

РИБКІН В. В., д. т. н., професор (ДНУЗТ)
НАСТЕЧИК М. П., к. т. н., доцент (ДНУЗТ)
АРБУЗОВ М. А., к. т. н., доцент (ДНУЗТ)
КАЛЕНИК К. Л. к. т. н., доцент (Дон ІЗТ)
МАКАРОВ Ю. О. (ПС-1 ЦПУЗ)
МАРКУЛЬ Р. В., аспірант (ДНУЗТ)

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ УЛАШТУВАННЯ КОЛІЇ НА ІНТЕНСИВНІСТЬ БІЧНОГО ЗНОШЕННЯ ГОЛОВКИ РЕЙКИ В КРИВИХ ДІЛЯНКАХ

На території Укрзалізниці існує велика кількість кривих ділянок колії, в тому числі малого радіусу із крутими підйомами та спусками поздовжнього профілю колії, де застосовується рекуперативне гальмування. Це призводить до інтенсивного зношення рейок та коліс рухомого складу. Інтенсивність зношення рейок а відповідно і коліс прямо залежить від правильності встановлення норм підвищення зовнішньої рейки в кривій. В свою чергу норми підвищення залежать від швидкості руху, радіусу кривої та інших експлуатаційних факторів. Тому дана робота присвячена дослідженню впливу підвищення зовнішньої рейкової нитки на інтенсивність її зношення в кривих ділянках колії.

На территории УЗ существует большое количество кривых участков пути, у тому числе малого радиуса из крутыми подъемам и спусками продольного профиля пути, где применяется рекуперативное торможение. Это производит до интенсивного износа рельсов и колес подвижного состава. Интенсивность износа рельсов а соответственно и колес прямо зависит от правильности установления норм возвышения рельсов в кривых. В свою очередь нормы возвышения зависят от скорости движения, радиуса кривой и остальных эксплуатационных факторов. Поэтому данная работа посвящена исследованию влияния возвышения наружной рельсовой нити на интенсивность ее износа в кривых участках пути.

On the territory of Ukrainian railways there are many curves plots track, including short range with steep rises and descents of the longitudinal profile of track, where the regenerative braking. This leads to intense wear of rails and wheels rolling. The intensity of wear of rails and wheels and therefore depends on the correct setting standards superelevation in the curve. In turn, raise standards depend on the velocity, radius curve and other operational factors. Therefore, to further establish the correct rules superelevation present material effect on increasing wear on the rails in curved sections track.

Явище бічного зносу рейок привернуло увагу вчених ще в кінці ХІХ ст. Питання про знос та термін служби рейок, як найдорожчого елемента колії, від якого залежить ефективність роботи колії в цілому, постійно розглядається та аналізується на рейкових комісіях, і сьогодні є дуже актуальним.

В першій половині ХХ ст. вивчення явища зносу рейок та його причини виконувалось в основному

методом систематичного нагляду за його розвитком на ділянках колії з різними умовами експлуатації.

Пізніше у 70-ті роки до вирішення цієї проблеми був задіяний теоретичний аналіз зношувальної дії коліс локомотивів та вагонів. При русі екіпажу, особливо в кривих ділянках колії, тертя, що виникає між гребенями коліс та головкою зовнішньої рейкової нитки, призводить до їхнього зношення, яке

збільшується зі зменшенням радіуса кривих, ростом осьового навантаження та швидкості руху.

За даними А. П. Буйносова [1] із збільшенням швидкості руху на кожні 10 км/год підвищуються бокові сили на $4 \cdot 10^3$, які пропорційні вертикальному тиску колеса на рейку.

На знос коліс рухомого складу та рейок впливають також відношення твердості сталей колеса та рейки, різниця в діаметрах бандажів, перекис колісної пари в рамі візка, норми улаштування та допуски утримання колії і рухомого складу та багато інших важливих факторів.

У вивчення процесу зношення рейок внесли Альбрехт В. Г., Андрієвський С. І., Богданов В. М., Веріго М. Ф., Доронин В. І., Карпущенко Н. І., Котова А. Я., Лысюк В. С., Мелентьев А. П., Шахунянц Г. М., Буйносов А. П., Фришман М. А.

