

УДК 625.1-027.45

І. О. БОНДАРЕНКО – к. т. н., доцент, каф. «Колія та колійне господарство»,
Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка
В. Лазаряна, irina_bondarenko@ua.fm, ORCID 0000-0003-4717-3032

СТОСОВНО ВИЗНАЧЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНО-БЕЗПЕЧНОЇ ШИРИНИ КОЛІЇ

Вплив стану рейок і коліс на параметри контакту їх взаємодії

Колісна пара при русі по колії з шириною S здійснює хвилястий рух, довжина якого:

$$L = 2\pi \sqrt{\frac{Sr_c}{2n}}, \quad (1)$$

де n – конічність ободу колеса; S – ширина колії; r_c – середній круг кочення колеса,

$$r_c = \frac{r_{\text{л}} + r_{\text{п}}}{2}, \quad (2)$$

$r_{\text{л}}, r_{\text{п}}$ – радіуси кочення відповідно правого та лівого коліс.

Центр колісної пари рухається в прямій ділянці колії по синусоїдальній траєкторії, та контакт рейки з колісною парою вздовж рейки розташований на відрізку $\left[-\frac{S-g}{2}, \frac{S-g}{2}\right]$ відносно центрального положення колісної пари в прямій. Де g – ширина колісної пари рухомого складу,
 $y_0 = \frac{S-g}{2} = \frac{\delta}{2}$ – максимальна амплітуда відхилення.

Центр колісної пари рухається в кривій ділянці колії по синусоїдальній траєкторії відносно кінематичної осі кривої, що зміщена від осі кривої до зовнішньої рейки на величину $y_R = \frac{Sr_c}{2Rn}$, та контакт рейки з колісною парою вздовж рейки розташований на відрізку $\left[-\frac{S-g}{2} + \frac{Sr_c}{2Rn}, \frac{S-g}{2} - \frac{Sr_c}{2Rn}\right]$ кінематичної осі [1]. Де R – радіус кривої ділянки.

За амплітудою коливання можна встановити при яких співвідношеннях S та g колесо обертається частиною бандажа з уклоном 1/20 або частиною бандажа з уклоном 1/7.

Ширина полоси, на яку праве колесо проектується на головку правої рейки, коли ліве колесо притиснуте до лівої рейки становить:

$$\Delta = a_{\text{п}} + h_{\text{л}} + T + \mu - S, \quad (3)$$

де $a_{\text{п}}$ – ширини правого колеса; $h_{\text{л}}$ – товщина гребеня правого колеса; T – насадка коліс; μ – потовщення ширини гребеня правого колеса.

Ширина полоси при якій колесо обертається частиною бандажа з уклоном 1/20 становить:

$$\Delta_{1/20} = \Delta - l_{1/7} - l_{\text{ф}} - l_{\text{викр.}}, \quad (4)$$

де $l_{1/7}$ – ширини правого колеса при якій колесо обертається частиною бандажа з уклоном 1/7, $l_{1/7} = 24$ мм; $l_{\text{ф}}$ – ширина фаски правого колеса $l_{\text{ф}} = 6$ мм; $l_{\text{викр.}}$ – ширина викружки нової рейки $l_{\text{викр.}} = 12$ мм.

Для колісних пар вагонів з урахуванням та без врахування віджимів зовнішньої і внутрішньої рейкової нитки зазначені величини становлять: при справному стані $\Delta = 57...91$ мм та $\Delta_{1/20} = 15...49$ мм, при несправному – при звуженні $\Delta = 69...92$ мм, $\Delta_{1/20} = 15...50$ мм та при розширенні – $\Delta = 56...79$ мм, $\Delta_{1/20} = 14...37$ мм, при частково працездатному – при звуженні $\Delta = 74...97$ мм та $\Delta_{1/20} = 32...55$ мм та при

