

Інститут геотехнічної механіки імені М.С. Полякова
Національної академії наук України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

МАКАРОВ ЮРІЙ ОЛЕКСАНДРОВИЧ

УДК 625.03:625.14 (043.5)

ДИСЕРТАЦІЯ
ПОКРАЩЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ РУХОМОГО СКЛАДУ ТА ЗАЛІЗНИЧНОЇ
КОЛІЇ В УМОВАХ СКЛАДНОГО ПЛАНУ І ПРОФІЛЮ

Спеціальність 05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів
27 – Транспорт

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ Ю. О. Макаров

Науковий керівник: Говоруха Володимир Васильович,
кандидат технічних наук

Дніпро – 2024

АНОТАЦІЯ

Макаров Ю. О. Покращення взаємодії рухомого складу та залізничної колії в умовах складного плану і профілю. – Кваліфікаційна наукова робота на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів. – Інститут геотехнічної механіки імені М.С. Полякова Національної академії наук України, Дніпро, 2024.

Дисертація присвячена вирішенню питання поліпшення взаємодії рухомого складу з рейковою колією у складних умовах плану і профілю залізничної колії та зменшенню зносу рейок та коліс рухомого складу, що досягається за рахунок вкладання довгих рейок по довжині кривої трьома частинами: перша перехідна крива – кругова крива – друга перехідна крива. Запропонована конструкція колії для складних умов плану і профілю залізничної колії.

В першому розділі виконано аналіз основних проблем взаємодії рейкової колії та рухомого складу у кривих ділянках колії. Наведено основні причини інтенсивного зношування бічної грані рейок та гребенів коліс в складних умовах плану і профілю залізничної колії. Проведено аналіз попередніх досліджень факторів впливу на знос гребенів коліс та рейок у кривих ділянках колії. Сформульоване визначення складних умов плану і профілю залізничної колії. Окремо розглянуто вплив стику на розлади колії і знос у парі «колесо-рейка».

В другому розділі проведено дослідження впливу різноманітних факторів на знос гребенів коліс та рейок у складних умовах плану і профілю залізничної колії, а саме - вплив різноманітних скріплень на дерев'яних та залізобетонних шпалах, підвищення зовнішньої нитки кривої, ваги поїздів, режимів ведення поїздів, стану вагонів, лубрикації, ширини колії, і дано рекомендації щодо вибору раціональних параметрів відповідних показників.

Виконано аналіз зносостійкості рейки на початковому етапі «приробки» рейкової колії і рухомого складу до моменту оптимального положення «рейкової» та «колісної» ширини колії та зменшення інтенсивності бокового зносу за рахунок зменшення ваги поїздів.

Проаналізована робота рейкових скріплень, які застосовуються на залізничному транспорті типу СКД65-Б та КПП-5-К на залізобетонних шпалах з регулюванням ширини колії до 1535 мм та надані пропозиції, щодо конструкції рейкової колії у складних умовах плану і профілю залізничної колії, що забезпечить зменшення інтенсивності зносу бічних поверхонь гребенів коліс та головок рейок. Рейко-шпальна решітка зі скріпленнями на залізобетонних шпалах з плавним відводом розширення в перехідних кривих та стабільною шириною колії в кругових кривих та рейок, які укладені на всю довжину перехідних кривих та всю довжину кругової кривої для зменшення показників інтенсивності зносу бічних поверхонь гребенів коліс та головок рейок.

У третьому розділі проаналізовано роботу систем пересувних та стаціонарних рейкозмащувачів. А також, представлені результати експериментальних досліджень різних конструкцій змащування.

При цьому інтенсивність бокового зносу бічних поверхонь гребенів коліс та головок рейок при змащуванні пересувними рейкозмащувачами на базі локомотива ВЛ11М знижена у 2,17 – 2,33 разів. Показники інтенсивності бокового зносу рейок та бічних поверхонь гребенів коліс при застосуванні рейкозмащувачів плунжерного типу знижено у 1,04 - 1,33 раз.

Проведено економічні розрахунки ефективності впровадження рейко-гребне- змащувальних установок з програмним забезпеченням та терміни окупності. Надано пропозиції, щодо вибору конструкції рейко- та гребне-змащувачів в залежності від експлуатаційних умов.

В четвертому розділі використана відома математична модель [18, 20, 25, 28, 31, 32] і наведені результати математичного моделювання динамічних процесів взаємодії рейкових транспортних засобів і рейкової колії в

просторовому стані коливань транспортної системи, виявлені показники механіки між їх складовими, установлені потужності сил тертя в точках взаємного контакту між бічними поверхнями головок рейок та реборд коліс при різних коефіцієнтах тертя між ними в умовах малих радіусів кривизни з стандартними і довгими рейками 120 м.

Проведено порівняння залежностей динамічних показників навантаженості транспортного засобу від швидкості руху по рейковій колії зі стандартними і довгими рейками довжиною 120 м.

Встановлено залежності максимальних значень показників зносу бічних поверхонь головок рейок і реборд колі в випадках руху кривих із стандартними рейками та рейками довжиною 120 м при швидкостях руху до 80 км/год. При цьому ці показники зносу при довгих рейках зменшуються на 10-20 % відносно стандартних рейок.

Проведено порівняння результатів математичного моделювання і експериментальних даних встановлена взаємна однозначність відповідності між розглянутою рейковою колією, як об'єктом, та побудованою математичною моделлю при кількісному оцінюванні певних параметрів на основі порівняння з об'єктивними експериментальними даними, одержаними в реальних умовах експлуатації. При математичному моделюванні за допомогою створеної математичної моделі механічних процесів системи одержано, що зменшення значень коефіцієнтів тертя від 0,25 до 0,05 приводить до зниження показників зносу бічної поверхні відповідно у 3,5-4,5 рази, а по результатам експериментальних досліджень з конкретними рейко-змащувальними установками та модифікаторами встановлено зменшення зносу головок рейок в середньому в 1,89 рази.

