залежить від радіусу кривої ділянки колії, особливо коли радіус менше 600 м.

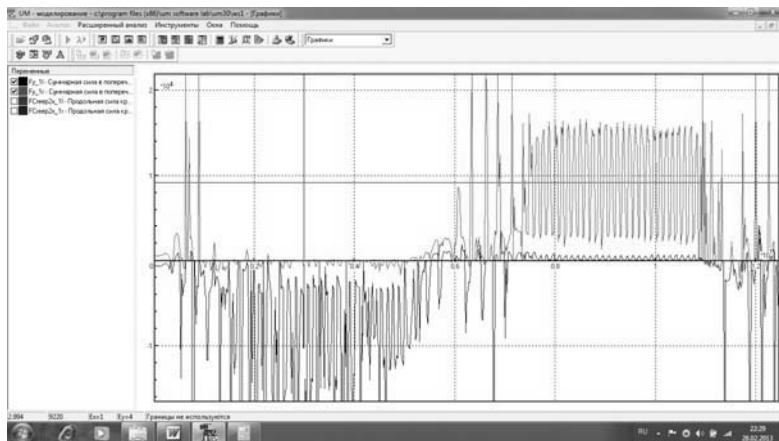


Рис. 4. Значення бокової сили (60 м/с), радіуси кривих 1000 м

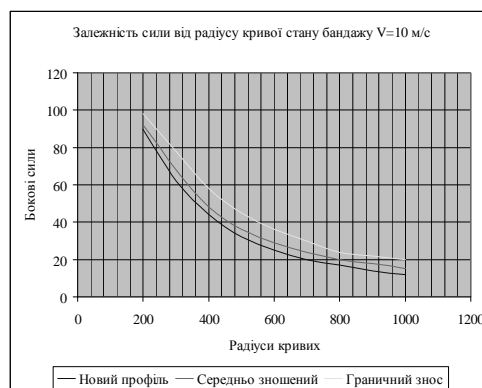


Рис. 5. Значення бокової сили (10 м/с).

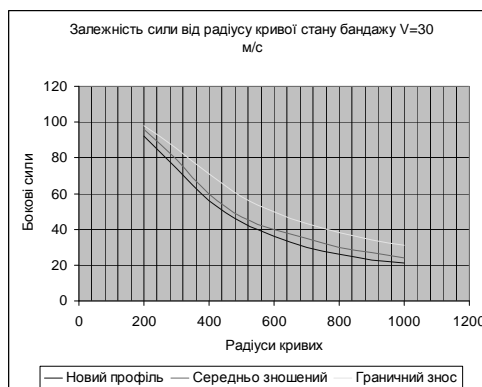


Рис. 6. Значення бокової сили (30 м/с)

Враховуючи числові значення ширини колії та допустимі швидкості руху в кривих для радіусу колії 400 м отримаємо значення бокових сил при швидкості 15 м/с, які наведені на рис 7.

Із вище викладеного можна зробити висновок, що бокові сили із збільшенням швидкості від 10 м/с до 30 м/с збільшуються на 6 – 8 %, коли радіус кривої ділянки колії більше 600 м, коли радіус кривої менше 500 м, то при незмінних значеннях швидкості бокові сили збільшуються до 11 %. При різних станах поверхні кочення бокові сили змінюють своє значення, причому на зношеному профілі значення сил суттєво відрізняється, слід відмітити, що бокові сили при зміні ширини колії дещо змінюють своє значення в бік зменшення приблизно до 5 %, а коли профіль гранично зношений, то це значення збільшується до 8 %.



Рис. 7. Вплив ширини колії на значення бокових сил

Після виконаних вище розрахунків у програмах слід звернути увагу на поперечну стійкість локомотивів, у роботі математичні моделі розглядалися, із швидкостями більше 120 км/год. Із значними навантаженнями та силами взаємодії рейки-колеса є велика ймовірність пошкодження верхньої будови колії під час коливального руху коліс. Тому для виключення можливих пошкоджень потрібно «коректувати» параметри системи «рейка-колесо», а саме, профіль поверхні кочення для покращення поперечної стійкості.

Як відомо із експериментальних даних, отриманих в манчестерському досліді (рис 8) наведені дані залежності критичної швидкості від конічності поверхні кочення колісних пар локомотива.

Як видно з (рис. 8) критична швидкість обернено пропорційна конічності поверхні кочення. Із збільшенням конічності значення швидкості значно зменшується, зношування поверхні кочення призводить до збільшення конічності, а відповідно до зменшення швидкості та збільшення частоти коливань і бокової сили [3].