розширенні – $\Delta = 37...66$ мм, $\Delta_{1/20} = 5...24$ мм. Отже при ширині колії 1510...1511 мм ребро пересічення поверхнею колеса з ухилами 1/20 та 1/7 знаходиться на відстані 30,5 (24,6)...7,5 мм лівіше за вертикальну вісь рейки. При ширині колії 1512...1515 мм ребро пересічення поверхнею колеса з ухилами 1/20 та 1/7 знаходиться на відстані мм 28,5 (24,6)...3,5 мм лівіше за вертикальну вісь рейки. При ширині колії 1516...1520 мм ребро пересічення поверхнею колеса з ухилами 1/20 та 1/7 знаходиться на відстані мм від 24,5 мм лівіше до 1,6 мм правіше за вертикальну вісь рейки. При ширині колії 1520...1528 мм ребро пересічення поверхнею колеса з ухилами 1/20 та 1/7 знаходиться на відстані мм від 20,5 мм лівіше до 9,6 мм правіше за вертикальну вісь рейки. При ширині колії 1529...1540 мм ребро пересічення поверхнею колеса з ухилами 1/20 та 1/7 знаходиться на відстані від 5,5 мм лівіше до 21,6 мм правіше за вертикальну вісь рейки. При ширині колії 1541...1543 мм ребро пересічення поверхнею колеса з ухилами 1/20 та 1/7 знаходиться на відстані від 0,6 мм до 24,6 мм (до початку закруглення головки рейки з радіусом 15 мм) правіше за вертикальну вісь рейки. При ширині колії 1543...1548 мм ребро пересічення поверхнею колеса з ухилами 1/20 та 1/7 знаходиться на відстані від 2,6 мм до 24,6 мм (до початку закруглення головки рейки з радіусом 15 мм) правіше за вертикальну вісь рейки та далі колесо обертається по рейці поверхнею з ухилом 1/7.

Зазвичай при аналізі контакту рейки з колесом рейку розглядають або як нову, або з боковим зносом 3,5 мм, при якому рейку вважають мало зношеною, та боковим зносом 7,8 мм, при якому рейку вважають середньо зношеною. Величини зносів, при яких рейки далі вважаються дефектними: в першому випадку для I, II та III категорії колій при яких швидкість більше за 120 км/год становить 7 мм; в другому випадку для всіх категорій при вантажна-

пруженості $B > 10$ млн.т.км.брутто/км на рік – 15 мм; в третьому випадку для всіх категорій при вантажнапруженості $B \leq 10$ млн.т.км.брутто/км. на рік – 18 мм. За [2] нові рейки, що покладені в I, II, III та IV (при $B > 30$ млн.т.км.брутто/км на рік) категорії вилучаються зі боковими зносами 7 та 15 та 18 мм та приведеними відповідно 9, 12 та 16 мм. Та укладаються у IV (при $B \leq 30$ млн.т.км.брутто/км на рік), V, VI та VII категорії колії, де вони експлуатуються при зміні величини бокового зносу з 0 мм до 15 мм або до 18 мм в залежності від вантажнапруженості й максимальної встановленої швидкості руху поїздів. При цьому ці старопридатні рейки вже мають вертикальний знос відповідно 5,5, 4,5 та 7 мм. На рис. 1 наведено форми головок рейок при зазначених умовах. Переукладання рейок застосовується і при зміні кантів рейок в кривих ділянках колії. Але за період експлуатації рейки не мають максимальні величини зносів за двома видами. Так для прямих ділянок та для внутрішніх рейок в кривих ділянках знос обмежується вертикальним значенням, в той час горизонтальний знос коливається в межах 3,5...7 мм. Для ділянок з радіусами 651...1000 м рекомендовано проводити один раз суцільну заміну рейок, з радіусами 351...650 м – два рази, з радіусами 350 м та менше – три рази.