У п'ятому розділі викладено результати досліджень де узагальнені і проаналізовані характеристики кривих ділянок колії, які знаходяться у складних умовах плану і профілю залізничної колії. Згідно аналізу в кривих ділянках з радіусами $R < 450$ м зроблено висновки, що практично 100%

перехідних кривих та 90 % кругових кривих можливо перекрити рейками довжиною 120 м.

Викладені результати експериментальних досліджень в експлуатаційних умовах та результати теоретичних досліджень інтенсивності зносу бічних поверхонь гребенів коліс та головок рейок, при русі навантаженого вагона по довжині криволінійної ділянки радіусом 275 м з довгими (120 м) та стандартними рейками (25 м). Проведено порівняння довгих рейок і безстикових плітей. З проведеного аналізу встановлено, що рейки довжиною 120 м необхідно вважати довгими рейками.

Проведено аналіз вимог до рейкових скріплень в складних умовах плану і профілю залізничної колії, а саме забезпечення достатнього опору повздовжньому переміщенню рейки згідно вимог [33] 25 – 30 кН/м та нормативного притиснення рейок до основи не менше 20 кН, а також їх відповідність умовам стійкості і міцності.

Запропонована конструкція колії для складних умов на щебеневому баласті з рейко-шпальною решіткою на залізобетонних шпалах з рейками типу Р65, UIC60, Р50 довжиною 120 м, які вкладаються по довжині трьома частинами перша перехідна крива – кругова крива – друга перехідна крива, які з'єднані між собою накладками з шістьма отворами на скріпленнях з регулюванням ширини колії та проведені розрахунки стикового та повздовжнього опору рейки на обраних типах скріплень з накладками з шістьма отворами. Отримані значення дають можливість стверджувати, що обрана конструкція має достатній запас міцності і стійкості та відповідає нормам улаштування залізничної колії.

Ключові слова: знос бокової поверхні гребенів коліс і головок рейок, ресурс роботи, план і профіль колії, з діапазоном радіусів від 200 м до 450 м, довгі і стандартні рейки.

ABSTRACT

Makarov, Yu.O. Improving the interaction of rolling stock and railway track in conditions of a complex plan and profile. - Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

Dissertation for the Candidate of Technical Sciences degree in the specialty 05.22.07 – Rolling stock of railways and traction of trains. – N.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Dnipro, 2024.

The dissertation is devoted to solving the problem of improving the interaction of rolling stock with rail track in difficult operating conditions, which is achieved by embedding long rails along the length of the curve in three parts: the first transition (circular), the second transition (curves), and the introduction of a third body when interacting in the "rail-wheel" pair to reduce friction forces. We propose a track design for difficult operating conditions.

In the first section, we analyze the main problems of interaction of rolling stock with rail tracks in curved sections of track. The main reasons for intensive wear of the side face of rails and wheel ridges are given. We consider the influence of the track design features in difficult operating conditions on wear in the rail-wheel pair.

Previous studies of factors affecting the wear of rails and wheel ridges in curved sections of the track are analyzed. We define complex operating conditions. The effect of the joint on track disorders is considered separately.

In the second section, we study the influence of various factors on the wear of rails and wheel ridges of rolling stock in difficult operating conditions, namely, the influence of various fasteners on wooden and reinforced concrete sleepers, track width, increase in the outer thread of the curve, train weight, wheel and rail hardness, train driving modes, condition of cars and recommendations for choosing the optimal parameters of the corresponding indicators.

We analyze the wear resistance of the rail at the initial stage of "fitting" the rail track and rolling stock to the moment of optimal position of the "rail" and

"wheel" track width and reducing the intensity of lateral wear by reducing the weight of trains.

The work of rail fasteners of the SKD65-B (CKД65-Б) and KPP5-K (КПП5-К) types on reinforced concrete sleepers with track width adjustment up to 1,535 mm and proposals for the rail track design in difficult operating conditions are analyzed. Rail-sleeper grid with fasteners on reinforced concrete sleepers with smooth expansion removal in transition curves and stable track width in circular curves and rails that are laid on the length of transition and circular curves.

In the third section, the operation of mobile and stationary rail lubrication systems is analyzed. The results of experimental studies of various lubrication designs are also presented.

At the same time, the intensity of lateral wear of the lateral surfaces of the wheel crests and rail heads when lubricated by mobile rail greasers based on the VL11M locomotive is reduced by 2.17-2.33 times. Indicators of the intensity of lateral wear of rails and lateral surfaces of wheel ridges when using plunger-type rail greasers are reduced by 1.04 - 1.33 times.

In the fourth chapter, a well-known mathematical model is used [18, 20, 25, 28, 31, 32] and the results of mathematical modeling of the dynamic processes of the interaction of rail vehicles and the rail track in the spatial state of oscillations of the transport system are given, the mechanical indicators between their components are revealed, and the powers of friction forces at points are determined of mutual contact between the side surfaces of the rail heads and the rim of the wheels at different coefficients of friction between them in conditions of small radii of curvature with standard and long rails of 120 m.

We compare the dependence of dynamic vehicle load indicators on the speed of movement on a rail track with standard and long rails 120 m long.

The dependences of maximum values of wear indicators of the side surfaces of wheel heads and rail edges, such as the angle of the wheelset run on the outer rail of a curved track and the power of friction forces at the contact point in cases of curves with standard butt rails and rails 120 m long at speeds up to 80 km/h, are

established. At the same time, these wear indicators for extended rails are reduced by 10-20% relative to standard (butt) rails.

It is established that a decrease in the coefficient of friction in the range from 0.25 to 0.05 leads to an increase in the margin of stability from the descent of wheels of the undercarriage of moving vehicles from the rails of the wheel structure by 1.3-1.5 times.

Comparison of results of mathematical design and experimental data is conducted the mutual unambiguity of accordance is set between the considered clautype track, as by an object, and built mathematical model at the quantitative evaluation of certain parameters on the basis of comparing to the objective experimental data got in the real terms of exploitation. At a mathematical design it is got by means of the created mathematical model of mechanicprocesss of the system, that reduction of values of coefficients of friction from 0,25 to 0,05 results in the decline of indexes of wear of side accordingly in 3,5-4,5 times, and for with concrete lubricating options and modifiers reduction to the wear of heads of rails is set the results of experimental researches on the average in 1,89.