Аналіз результатів їх досліджень показав, що рейки інтенсивно зношуються в кривих $R=650$ м і менше, а в кривих радіусом менше 400 м рейки зношуються особливо інтенсивно. Після проведення аналізу роботи И. А. Котової [2] по експериментальних дослідженнях зношення в системі «колесо-рейка», які проводились на ділянках Західно-Сибірської дороги з використанням відеокамер, виявлено, що в кривих $R=650$ м і менше реалізується вільне вписування з обов'язковим контактом між гребенем набігаючого за напрямом руху колеса з зовнішньою рейковою ниткою. Між гребенями всіх коліс та внутрішньою рейковою ниткою при

ширині колії 1520...1540 мм завжди наявні зазори. Експерименти показали, що вплив такого параметру рейкової колії, як її ширина, на процес зношення не спостерігався [2]. Експериментальні дані, Н. І. Карпущенко [3], після проведення теоретичних та експериментальних досліджень на Західно-Сибірській залізниці підтвердили те, що ширина колії 1520 мм не показує суттєвого впливу на бокове зношення (не більше 10^3).

В ході вивчення питань, з проблеми надійності колії, яка обґрунтовувалась авторами у наукових журналах, лабораторних звітах та у науково-дослідних роботах велика увага приділялась визначенню впливу підвищення зовнішньої рейкової нитки на інтенсивність зношення рейок в кривих ділянках колії.

Відомо, що підчас проходження рухомого складу в кривих ділянках з'являється відцентрова сила, яка створює додаткове навантаження на зовнішню рейкову нитку, з'являється надлишкове непогашене прискорення, погіршується комфорт їзди пасажирів, а також стійкість колеса задньої осі проти його вкочування на внутрішню рейкову нитку. Для цього встановлюють підвищення зовнішньої рейкової нитки [4] [5] [6].

Так в 1934 р. П. Г. Козійчук, розглядаючи вплив підвищення на загальний знос рейок в кривих, прийшов до висновку, що надлишок підвищення позитивно впливає на умови роботи зовнішньої рейкової нитки. Необхідність збільшення підвищення зовнішньої рейки відносно інструктивних

розрахункових величин для порівняння доказують в своїх працях М. А. Фрішман, О. Н. Ускова, С. А. Линева, М. С. Яхов, Карпущенко Н. И, Антерейкін Є. С.

З метою визначення основних причин зносу зовнішньої рейкової нитки в кривих ділянках колії, в статті аналізувались дані на підставі трьох джерел.

Перше джерело це дані вимірів бічного зношення головки рейки які виконувались під керівництвом д. т. н., проф. Н. И. Карпущенка та И. А. Осташко. Цей матеріал надрукований в науковому джерелі [7], де проводяться дані спостереження бічного зношення рейок на декількох ділянках Тогучинської дистанції колії Російської Федерації. Результати опрацьованого матеріалу для кривих радіусом $R=382-388$ м, але з різними величинами підвищення, показані на рис.1.

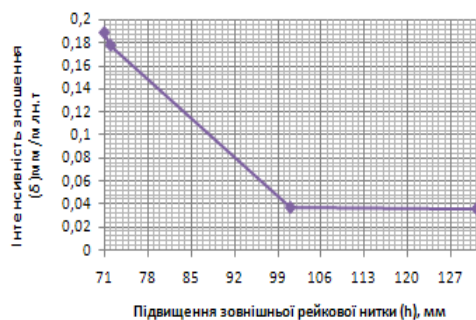


Рис. 1 Залежність величини інтенсивності бокового зношення від підвищення зовнішньої рейкової нитки в кривих ділянках колії

Як видно з рис. 1, під час збільшення підвищення зовнішньої рейкової нитки при майже незмінних радіусах (R), величина інтенсивності бічного зношення помітно зменшується. Недоліком досліджень [7] є низька чистота

експерименту з питань дослідження бічного зношення.

Другим джерелом для вивчення проблеми зношення зовнішньої рейкової нитки, авторами були використані паспортні дані кривих по трьох ділянках, розташованих на одному напрямку однієї із залізниць України.

Під час обробки отриманих даних досліджувалася залежність інтенсивності бічного зношення від величини підвищення зовнішньої рейкової нитки при однакових радіусах, вантажонапруженості та швидкості руху поїздів.

Опрацьовані дані, станом на 2010 рік наведені у таблицях 1. 2 та 3.