Для всіх ділянок колії максимальні значення вертикального зносу прямо пропорційні пропущеному тоннажу та відповідно становлять при $120 < V < 140$ км/год/ $B > 10$ млн.т.км.брутто/км на рік та $V \leq 120$ км/год/ $B < 10$ млн.т.км.брутто/км на рік: для ділянок з радіусами 651-1000 м – 2,8/2,3/3,5 мм, з радіусами 351-650 м – 1,8/1,5/2,3 мм, з радіусами 350 м та менше – 1,4/1,2/1,8 мм. Всі рейки належать до першої групи придатності, де вертикальний знос має бути не більше 4 мм, отже можуть бути застосовані як в прямих так і в кривих ділянках колії з заміною та без заміни канту.

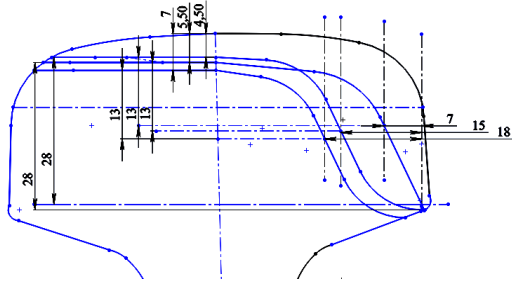


Рис. 1. Профілі головки рейок для різних експлуатаційних умов при яких рейки далі вважаються дефектними

За аналізом зміни поверхні кочення рейки в залежності від наявності вертикального зносу спостерігаємо різні залежності. Для рейок, що покладені вперше:

- при наявності вертикального зносу 0,1 мм поверхня кочення рейки змінює обрис радіусом 500 мм на пряму, та ширина зони контактів з бандажем колеса складає 20 мм;
- при наявності вертикального зносу 1,7 мм обрис рейки уявляє собою площадку шириною 49,1 мм, за рахунок зміни зони з радіусом 80 мм;
- при наявності вертикального зносу 2, 3 та 4 мм обрис рейки уявляє собою площадку шириною відповідно 51,50, 56,55 та 59,94 мм, за рахунок зміни зони з радіусом 15 мм.

Для старопридатних рейок з боковими зносами 7, 15 та 18 мм в неробочій грані та 0 мм з робочої:

- при наявності вертикального зносу 2 мм обрис рейки уявляє собою площадку шириною відповідно 39,63, 31,58 та 28,58 мм, за рахунок зміни зон з радіусом 15 мм;
- при наявності вертикального зносу 3 мм обрис рейки уявляє собою площадку шириною відповідно 42,16, 34,17 та 31,17 мм, за рахунок зміни зон з радіусом 15 мм;
- при наявності вертикального зносу 4 мм обрис рейки уявляє собою площадку шириною відповідно 43,85, 35,86 та 32,86 мм, за рахунок зміни зон з радіусом 15 мм.

При подальшій експлуатації старопридатних рейок ширина площадки зменшується за рахунок появи бокового зносу. Отже ширина площадки на поверхні кочення рейки в залежності від її зносу коливається в межах 12,82...59,94 мм та в середньому складає 37,98 мм.

За даними [3, 4] колеса мають «проектний» профіль, якщо вони нові, або, якщо вони вийшли з ремонту, отже 6...9 разів за терміні служби (в залежності від профілю обточки). При зміні товщини гребеня з 33 мм до 31 мм різні профілі різняться між собою (доля таких контактів складає 10...15 %), при зміні товщини гребеня 31 мм до 29 мм профілі однакові у основі галтелі та відрізняються подальшою формою гребеня та ділянкою з конусністю 3,5 (доля таких контактів складає 35...40 %). При зміні товщини гребеня 29 мм до 27 мм профілі однакові у основі галтелі і бокової робочої поверхні гребеня та відрізняються подальшою формою гребеня і ділянкою з конусністю 3,5 (доля таких контактів складає 35...40 %). При товщині гребеня 27 мм та менше всі профілі набувають однакову форму (доля таких контактів складає 10...15 %). Також можна зазначити, що майже 70 % коліс мають обрис профілю за ГОСТ 9036-88, до 20 % - за профілем ІТМ. Що стосується зносу бандажу, то розглянуті колісні пари з стандартним (ГОСТ 9036-88), ІТМ-73 та ДПТ УЗ профілями мають однаковий знос в зоні з конусністю 10 не в залежності від зносу гребеня. Зносу бандажу поступово збільшується в зонах з конусністю 10 та 3,5, але характер зносу рівномірний.