We analyze features of the design of continuous welded rails in the range of radii from 200-350 m, temperature modes of operation of rails in the specified radius ranges.

Economic calculations of the efficiency of implementing rail-ridge-lubrication units with software and payback periods are carried out. Suggestions are given for choosing the design of rail and ridge lubricants, depending on the operating conditions.

In the fifth section, we analyze characteristics and initial data of curved sections of the track that are in difficult operating conditions. According to the analysis, in curved sections with radii $R < 450$ m, it is concluded that almost 100% of transition curves and 90% of circular curves can be covered with rails up to 120 m long.

We compare long rails and buttless rails and determine the difference between them. We conclude that rails 120 m long should be considered long rails.

The analysis of requirements for rail fasteners in difficult operating conditions is carried out, namely, ensuring sufficient resistance to the longitudinal movement of the rail according to the requirements of [33] 25 – 30 kN/m and the standard pressure of rails to the base of at least 20 kN, as well as their compliance with the conditions of stability and strength of the rail track.

The proposed track design for difficult conditions on crushed stone ballast with a rail-sleeper grid on reinforced concrete sleepers with rails of P65, UIC60, P50 type 120 m long, which are laid in length in three parts: the first transition (circular), the second transition (curves connected by overlays with six holes on fasteners of SKD65-B (CKД65-Б) and KPP5-K (КПП-5-К) types), and calculations of the butt and longitudinal resistance of the rail on selected types of fasteners with overlays with six holes. The obtained values allow us to state that the selected structure has a sufficient margin of safety and stability and meets the standards of the railway track design.

Key words: wear of the side surface of wheel ridges and rail heads, service life, track plan and profile, with a range of radii from 200 m to 450 m, long and standard rails.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Основні праці:

1. Рибкін В.В., Настечик М.П., Арбузов М.А., Каленик К.Л., **Макаров Ю.О.**, Маркуль Р.В. / Дослідження впливу параметрів улаштування колії на інтенсивність бічного зношення головки рейки в кривих ділянках // Збірник наукових праць ДонІЗТ, 2013. – № 34. – С. – 155 – 162. – ISSN: 1993-5579 – (*Особисто здобувачем*: проведено аналіз залежності величини бічного зносу рейок від пропущеного тоннажу у кривих ділянках колії з різними діапазонами радіусів)
2. Говоруха В.В., **Макаров Ю.А.** / Исследования бокового износа рельсов при механическом взаимодействии пути и колес ходовой части вагонов на криволинейных участках пути // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. / ИГТМ НАН Украины. – Днепр, 2017. – № 134. – С. 125 – 140. – ISSN: 2309-6004 – (*Особисто здобувачем*: представлені результати комплексних обстежень зносу рейок при взаємодії рухомого складу та залізничної колії в різних умовах експлуатації)
3. Говоруха В.В., **Макаров Ю.А.**, Семидетная Л.П. / Повышение износостойкости и устойчивости пути криволинейных участков малых радиусов // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. / ИГТМ НАН Украины. – Днепр, 2018. – № 142. – С. 103–114. – ISSN: 1607-4556 – ISSN: 2309-6004 – DOI: 10.15407/geotm2018.142.103 – (*Особисто здобувачем*: проведено дослідження впливу різних типів скріплення на дерев'яних та залізобетонних шпалах на інтенсивність зносу у парі «колесо-рейка»)
4. **Макаров Ю.О.** / Проблеми наднормативного бокового зносу рейок на ділянках зі складними умовами експлуатації // «Залізничний транспорт України», 2019. – № 3. – С. – 39 – 45. – ISSN: 2311-4061 – DOI: 10.34029/2311-4061-2019-132-3-39-45 – (Google Scholar)
5. Говоруха В.В., **Макаров Ю.А.**, Кизилов В.К., Собко Т.П., Семидетная Л.П. / Исследование бокового износа головки рельса на криволинейных

- участках пути с особо малыми радиусами кривизны // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. / ИГТМ НАН Украины. – Днепр, 2019. – № 149, – С. 111–121. – ISSN: [1607-4556](#) – ISSN: [2309-6004](#) – DOI: [10.15407/geotm2019.149.111](#) – (Google Scholar) – *(Особисто здобувачем: проведено аналіз накопичення залишкових деформацій у стиковій зоні рейкової колії та їх вплив на інтенсивність бокового зносу рейок)*
6. Демченко С.М., **Макаров Ю.О.**, Татуревич А.А. / Проблеми застосування стаціонарних рейкозмащувальних пристроїв на залізницях АТ «Укрзалізниця» // «Залізничний транспорт України», 2020. – № 1. – С. 25 – 34. – ISSN: [2311-4061](#) – DOI: [10.34029/2311-4061-2020-134-1-25-34](#) – (Google Scholar) – *(Особисто здобувачем: проаналізовано роботу різних конструкцій стаціонарних колійних рейкозмащувачів, що експлуатуються на АТ «Укрзалізниця» та надано пропозиції, щодо сфери застосування конструкції рейкозмащувачів в залежності від умов експлуатації)*
7. Мямлін С.В., **Макаров Ю.О.**, Залеський Р.Ю. / Зменшення зносу пари "колесо-рейка" шляхом удосконалення технології лубрикації // Залізничний транспорт України. – 2022. – № 4. – С. 27 – 38. – ISSN: [2311-4061](#) – DOI: [10.34029/2311-4061-2022-145-4-27-38](#) – (Google Scholar) – *(Особисто здобувачем: представлено експлуатаційні показники пересувних та стаціонарних рейкозмащувачів різних конструкцій)*
8. Демченко С.М., **Макаров Ю.О.**, Татуревич А.А. / Вплив різних типів проміжних рейкових скріплень на інтенсивність зношування рейок на криволінійних ділянках колії // «Залізничний транспорт України», 2023. – № 1. – С. 27 – 33. – ISSN: [2311-4061](#) – DOI: [10.34029/2311-4061-2023-146-1-27-33](#) – (Google Scholar) – *(Особисто здобувачем: представлено аналіз сучасних пружних проміжних рейкових скріплень, які застосовуються для регулювання ширини колії та запропоновано раціональні сфери норм утримання ширини колії для зменшення зносу у контактуючій парі «колесо-рейка»)*