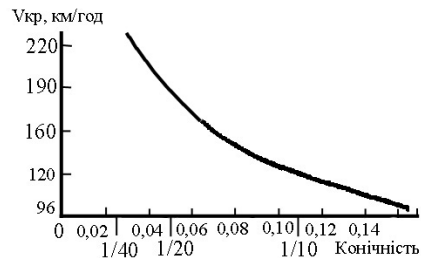
Для порівняння значень критичної швидкості виконаємо розрахунок за розробленою програмою в програмному редакторі Maple, повний текст програми викладено в додатку. Вихідні значення для розрахунку будуть такі, як і в експериментальному досліді, профіль поверхні кочення новий (рис. 9), радіус кривої 1200 м. Координати профілю мають такі значення:

```
Pr:=pointplot({[-0.0041,-0.0033],[-0.0016,-0.0013],
[0,0],[0.0013,0.0011],[0.0038,0.0031]}):
```

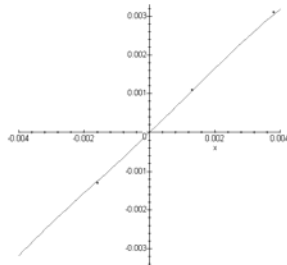
Значення бокової сили при коливальному русі на рис. 10. При критичній швидкості руху  $V_{kr} := 49.90412204$  м/с, що майже співпадає з дослідними значеннями, для профілю, який має пробіг 

```
Pr:=pointplot({[-0.00199,-0.00023], [-0.00147,-0.00018], [-0.00109,-0.00015], [0,0], [0.0011,0.00009], [0.00151,0.00012], [0.00199,0.00016]}):
```

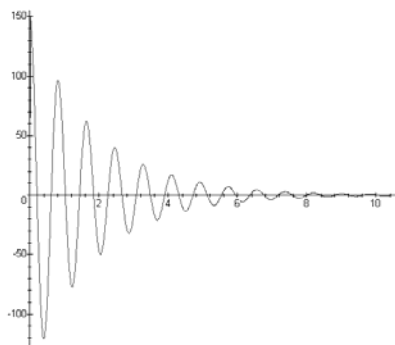
 (рис. 11) визначимо значення бокової сили та критичної швидкості. Графічні дані на рис. 12.



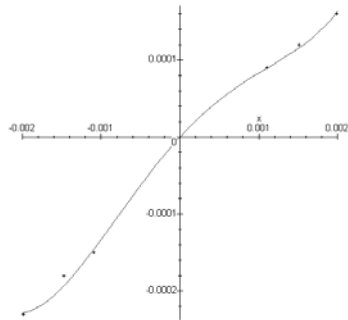
*Рис. 8. Залежність критичної швидкості від конічності поверхні кочення колісних пар локомотива*



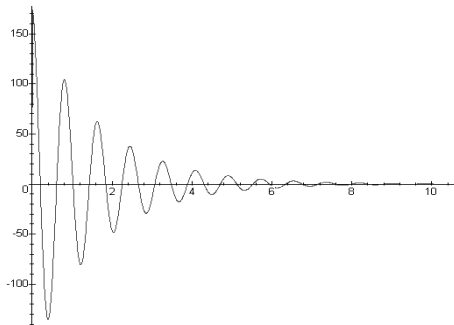
*Рис. 9. Профіль поверхні кочення в межах зони контакту*



*Рис. 10. Значення бокових сил при коливальному русі*



**Рис. 11. Профіль поверхні кочення в межах зони контакту з пробігом**



**Рис. 12. Значення бокових сил при коливному русі профілю з пробігом**

Коли в розрахунки заносяться дані профілю з пробігом, то значення швидкості зменшується  $V_{kr} := 48.08881528$ , а сила збільшилась.

За результатами проведених розрахунків можна зробити висновки:

1. Проаналізовані теоретичні дослідження по взаємодії поверхні кочення та рейки в поперечній горизонтальній площині;
2. Вибрана методика визначення сил взаємодії, яка враховує стан бандажу колісної пари локомотива, та виконані розрахунки;
3. Результати розрахунків критичної швидкості співпадають з експериментальними, «манчестерський тест», збільшення швидкостей руху зменшує сили опору від поперечного зсуву рейко-шпальної решітки по баластовому шару;
4. При швидкостях руху до 120 км/год бокові сили, які передаються від колеса на рейку достатньо стабілізовані і не перевищують встановлені значення, а при швидкостях руху більше 120 км/год значно зростають і наближаються до максимально допустимих;
5. Значний вплив на цифрові значення бокової сили має співвідношення жорсткості буксового підвішування та стану поверхні кочення.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Андрієвський С. М. Боковой износ рельсов на кривых» / С. М. Андрієвський // Труды ЦНИИ МПС. – 1961. – Вып. 374. – 185 с.
2. Фришман М. А. Как работает путь под поездами / Фришман М. А. – М.: Транспорт, 1987. – 168 с.
3. King B. L. An Assessment to the Contact Conditions between Worn Tyres and New Rails in Straight Track. – Research Report DYN/42, British Railways, Derby, England, 1966, December.