З урахуванням досвіду робіт [1, 5...8] вплив співвідношення ширини колії та параметрів коливання рухомого складу в поперечній площині можна оцінити - у ординатах геометричного центру контакту рейки та колісної пари відносно центрального положення колісної пари в прямій або в кривій:

$$y = y_0 \cos \alpha x - y_R - y_p - y_{\text{від.}}, \quad (5)$$

де u_p – відхилення положення рейки від плану (рихтовка); $u_{від.}$ – динамічні відхилення рейки (віджими).

Центральне положення коліс в колії пов'язано величиною зазору між робочими боковими гранями рейок та коліс $\delta = S - g$, отже при відомих величинах зазорів обох контактів відомими є ординати центрального положення колісної пари в кривій та радіуси кочення по них обох коліс, але в ф. (5) не враховано форму контакту рейок та коліс.

При контакті нових коліс по поверхні кочення з новою рейкою, її вершина, як найвища точка, контактує з колесами зоною з конусністю 10 при зазорах $0 < \delta < 34$ мм при всіх нахилах рейки, при $\delta \geq 34$ мм колесо контактує ребром пересічення поверхні з ухилами 1/20 та 1/7 та зоною з конусністю 3,5. При контакті нових коліс з новою рейкою, відбуваються одноточковий або двоточковий контакти.

З появою вертикального зносу 0,1, 1,7, 2, 3, 4 з конусністю 10 при зазорах відповідно $0 < \delta < 22$ мм, $0 < \delta < 6,5$ мм, $0 < \delta < 6$ мм, $0 < \delta < 4,5$ мм, $0 < \delta < 2$ мм при всіх нахилах рейки при більших значеннях зазору контакт відбувається по зоні з конусністю 3,5.

При контакті коліс і рейок, що мають знос до наведених значень необхідно додати до кожного зазору величини бокового зносу рейки $h_{бок.}$, зносу колеса Δh та різницю з урахуванням рівнів обміру ширини гребеня та ширини колії (що коливається в межах 0,8...1,73 мм в залежності від куту нахилу гребеня β), тобто: $\delta + h_{бок.} + \Delta h + 3ctg\beta$ мм.

При контакті коліс зі старопридатною рейкою з боковими зносами 7, 15 та 18 мм в неробочій грані контактування по поверхні кочення відбувається по зоні з конусністю 10:

– при наявності вертикального зносу 2 мм відповідно $0 < \delta < 17,9$ мм, $0 < \delta < 25,9$ мм, $0 < \delta < 28,9$ мм;

– при наявності вертикального зносу 3 мм відповідно $0 < \delta < 18,9$ мм, $0 < \delta < 26,9$ мм, $0 < \delta < 29,9$ мм;

– при наявності вертикального зносу 4 мм відповідно $0 < \delta < 18,1$ мм, $0 < \delta < 26,1$ мм, $0 < \delta < 29,1$ мм.

При більших значеннях зазору контакт відбувається по зоні з конусністю 3,5.

Старопридатна рейка в початковий період має кут на викружці та одноточковий контакт по викружці при контактах збудженими колесами. Для інших випадків в режимах кочення і ковзання та в режимі ковзання відбуваються одноточковий та двоточковий конформні контакти.