9. **Makarov, Y.**, Zaleskyi, R., & Mykhalichenko, M. / Influence of different factors on the value of the rail wear rate // Acta Technica Jaurinensis, 2024. – 17(1), 45 – 58. – DOI: [10.14513/actatechjaur.00735](https://doi.org/10.14513/actatechjaur.00735) (Scopus, Google Scholar, DOAJ, Index Copernicus) – (*Особисто здобувачем:* розглянуто вплив різноманітних факторів на значення величини зносу коліс рухомого складу та рейок та надано рекомендації щодо зменшення зносу)

Додаткові праці:

10. Novorukha V., Novorukha A., **Makarov Y.** / Research on the dynamic processes of vehicles and an arbitrary configuration rail track, influencing the side wear of the rail head and wheel flange contact surfaces at different values of friction coefficient between them // Ser.: Earth and Environmental Science – С. 01 – 19. – ISSN: [1755-1307](https://doi.org/10.1088/1755-1307) – ISSN: [1755-1315](https://doi.org/10.1088/1755-1315) – DOI: [10.1088/1755-1315/970/1/012029](https://doi.org/10.1088/1755-1315/970/1/012029) – (*Особисто здобувачем:* проведено оброблення натурних показників рейкової колії для проведення математичного моделювання при застосуванні стандартних і довгих рейок, аналіз результатів математичного моделювання)
11. Клочко Б.Г., **Макаров Ю.О.** / Застосування нових конструкцій верхньої будови колії на напрямках швидкісного руху поїздів // Проблеми взаємодії колії та рухомого складу: праці Міжнародної науково–практичної конференції, яка присвячена 100-річчю професора Мойсея Абрамовича Фрішмана, 19–20.09.2013. – Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2013. – с. 85 – 86. – УДК 625.03 – (*Особисто здобувачем:* проведено огляд сучасних проміжних рейкових скріплень, які застосовують на коліях АТ «Укрзалізниця»)
12. **Макаров Ю.О.** / Безопасность движения поездов – ключевая задача обеспечения перевозочного процесса // «Українські залізниці», 2014. – №7 (13). – с. 52 – 55.
13. **Макаров Ю.О.**, Гусак М.А., Панченко І.В. / Застосування нових конструкцій верхньої будови колії на напрямках швидкісного руху поїздів // Тези доповідей на 74 Міжнародної науково–практична

конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту», 15 – 16.05.2014 – Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2014. – 267–268 с. – УДК 656.2 – (Особисто здобувачем: проведено порівняння економічного ефекту від застосування різних типів проміжних рейкових скріплень на напрямках швидкісного руху поїздів)

14. **Макаров Ю.О.** / Восстановление наплавкой как эффективный метод продления жизненного цикла и повышения износостойкости элементов стрелочных переводов // «Українські залізниці», 2019. – №7 (73), – с. 7 – 11.

15. Говоруха В.В., **Макаров Ю.А.** / Повышение ресурса работы рельсового транспорта за счет уменьшения интенсивности бокового износа рельсов в кривых малых радиусов и стрелочных переводов // Сучасні технології розробки рудних родовищ. Екологоекономічні наслідки діяльності підприємств ГМК.36: IV Міжнародна науково-технічна конференція: 24 листопада 2017 р. – Кривий Ріг, 2017. – С. 63 – 64. – (Особисто здобувачем: надано пропозиції щодо підвищення ресурсу рухомого складу та залізничної колії за рахунок зниження зносу гребенів коліс, рейок та елементів стрілочних переводів).

ЗМІСТ

ВСТУП.....	16
1 АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ ЗНОСУ КОЛІС РУХОМОГО СКЛАДУ ТА РЕЙОК В СКЛАДНИХ УМОВАХ ПЛАНУ І ПРОФІЛЮ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ.....	24
1.1 Аналіз проведених досліджень зносу гребенів коліс та рейок у кривих ділянках колії.....	24
1.2 Аналіз геометричних нерівностей колії в стиковій зоні.....	31
1.3 Аналіз величини бокового зносу рейок в стиковій зоні.....	38
1.4 Висновки за розділом 1	45
2 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДОДАТКОВИХ ФАКТОРІВ НА ЗНОС ГРЕБЕНІВ КОЛІС РУХОМОГО СКЛАДУ ТА РЕЙОК У СКЛАДНИХ УМОВАХ ПЛАНУ І ПРОФІЛЮ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ.....	47
2.1 Дослідження впливу конструкції колії на інтенсивність бокового зносу в складних умовах плану і профілю залізничної колії.....	47
2.2 Вплив підвищення зовнішньої рейки на бічний знос.....	50
2.3 Вплив ширини колії та колісної ширини на бічний знос контактуючих поверхонь у кривих ділянках колії	51
2.4 Вплив ваги поїздів на бічний знос.....	54
2.5 Вплив режимів ведення поїздів та стану вагонів на бічний знос рейки	56
2.6 Порівняння факторів впливу на боковий знос гребенів колісних пар та рейок	58
2.7 Висновки за 2 розділом	59
3 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЛУБРИКАЦІЇ НА ЗМЕНШЕННЯ БОКОВОГО ЗНОСУ ГРЕБЕНІВ КОЛІСНИХ ПАР ТА РЕЙОК	62
3.1 Системи пересувних рейкозмащувачів.....	62
3.2 Системи стаціонарних рейкозмащувачів.....	67
3.3 Результати експериментальних досліджень змащувачів різних конструкцій.....	76
3.4 Економічні розрахунки ефективності впровадження рейко- гребне-змащувальних установок	79