Таблиця 1
Паспортні дані кривих радіусом $R=253-277$ за величиною зношення рейок на ділянці № 1

Радіус (R), м	Пропущений тонаж, млн. т	Вантажонапруженість млн.ткм. бр/км	Підвищення (h), мм	Інтенсивність бічного зношення (δ), мм/млн.т	Дата укладки або заміни рейок
1	2	3	4	5	6
Ділянка № 1					
261	153	18	85	0,0359	2007 р.
277			90	0,0326	
253			100	0,029	

Таблиця 2
Паспортні дані кривих радіусом $R=258-273$ за величиною зношення рейок на ділянці № 2

Радіус (R), м	Пропущений тонаж, млн. т	Вантажонапруженість млн.ткм. бр/км	Підвищення (h), мм	Інтенсивність бічного зношення (δ), мм/млн.т	Дата укладки або заміни рейок
1	2	3	4	5	6
Ділянка № 2					
258	141	14	90	0,0465	2004 р.
270			100	0,0407	
273			120	0,04	

Таблиця 3
Паспортні дані кривих радіусом
 $R=296-316$ м за величиною
зношення рейок на ділянці № 3

Радіус (R) м	Пропущений тонаж, млн. т	Вантажна пружність млн.ткм. бр/км	Підвищення (h), мм	Інтенсивність бічного зношення (δ), мм/млн. т	Дата укладки або заміни рейок
1	2	3	4	5	6
Ділянка № 3					
296	47	31	85	0,047	2008 р.
316	47		85	0,041	
296	63		100	0,033	

За вище наданими табличними даними та за [7] на рис. 2 побудовано сумарний графік залежності інтенсивності бічного зношення головки рейки від підвищення зовнішньої рейкової нитки в кривих ділянках.

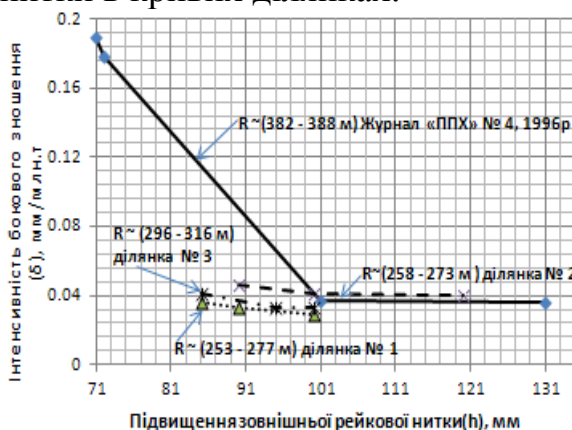


Рис. 2 Залежність інтенсивності зношення зовнішньої рейкової нитки від радіуса кривої та підвищення за матеріалами журналу «Путь и путевое хозяйство» та паспортів кривих з залізниць України

З графіка (див рис. 2) видно, що величина інтенсивності бічного зношення зовнішньої рейкової нитки

залежить від величини підвищення а також і від величини радіуса кривої.

Третім джерелом визначення параметрів рейкової колії (підвищення зовнішньої рейкової нитки, радіус кривої, вантажнапружність), що впливають на інтенсивність бічного зношення рейок в кривих, були натурні спостереження Коліобстежувальної станції № 1 (ПС-1) [8]. Величина бічного зношення вздовж рейки, що вкладає в криву ділянку колії, може мати різні значення. Тому під час аналізу даних спостережень виникає потреба в оперуванні середнім значенням, що відображає роботу в цілому.

При аналізі натурних спостережень було визначено вплив пропущеного тоннажу T на величину бічного зносу z . Необхідно встановити вид функції $z=f(T)$.

Знаходження функції $z=f(T)$ вирішується шляхом апроксимації. Дані було поділено на групи з вузьким діапазоном зміни радіусу: 250-259 м, 260-269 м, 270-279 м, 300-350 м, 800 м і більше. З дослідних даних для кожного діапазону виділено величини зношення z та відповідні значення пропущеного тоннажу T . Дані записано у вигляді вектор-стовпців. Значення пропущеного тоннажу T записано у вектор-стовпці VX а значення зношення z записано у вектор-стовпці VY . Поточна координата X осі абсцис являє собою пропущений тоннаж T . Функція Ax^B є шуканою формою функції $z=f(T)$, де A та B постійні, що необхідно знайти за

результатами апроксимації. Результати дослідних даних та апроксимація для $R=300-350$ м представлена графічно на рис. 3.

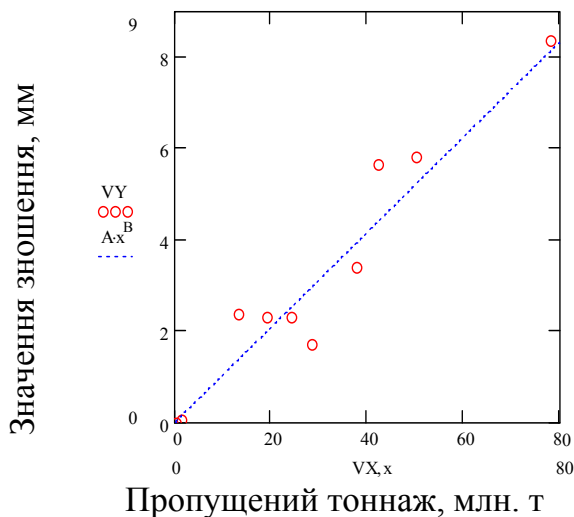


Рис. 3 Визначення функції $z=f(T)$ при $R=300-350$ м шляхом апроксимації

Як видно з рис. 3 функція $z=f(T)$, має вид:

$$z = i \cdot T \quad (1)$$

де z – величина бічного зношення, мм;

i – коефіцієнт пропорційності, мм/млн. т. бр;