За [9, 10, 11] для колії на залізобетонних шпалах встановлена швидкість може бути реалізована при ширині колії 1520^{+20}_{-10} мм. При укладанні рейко-шпальної решітки ширина колії 1520 мм допуски +14...20 мм можуть бути реалізовані за рахунок допустимих значень зносу (14 мм при допустимому зносі обох рейок в прямих, або 15 мм чи 18 мм при зносі зовнішньої рейки в кривих та 2 мм допуск при зборці рейко-шпальної решітки) допуск по звуженню можливий при перекосі шпал або порушення нахилу рейок. Така ширина колії припустима для кривих всіх радіусів. При ширині колії 1541...1546 мм швидкість обмежено до 60 км/год. яка властива кривим з радіусами 300...450 м, а при ширині колії 1547...1548 мм швидкість обмежено до 25 км/год.

При ширині колії 1512...1516 мм величина зазору в 75 % коливається в межах 8...20 мм ($u_R = 5...10$ мм, $u = 0...10$ мм) та зовнішні рейки в кривих з радіусом нижче за 721...1802 м завжди піддаються боковому сточуванню по всій довжині кривої. При ширині колії 1520^{+8}_{-4} величина зазору коливається в межах 12...24 мм ($u_R = 5...24$ мм, $u = 5...13$ мм) та зовнішні рейки в кривих з радіусом нижче за 604...1204 м завжди піддаються боковому сточуванню по всій довжині кривої. При ширині колії

1530...1540 мм величина зазору коливається в межах 26...44 мм ($y_R = 4...25$ мм, $y = 0...35$ мм) та зовнішні рейки в кривих з радіусом нижче за 333...663 м завжди піддаються боковому сточуванню по всій довжині кривої. При ширині колії 1540...1545 мм величина зазору коливається в межах 36...49 мм ($y_R = 10...25$ мм, $y_R = 0...28$ мм) та зовнішні рейки в кривих з радіусом нижче за 300...408 м завжди піддаються боковому сточуванню по всій довжині кривої.

Отже, основним фактором, що впливає на знос рейок та коліс в кривій ділянці колії є фактична величина зазору між зовнішньою рейкою та колесом. На величину зазору впливають наступні чинники, формула (5): співвідношення геометричних розмірів величин ширини колії та колісної пари, положення кінематичної осі кривої, динамічні відхилення рейки та відхилення положення рейки від плану. Перший, другий та четвертий чинники прямим чином пов'язані з величиною ширини колії, яка вважається визначальною при боротьбі зі зносом. Але при цьому, саме значення ширини колії є непрямим (побічним) фактором у фізичному процесі зносу. Третій чинник є незалежним від величини ширини колії, тому для визначення його впливу на величину зазору необхідно проаналізувати процес деформативності колії від впливу колісної пари.

Формування оціночних умов щодо забезпечення безпеки сходу колеса з рейки всередину

Розпирання рейкової колії – факт, при якому ширина колії в місці взаємодії рейкових ниток з колісними парами («динамічна» ширина колії) перевищує розміри, що необхідні для утримання колісної пари на рейках. При цьому відбувається провалювання одного з коліс всередину колії.

Початком провалювання колеса є таке положення колісної пари в рейковій колії, при якому фаска колеса, що рухається по

внутрішній рейці, співпадає з початком малого закруглення ($r = 15(13)$ мм).

Необхідною умовою сходу з рейок рухомого складу є [12]:

$$S + \delta S = S^* \geq [S], \quad (6)$$

де S – статична ширина колії; δS – динамічне розширення колії, що залежить від навантажень; S^* – динамічна ширина колії; $[S]$ – критична ширина колії, при якій відбувається провалювання колеса.

При взаємодії колісної пари і рейкової колії забезпечується утримання рухомого складу на рейках якщо між величинами S , S^* та $[S]$ існує наступна залежність:

$$S < S^* < [S], \quad (7)$$

Отже з урахуванням проведених досліджень отримано наступні залежності з надійної та функціонально безпечної роботи колії безпечний рух рухомого складу при наступних значеннях $[S]/\delta S$, що наведені в табл. 1.