3.5 Висновки за 3 розділом	83
4 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИЛ ВЗАЄМОДІЇ РУХОМОГО СКЛАДУ З КОЛІЄЮ ЗІ СТАНДАРТНИМИ РЕЙКАМИ ТА ДОВГИМИ РЕЙКАМИ.....	85
4.1 Основні положення при виборі та використанні розрахункової схеми математичної моделі динамічної системи «екіпаж-колія»	84
4.2 Система відліку координат та розрахункова схема системи «екіпаж-колія»	86
4.3 Результати математичного моделювання взаємодії рухомого складу та колії	94
4.4 Порівняння результатів математичного моделювання та експериментальних досліджень.....	99
4.5 Висновки за 4 розділом	104
5 ОБҐРУНТУВАННЯ ТА ВИБІР ДОВЖИНИ РЕЙОК ТА ТИПІВ СКРІПЛЕННЯ ДЛЯ ВКЛАДАННЯ У СКЛАДНИХ УМОВАХ ПЛАНУ І ПРОФІЛЮ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ.....	107
5.1 Обґрунтування та вибір рейок довжиною 120 м	107
5.2 Аналіз та обґрунтування рейкових скріплень у складних умовах плану і профілю залізничної колії.....	110
5.2.1 Робота колії на дерев'яних та залізобетонних шпалах.....	110
5.2.2. Вимоги до рейкових скріплень у складних умовах плану і профілю залізничної колії	116
5.3 Оцінка роботи запропонованої конструкції колії	118
5.4 Техніко-економічне порівняння конструкцій колії зі стандартними рейками та рейками довжиною 120 м	120
5.5 Висновки за розділом 5	127
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	130
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	132
ДОДАТКИ	142

ВСТУП

Актуальність теми. Залізничний транспорт України завжди виконував і продовжує виконувати вагомую роль в розвитку економіки, здійснюючи перевозку вантажів і пасажирів. Ефективність роботи всієї інфраструктури залізничного транспорту залежить від багатьох факторів, в тому числі від організаційних, нормативних, фінансових та науково-технічних.

На залізничному транспорті на протязі уже більше трьох десятиліть ведуться дискусії щодо проблеми зносу у системі «колесо-рейка».

З часом актуальність цієї проблеми не зменшується, а збільшується, оскільки за останні роки постійно зростає інтенсивність бокового зносу рейок і гребенів коліс рухомого складу (вагонів, локомотивів), особливо на ділянках зі складними умовами експлуатації.

Колісні пари локомотивів на гірських перевалах проходять обточку кожні 1-2 тижні, а заміна рейок відбувається через кожні 8-10 місяців експлуатації після пропуску 30-35 млн. т бруто тоннажу. На експлуатаційні розходи, які пов'язані з понаднормативним зносом гребенів коліс рухомого складу та бічних поверхонь рейок, а також на ремонти одиниць рухомого складу та заміну рейок витрачаються великі кошти.

На залізницях України по боковому зносу за дефектами 44.1-2 у 2024 році було вилучено 2357 рейок. Протягом останніх 10 років максимальна кількість рейок, що вилучалась за рік сягала 3400 шт, що у грошовому еквіваленті становить 726 млн 336 тис. грн. Також, на ділянках із складними умовами експлуатації зростає кількість дефектів контактно-втомного походження на поверхні кочення рейок за дефектами по рисунках 10, 11, 17, 18, що у сукупності зі зносом у парі «колесо-рейка» може бути причиною сходу рухомого складу з рейкової колії.

Колісні пари рухомого складу, рейки, деталі стрілочних переводів являються дорогими та масовими елементами, тому подовження їх життєвого циклу суттєво впливає на економічну ефективність всієї залізничної галузі. Таким чином, вирішення проблеми зменшення інтенсивності зносу гребенів

колісних пар рухомого складу та рейок, поліпшення динамічних показників взаємодії рухомого складу та рейкової колії, є запорукою безпеки руху у складних умовах плану і профілю залізничної колії і є важливою актуальною науково-прикладною задачею, що і вирішується в даній дисертаційній роботі.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота містить результати наукових досліджень автора, які виконувались відповідно до плану науково-дослідних робіт у Інституті геотехнічної механіки імені М.С. Полякова Національної академії наук України, за темою «Дослідження міцності та стійкості потенційно небезпечних технічних засобів в криволінійних ділянках рейкового транспорту при розробці родовищ твердих корисних копалин та експлуатації залізниць» (номер державної реєстрації 0119U001349), яка виконувалась за етапами - у 2019 році «Виявлення та класифікація факторів, що впливають на стійкість та міцність потенційно небезпечних технічних засобів в криволінійних ділянках рейкового транспорту», у 2020 році «Розробка математичних моделей процесів взаємодії скріплення, рейок та коліс ходової частини рухомого складу для визначення параметрів технічних засобів в криволінійних ділянках рейкового транспорту для усунення недоліків в діючих конструкціях». А також в дисертаційній роботі використані матеріали науково-дослідної роботи згідно плану філії «Центр діагностики залізничної інфраструктури» АТ «Укрзалізниця», за темою «Ефективність застосування стаціонарних і пересувних лубрикаторів для зменшення зносу рейок та коліс рухомого складу на залізничному транспорті» (номер державної реєстрації 0122U002127). По вказаним роботам автор є виконавцем та автором звітів.