T – пропущений тоннаж, млн. т. бр

Коефіцієнт пропорційності i являється тангенсом кута нахилу прямої, що апроксимує дані спостережень. Коефіцієнт пропорційності i є інтенсивністю бокового зношення рейки.

Для вказаних діапазонів радіусу кривої в результаті апроксимації дослідних даних встановлено величини інтенсивності бічного зносу. На графіку, що зображений на рис. 4 дані результати показані у вигляді точок, а штрихпунктирна лінія є результатом апроксимації

процесу залежності інтенсивності зношення від радіусу кривої $i = f(R)$.

На основі проведеної апроксимації визначено функцію

$i = f(R)$:

$$i = 5.367 \cdot 10^{-7} \cdot R^{-2.568} + 0.035 \quad (2)$$

Отже за формулою (2) можна визначити інтенсивність бокового зносу рейок в кривих радіусом R .

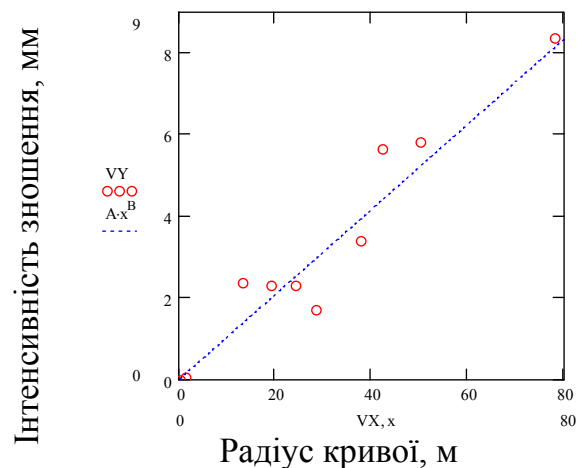


Рис. 4 Визначення функції $i = f(R)$ шляхом апроксимації

Пропущений тоннаж T – це добуток вантажонапруженості B та терміну служби рейки t_p :

(3)

Прирівнюючи формулу (1) до допустимого зношення $[z]=15$ мм, та використовуючи формулу (2), та (3) можна записати:

$$t_p = \frac{15}{(5.367 \cdot 10^{-7} \cdot R^{-2.568} + 0.035) \cdot B} \quad (4)$$

Використовуючи формулу (4) можна побудувати графіки терміну служби рейок по бічному зношенню в залежності від

вантажонапруженості та радіусу кривої.

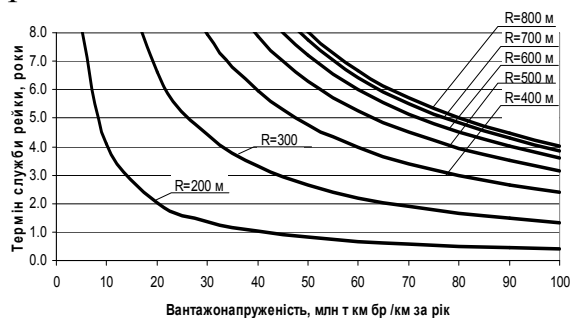


Рис. 5 Графіки залежності терміну служби рейок по причині бічного зношення від вантажонапруженості та радіусу кривої

Важливим моментом є те, що не лише кривизна ділянки призводить до інтенсивного зносу але і бокове непогашене прискорення. «При реализации в пределах от +0,2 до -0,2 интенсивность бокового износа не существенна, а за пределами этих значений износ быстро возрастает.» [9]. В режимі гальмування направляючі сили на зовнішню рейкову нитку збільшуються в 1,4-1,5 рази. За величину формування відповідає встановлене підвищення зовнішньої рейки.

Непогашене відцентрове прискорення визначається за формулою:

(5)

де V – швидкість руху екіпажу;

R – радіус кривої;

g – прискорення вільного падіння;

h – підвищення зовнішньої рейки;

S – відстань між осями рейок.