Висновки

Одним з нових аспектів процесу взаємодії колії та рухомого складу є рішення задач надійності та функціональної безпеки колії. Враховуючи, що українські залізниці не мають нормативних документів із цих сфер, напрямок досліджень є актуальним.

Аналіз особливостей контактної взаємодії рейки та колеса при русі допоміг визначитись з наступним:

1. За аналізом факторів взаємодії, що впливають на надійну та функціонально безпечну роботу колії від впливу колісної пари: положення колісної пари в колії та стан елементів колії і коліс. Ці фактори формують місця та види контакту взаємодії контактуючих елементів та визначають вектори сил впливу, що викликають прискорення елементів конструкції колії. Прискорення формують сили інерції елементів, що вносять зміни до процесу деформативності колії, який характеризує її надійну та функціонально безпечну роботу.

2. При описанні руху рухомого складу враховано його коливальний рух в поперечній площині відносно колії та проаналізовано вплив співвідношення ширини колії та параметрів колювання рухомого складу в поперечній площині.

3. В залежності від параметрів колювання визначено розташування контактних площадок взаємодії коліс і рейок вздовж колії. Так при контакті нових коліс з новою рейкою, відбуваються одноточковий або двоточковий контакти. Старопридатна рейка в початковий період має кут на викружці та одноточковий контакт по викружці при контактах з будь-якими колесами. Для інших випадків в режимах кочення і ковзання та в режимі ковзання відбуваються одноточковий та двоточковий конформні контакти.

4. Враховано зміну контактів взаємодії колії та рухомого складу при експлуатації нових та старопридатних рейок та визначено межі величин зазорів між рейкою та колесом в залежності від величин вертикальних та бокових зносів рейки.

5. Встановлено що основним фактором який впливає на знос рейок та коліс в кривій ділянці колії є фактична величина зазору між зовнішньою рейкою та колесом. На величину зазору впливають наступні чинники: співвідношення геометричних розмірів величин ширини колії та колісної пари, положення кінематичної осі кривої, динамічні відхилення рейки та відхилення положення рейки від плану. Визначено співвідношення величин ширини колії та радіусів кривих при яких зовнішня рейка сточується по всій довжині кривої при проході рухомого складу.

6. Складено класифікацію станів надійної та функціонально безпечної роботи залізничної колії за допустимими значеннями ширини колії та допустимими динамічними розширеннями колії, що дозволять в подальшому визначити умови їх появи.

Загальні матеріали, що наведені в статті дають змогу перейти до встановлення характеристик функціональної надійності колії.

Таблиця 1

Класифікація станів надійної та функціонально безпечної роботи залізничної колії за допустимими значеннями ширини колії та допустимими динамічними розширеннями колії

Параметр		Стан надійності		
		справний	несправний	непрацездатний
експлуатаційні умови		$[S]/\delta S$	$[S]/\delta S$	$[S]/\delta S$
>140-160/ >80-120	P65	1545/19	1546/20	1568/42
	UIC60	1544/18	1545/19	1567/41
>120-140 / >80-120	P65	1546/18	1547/18	1570/29
	UIC60	1545/17	1546/17	1569/28
$\leq 120 / \leq 80$ B>10 млн. т км бр./км рік	P65	1549/21	1550/21	1573/24
	UIC60	1548/20	1549/20	1572/23
	P50	1547/19	1548/19	1571/22
B≤10 млн. т км бр./км рік	P65	1550/22	1551/22	1574/25
	UIC60	1549/21	1550/21	1572/23
	P50	1548/20	1549/20	1571/22
приймально-відправні колії	P65	1551/23	1552/23	1574/25
	UIC60	1550/22	1551/22	1572/23
	P50	1549/21	1550/21	1571/22