Метою дисертаційної роботи є поліпшення показників динамічної взаємодії рухомого складу та колії і подовження ресурсу пари «колесо-рейка» для складних умов експлуатації залізничної колії. Для досягнення поставленої мети у роботі сформульовані та вирішені наступні задачі дослідження:

- провести аналіз факторів впливу на бічний знос гребенів коліс та рейок;

- сформулювати визначення складних умов плану і профілю залізничної колії для сучасних умов експлуатації;
- проаналізувати фактичні умови взаємодії рухомого складу та колії в складних умовах плану і профілю залізничної колії та провести аналіз причин інтенсивного бічного зносу гребенів коліс та рейок;
- визначити раціональну величину ширини колії, враховуючи особливості її утримання на дерев'яних та залізобетонних шпалах та відповідних типів проміжного рейкового скріплення;
- проаналізувати вплив стикових та інших вертикальних і горизонтальних нерівностей колії на характер зносу рейок в експлуатаційних умовах;
- провести розшифрування геометричних показників просторових нерівностей ланкової колії та колії з довгими рейками по довжині суміжних прямих, перехідних та кругової кривої для математичного моделювання взаємодії рухомого складу та залізничної колії з можливістю визначення зносу пари «колесо-рейка»;
- провести математичне моделювання взаємодії рухомого складу та ланкової колії із рейками стандартної та підвищеної довжини;
- провести експериментальні дослідження з визначення впливу різних факторів на знос коліс та рейок на ділянках із складними умовами експлуатації;
- провести порівняння результатів теоретичних та експериментальних досліджень з вибором конструктивних особливостей верхньої будови колії для складних умов плану і профілю залізничної колії та умови використання колійних рейкозмащувачів;
- обґрунтувати параметри довжини рейок та типів скріплення для вкладання у складних умовах плану і профілю залізничної колії для покращення динамічних показників та забезпечення безпеки руху;
- проаналізувати ефективність використання систем навісного та стаціонарного обладнання для змащування рейок;
- виконати техніко-економічне обґрунтування запропонованих

технічних та технологічних рішень.

Об'єкт дослідження – процес взаємодії рухомого складу і залізничної колії у складних умовах плану і профілю залізничної колії.

Предмет дослідження – знос коліс рухомого складу і рейок у складних умовах плану і профілю залізничної колії при взаємодії рухомого складу і рейкової колії.

Методи дослідження. В роботі використано комплексний підхід до вирішення поставлених задач, який базується на використанні методів аналізу та синтезу, при дослідженнях динамічних якостей показників вантажних вагонів і залізничної колії використано методи математичного та комп'ютерного моделювання, чисельного інтегрування, методах експериментальних досліджень роботи колії та коліс рухомого складу в складних умовах плану і профілю залізничної колії, методах математичної статистики при обробці результатів експериментальних досліджень, методах експертних оцінок при аналізі варіантів зменшення зносу пари «колесо рейка».

Наукова новизна одержаних результатів:

1. Вперше для умов складного плану і профілю встановлені закономірності показників зносу гребенів коліс і рейок в точці їх контакту під час руху у криволінійних ділянках колії нової конструкції, яка передбачає вкладання довгих рейок по довжині кривої трьома частинами: перша перехідна крива – кругова крива – друга перехідна крива, замість рейок стандартної довжини, що надає змогу скоротити кількість стиків по довжині кривої та зменшити рівень зносу контактуючих поверхонь колеса та рейки.

2. Набули подальшого розвитку критерії, щодо оцінки впливу різноманітних факторів на знос гребенів коліс рухомого складу та рейок у складних умовах плану і профілю залізничної колії, а саме - вплив різноманітних скріплень на дерев'яних та залізобетонних шпалах, підвищення зовнішньої нитки кривої, ваги поїздів, режимів ведення поїздів, стану вагонів, лубрикації, ширини колії і надано рекомендації щодо вибору раціональних параметрів відповідних показників.

3. Отримали подальший розвиток моделі й методи розрахунків взаємодії рухомого складу і колії при застосуванні ланкової колії зі стандартними рейками та колії з довгими рейками. Встановлено значне покращення динамічних показників якості при взаємодії рухомого складу з рейковою колією, показників стійкості і безпеки руху, при використанні довгих рейок на залізничному транспорті в складних умовах експлуатації.

Практичне значення одержаних результатів.

1. Застосування результатів досліджень дозволяє сприяти скороченню витрат на поточне утримання, коліс рухомого складу та ремонту колії, поліпшити технічний стан залізничних колій у складних умовах експлуатації та зменшити відмови по критичному зносу гребенів колісних пар, забезпечувати безпеку руху поїздів.

2. Результати досліджень дисертаційної роботи дозволили запропонувати конструктивні особливості колії у складних умовах плану і профілю залізничної колії у кривих радіусами менше 450 м з застосуванням довгих рейок, що покладено у основу запропонованої конструкції колії для складних умов плану і профілю залізничної колії з рейками типу Р65 довжиною 120 м на щебеневому баласті з рейко-шпальною решіткою на залізобетонних шпалах зі скріпленням типу СКД65-Б або КПП-5-К, які вкладаються по довжині кривої трьома частинами (перша перехідна крива—кругова крива—друга перехідна крива), які з'єднані між собою накладками з шістьма отворами. Вперше обґрунтовано застосування регулюючих типів скріплення на залізобетонних шпалах при радіусах не 300 м і менше, а 650 м і менше з відповідною шириною колії.

3. Одержані в дисертації результати можливо використовувати під час викладання дисциплін «Вагони магістрального та промислового транспорту і контейнери», «Ресурсозберігаючі технології», «Колійне господарство», «Улаштування і експлуатація залізниць», які викладаються студентам денної форми навчання за спеціальністю 273 «Залізничний транспорт», в курсовому і

дипломному проектуванні при підготовці фахівців за освітньою програмою «Залізничні споруди та колійне господарство».

4. Практичне впровадження результатів дисертаційної роботи підтверджено відповідними актами впровадження, наданими в додатках до дисертації.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій.

Всі наукові положення, висновки і рекомендації, одержані в дисертаційній роботі, є обґрунтованими і достовірними. Вони одержані на основі використання методів і прийомів наукових досліджень, які базуються на принципах системності і включають:

- комплексний підхід до вирішення проблеми зменшення інтенсивності бокового зносу рейок та гребенів колісних пар рухомого складу в складних умовах плану і профілю залізничної колії;
- використання відомих аналітичних методів теоретичної та будівельної механіки;
- моделювання роботи ланкової колії з рейками різної довжини з урахуванням конструктивних особливостей колії в складних умовах плану і профілю залізничної колії. Достовірність результатів підтверджується збіжністю теоретичних і експериментальних даних досліджень.