Аналізуючи формули (5), необхідно відмітити наступне. Радіус кривої R в гористій місцевості змінити практично не можливо, на рівнинній території – дорого. На швидкість V колійники впливу майже не мають. Залишається лише підвищення

зовнішньої рейкової нитки h , яке колійникам доступне для регулювання. При збільшенні підвищення зовнішньої рейки h непогашене відцентрове прискорення зменшується, що призводить до зменшення сил тертя, та зменшення бічного зношення, що і було зафіксовано по натурних вимірах (див. рис. 2).

Для встановлення впливу підвищення зовнішньої рейки на інтенсивність бічного зношення було досліджено параметри двадцяти п'яти кривих радіусом 400-499 м, що лежать на одному напрямку довжиною 90 км. Для даного діапазону радіусу кривих досліджувалось бічне зношення, пропущений тоннаж та підвищення зовнішньої рейки. Криві ділянки, в яких пропущений тоннаж менше 25 млн т бр, до аналізу не приймалися через недостатнє напрацювання. Рейки кривих ділянок колії, по яких пропущено менше 25 млн т бр, мають не стабілізовану інтенсивність бічного зношення.

На рис. 6 представлено дані інтенсивності бічного зношення рейок в залежності від величини фактичного підвищення зовнішньої нитки.

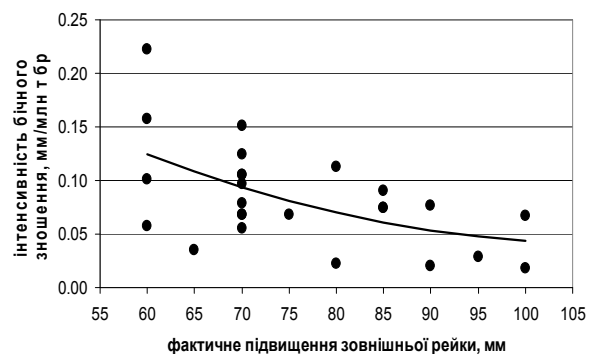


Рис. 6 Залежність інтенсивності бічного зношення дослідних кривих

R=400-499 м від величини фактичного підвищення зовнішньої рейки

Середнє значення інтенсивності бічного зношення для даних дослідних кривих склало - 0,08 мм/млн. т бр.

Слід наголосити, що на представлені величини інтенсивності бічного зношення ні кривизна ділянки, ні пропущений тоннаж не впливають. Найбільший вплив на інтенсивність чинить фактор підвищення зовнішньої рейки. При цьому спостерігається наступне: зі збільшенням величини підвищення зовнішньої рейки зменшується інтенсивність її бічного зношення. Так при підвищенні 60 мм інтенсивність зношення в 3 рази вища з а інтенсивність при підвищенні 100 мм (див. рис. 6)

Отже на основі проведеного аналізу трьох незалежних джерел, результати яких вказують на те, що найбільший вплив на інтенсивність бічного зношення рейок чинить величина підвищення в кривих ділянках колії.

Бібліографічний список:

1. Буйносов А. П. Взаимодействие колеса и рельса [Текст]/ А. П. Буйносов // «Путь и путевое хозяйство», 1996.– № 4.С. 22-25
2. Котова, И. А. Боковой износ рельсов и безопасность движения [Текст] / И. А. Котова, Н. И. Карпущенко «Путь и путевое хозяйство», 2005 – № 6. С. 5-6.
3. Карпущенко Н. И. Основные причины износа рельсов [Текст]/ Н. И. Карпущенко//

«Путь и путевое хозяйство», 2005 – №. 10. С. 4-10

4. Каменский В. Б. Причины роста бокового износа рельсов [Текст] / В. Б. Каменский // «Путь и путевое хозяйство», 1996. – № 5. С. 5-8.
5. Куприянов Н. В. О рациональном возвышении рельсов. [Текст] / Н. В. Куприянов // «Путь и путевое хозяйство», 2000 – № 7. – С. 7-8.
6. Лысюк В. С. Причины и механизм бокового износа рельсов и гребней колес. [Текст] / В. С. Лысюк // «Путь и путевое хозяйство», 2007 – № 4. – С. 13-14.
7. Карпущенко, Н. И. Параметры колеи и износ рельсов. [Текст] / Н. И. Карпущенко, И. А. Осташко // «Путь и путевое хозяйство», 1996. – № 4. – С. 6-7.
8. Відомість по дослідних і контрольних рейках, що спостерігаються ПС-1 ЦП УЗ на Львівській залізниці [Текст] / Мін-во інфраструктури України. –Д., 2011. –7с.
9. Ершков О. П. Управление надежностью железнодорожного пути. [Текст] /О. П. Ершков, Н. Ф. Митин // Вестн. ВНИИЖТа. – 1991. – № 5. – С. – 405 с.