Бібліографічний список

1. Вершинский, С. В. Динамика вагона. 3-е издание / С. В. Вершинский, В. Н. Данилов, В. Д. Хусидов. – М. : Транспорт, 1991. – 360 с.
2. Положення про проведення планово-запобіжних ремонтно-колійних робіт на залізницях України. ЦП-0287 / ВНДУЗ 32.2.04.048-2014 Затверджено: наказом Укрзалізниці від 03.11.2014 №470-ЦЗ / А. Бабенко, Г. Линник, К. Мойсеєнко, О. Патласов, В. Яковлев. – Київ : 2015. – 45 с.
3. Ушкалов, В. Ф. Типовые формы изношенных профилей колес / В. Ф. Ушкалов, И. В. Подбельников // Техническая механика. – 2009. – № 1. – С. 50–55.
4. Ушкалов, В. Ф. Увеличение ресурса колесных пар за счет использования износостойких профилей колес / В. Ф. Ушкалов, Н. В. Безрукавый // Техническая механика. – 2015. – № 1. – С. 97–103.
5. Лысюк, В. С. Причины и механизм схода колеса с рельса. Проблема износа колес и рельсов / В. С. Лысюк. – М. : Транспорт, 2002. – 215 с.
6. Коротаев, Б. В. Износ термоупрочненных рельсов Р65 в сложных условиях эксплуатации Восточно-Сибирской железной дороги : автореферат дис.... канд. техн. наук : 05.22.06. – Иркутск, 1999. – 22 с.
7. Воробьев, А. А. Исследование напряженного состояния пятна контакта колеса и рельса / А. А. Воробьев, П. Г. Сорокин // Новые материалы и технологии в машиностроении : сб. науч. тр. по итогам межд. науч. техн. конф. Вып. 3. / БГИТА – Брянск, 2004. С. 8–18.
8. Ушкалов, В. Ф. Разработка рационального профиля головки рельса с несимметричной поверхностью катания / В. Ф. Ушкалов, И. А. Серебряный, И. В. Подбельников // Техническая механика. – 2008. – № 1. – С. 31–37.
9. Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України ЦП-0269 / Наказ Мін. інфраструкт. України від 01 березня 2012 р. № 072-Ц. – К. : Мін. інфраструктури України, Укрзалізниця. – 2012. – 456 с.
10. Технічні вказівки щодо оцінки стану рейкової колії за показниками колієвимірювальних вагонів та забезпечення безпеки руху поїздів при відступах від норм утримання рейкової колії. ЦП0267 от 01.02.2012, № 033-Ц – К., 2012. – 32 с.
11. Інструкція зі збирання рейко-шпальної решітки для різних видів скріплень. ЦП-0180 : Затв. Наказом Укрзалізниці від 01.11.2007 № 512-Ц / М-во транспорту та зв'язку України. Держадміністрація залізничного транспорту України. Укрзалізниця. НКTB ЦП УЗ, Держадміністрація залізничного транспорту України, Укрзалізниця, Науково-конструкторське технологічне бюро колійного господарства Укрзалізниці (НКTB ЦП УЗ). – К. : Швидкий рух, 2007. – 39 с.
12. Сокол, Э. Н. Сходы с рельсов и столкновение подвижного состава / Э. Н. Сокол – Киев : Транспорт Украины, 2004. – 368 с.

Ключові слова: радіус кочення, стан надійності колії, колісна пара, ділянка колії, радіус кривої, знос рейки.

Ключевые слова: радиус качения, состояние надежности пути, колесная пара, участок пути, радиус кривой, износ рельса.

Keywords: radius of woobling, state of reliability of way, wheelpair, area of way, radius of curve, wear of lath.

Рецензенти:

д. т. н., проф. В. Д. Петренко,
д. т. н., проф. Д. В. Лаухін.

Надійшла до редколегії 12.10.2016.
Прийнята до друку 22.10.2016.