Особистий внесок здобувача полягає у визначенні і формулюванні мети, ідеї роботи, завдань досліджень і наукових положень, розробці та обґрунтуванні області застосування методів та методик дослідження, обробці та оцінці отриманих результатів, практичній реалізації і впровадженні результатів досліджень. Дисертаційне дослідження виконано особисто автором. Робота [12] підготовлено без співавторів, а у наукових працях, надрукованих у співавторстві, автору належить наступне: [14] – аналіз залежності величини бічного зносу рейок від пропущеного тоннажу у кривих ділянках колії з різними діапазонами радіусів; [39] – представлені результати комплексних обстежень бокового зносу рейок в різних умовах експлуатації;

[54] – аналіз дослідження інтенсивності зносу рейок при використанні різних типів скріплення на дерев'яних та залізобетонних шпалах; [55] – проведено аналіз накопичення залишкових деформацій у стиковій зоні рейкової колії та їх вплив на інтенсивність бокового зносу рейок; [29] – проаналізовано роботу різних конструкцій стаціонарних колійних рейкозмащувачів, що експлуатуються на АТ «Укрзалізниця» та надано пропозиції, щодо сфери застосування конструкції рейкозмащувачів в залежності від умов експлуатації; [45] – представлено експлуатаційні показники пересувних та стаціонарних рейкозмащувачів різних конструкцій; [4] – представлено аналіз сучасних пружних проміжних рейкових скріплень, які застосовуються для регулювання ширини колії; [19] – розглянуто вплив різноманітних факторів на значення величини зносу рейок; [18] – оброблення натурних показників рейкової колії для проведення математичного моделювання при застосуванні стандартних і довгих рейок; [50] – описано пропозиції щодо підвищення ресурсу рейкового транспорту за рахунок зниження зносу гребенів коліс, рейок та елементів стрілочних переводів.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати дисертації докладалися на: Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми взаємодії колії та рухомого складу», присвяченій 100-річчю професора Мойсея Абрамовича Фрішмана (м. Дніпропетровськ, 2013р.); 74-й Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту», (м. Дніпропетровськ, 2014 р.); секції «Будівництво, утримання та розвиток інфраструктури» Науково-технічної ради ПАТ «Укрзалізниця», (м. Київ, 2017 р.), XV конференції молодих вчених «Геотехнические проблемы разработки месторождений» (м. Дніпро, 2017 р.), секції «Будівництво, утримання та розвиток інфраструктури» Науково-технічної ради ПАТ «Укрзалізниця», (м. Київ, 2018 р.), засіданні стрілочної комісії Департаменту колії та споруд АТ «Укрзалізниця» та міжвідомчої комісії по рейках та рейкових скріпленнях (м. Дніпро, АТ «ДнСЗ», 2019 р.)

Дисертаційна робота доповідалася в повному обсязі і обговорювалася на

засіданні науково-технічної ради філії «Центр діагностики залізничної інфраструктури» АТ «Укрзалізниця» 18 лютого 2022 року.

Повністю дисертаційна робота доповідалася і обговорювалася в повному обсязі на засіданні наукового семінару відділу Геомеханічних основ технологій відкритої розробки родовищ ІГТМ НАН України 11 червня 2024 року. На засіданні міжкафедрального наукового семінару кафедр «Локомотиви та локомотивне господарство», «Вагони та вагонне господарство», «Транспортна інфраструктура» УДУНТ 5 листопада 2024 року.

Публікації. Основні результати дисертації опубліковано в 15 наукових працях: серед яких 8 статей в фахових наукових журналах [1-8], одна стаття [9] опублікована у науковому виданні, що індексується у міжнародних наукометричних базах даних Google Scholar, Index Copernicus International (ICI), каталог журналів відкритого доступу (DOAJ), 2 додаткові роботи [12, 14], 4 тези доповідей та матеріали конференцій [10, 11, 13, 15], без співавторів опубліковано 3 статті [4, 12, 14].

Структура дисертації. Дисертація складається зі вступу, 5 розділів, висновків та переліку використаних літературних джерел із 68 найменувань на 9 сторінках; містить 141 сторінок машинописного тексту, в тому числі 38 рисунків, 15 таблиць і 4 додатки на 30 сторінках; загальний обсяг – 172 сторінок.

1 АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ ЗНОСУ РЕЙОК В СКЛАДНИХ УМОВАХ ПЛАНУ І ПРОФІЛЮ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ

1.1 Аналіз проведених досліджень зносу гребенів коліс та рейок у кривих ділянках колії

Проблема бокового зносу рейок залізничної колії та гребенів коліс рухомого складу привертала до себе увагу з самого початку виникнення залізниць. Особливості взаємодії колії та рухомого складу формують умови контакту колеса та рейки, а знос є результатом такої взаємодії.

Вагомий внесок у розвиток досліджень в галузі взаємодії рухомого складу та залізничної колії, а також шляхи у розв'язанні проблеми зниження інтенсивності зносу гребенів коліс і рейок внесли вчені Лазарян В. А., Фрішман М. А., Коротенко М. Л., Волошко Ю.Д., Рибкін В. В., Даніленко Е.І., Курган М. Б., Говоруха В. В., Бондаренко І. О., Курган Д. М., Данович В. Д., Патласов О. М., Настечик М. П., Арбузов М. А., Потапов Д.О., Губар О. В., Науменко Н.Ю., а також вчені, які займалися розв'язанням цієї проблеми у локомотивному та вагонному господарстві - Блохин Є. П., Боднар Б.Є., Мямлін С. В., Савчук О.М., Босов А. А., Гетьман Г. К., Афанасов А. М., Ткаченко В. П., Ушкалов В. Ф., Радченко Н. А., Богомаз Г.І., Маркова О.М., Мокрій Т. Ф., а також зарубіжні вчені А. Віккенс, В. Гарг, Р. Жолі, І. Калкер, В. Кік, О. Креттек, Ф. Картер, Ф. Фредер, У. Дж. Харісс, Дж. Ландарен, Х. Торне, В. Еберсен, І. Зоборі, А. Худзікевич та інші.

Перші відомі публікації, які присвячені проблемі зносу рейок датовані кінцем ХІХ сторіччя [1]. Особливо гостро проблема зносу рейок і гребенів колісних пар привернула до себе увагу вчених у середині ХХ століття, це було пов'язано з переходом з паровозної на електровозну та тепловозну тягу. При переході було зменшено відстань між візками, що здавалося на думку вчених зменшить знос у контактуючій парі, але як виявилось на практиці це не підтвердилося. Дана проблема розглядалась на Міжнародному конгресі у 1953

році і на ньому було названо близько 17 можливих причин інтенсивного зносу [2].

Також причинами з якими пов'язують інтенсивний знос колісних пар і рейок було перехід з колії шириною 1524 мм на колію 1520 мм у 70 роках ХХ століття. Метою даного впровадження було зменшення зазору між гребнем колеса і бічною гранню рейки при амплітудних коливаннях вагона у горизонтальній площині [3], але зменшення ширини колії у криволінійних ділянках призвело до інтенсивного зносу у контактуючій парі «колесо-рейка». При взаємодії рухомого складу та залізничної колії виникають інтенсивні поперечні динамічні сили, які в криволінійних ділянках мають підвищені значення. При цьому збільшений рівень динамічних навантажень є однією з основних причин зростання інтенсивності зносу рейок, реборд коліс рухомого складу, елементів проміжних рейкових скріплень, а також зсуву рейко-шпальної решітки. Це призводить до зниження терміну служби елементів верхньої будови колії та погіршенню показників безпеки руху поїздів на швидкісних магістралях, особливо у складних умовах плану і профілю залізничної колії [4].

Наступною причиною виникнення інтенсивного зносу коліс рухомого складу та рейок пов'язують з переходом на інший профіль головки рейки у 1979 році, зі зміною радіусу викружки з 13 мм на 15 мм головки рейки [5]. Таке збільшення призвело до двоточкового контакту колеса з рейкою, що сприяло боковому зносу рейок і підрізу гребеня колеса в кривих ділянках колії, під час періоду припрацювання колісної пари з рейками. Особливо це стосувалось криволінійних ділянок колії з бетонними шпалами, де в кривих ділянках починаючи з радіусу 300 м і більше відповідна ширина колії встановлювалась на початковому етапі експлуатації 1520 мм [6]. В період припрацювання відбувався інтенсивний обоюдний знос у парі «колесо – рейка».

В той же період (з 1970 по 1985 роки) на залізниці почали впроваджувати посиленні елементи верхньої будови колії, а саме рейки важкого типу Р65, Р75, залізобетонні шпали з встановленою шириною колії 1520 мм, проміжні

скріплення жорсткого типу, що призвело до збільшення горизонтальної жорсткості та більш інтенсивного зносу у парі «колесо-рейка» [7]. Залізобетонні шпали мали одну і ту ж ширину колії 1520 мм та укладалася в ділянки колії з радіусами від 300 м і більше. При укладанні залізобетонних шпал у радіуси 300 м – 450 м з шириною 1520 мм відбувався інтенсивний знос колеса та рейки, до моменту коли ширина колії починала відповідати нормам утримання колії на дерев'яних шпалах, а саме при радіусах 650 м – 450 м – 1530 мм, 450 м – 300 м – 1535 мм і R менше 300 м – 1540 мм [4].

Перехід з підшипників ковзання з відкритими буксами на підшипники кочення, який відбувався у період з 1970 по 1985 рр. пов'язують з причинами виникнення інтенсивного зносу коліс рухомого складу та рейок. Дане впровадження призвело до збільшення кута набігання колісної пари на бокову грань зовнішньої нитки та відсутності природнього змащування колеса та рейки у кривих ділянках колії [8]. Мاستило з підшипників ковзання потрапляло в колію, в місце контакту гребеня колеса і бічної грані, що зменшувало знос, як коліс так і рейок. При відсутності природнього змащення, виникало сухе тертя в зоні контакту колеса та рейки, що було додатковим джерелом зносу.

Тому шляхи для вирішення проблеми зносу колісних пар та рейок залежать від фізико-механічних властивостей контактуючих поверхонь, конструкції верхньої будови колії та конструктивних особливостей візків колісних пар, форми контактуючих поверхонь, які відповідають мінімальній динаміці при силовому контакті колеса та рейки. Зменшення кута набігання в умовах малих радіусів при проходженні рухомим складом кривих ділянок колії, зменшення кількості стиків для поліпшення показників динаміки при взаємодії рухомого складу та залізничної колії. Раціональні геометричні параметри залізничної колії, а саме підвищення зовнішньої нитки, ширини колії в залежності від радіусу (відвід розширення у перехідних кривих), жорсткості взаємодіючих елементів. Зменшення сил тертя за рахунок введення третього тіла між контактуючими поверхнями гребеня колеса та бічною поверхнею рейки.

Дослідники визначили, що на знос рейок та коліс рухомого складу в кривих ділянках колії впливає багато факторів, серед яких: конструкція верхньої будови колії, осьові навантаження від рухомого складу, ухили поздовжнього профілю, радіуси кривих, норми улаштування та допуски утримання колії та рухомого складу, режими ведення поїздів, технічний стан вагонів і колії, швидкість руху, твердість колеса та рейки.

На сьогодні в рейках, які загартовані по поверхні кочення та бічним граням змінились контури та глибина загартованого шару. В рейках, які загартовані по поверхні кочення глибина загартовування складає до 10 мм [9]; в рейках, загартованих по поверхні кочення та бічним граням – до 13 мм; в рейках підвищеної міцності – до 15 мм по всьому контуру та бічним граням [10].

На регіональних філіях АТ «Укрзалізниця» вкладені рейки, які мають середню твердість по всьому профілю до 320 НВ та рейки підвищеної міцності – до 350 НВ. При цьому твердість колеса становить 285 НВ.

Для досягнення мінімального зносу колеса та рейки твердість двох взаємодіючих поверхонь має велике значення. Знаходження раціональних показників співвідношення твердості контактуючих поверхонь рейкової сталі та коліс рухомого складу, хімічного складу, мікроструктури, шорсткості [11] суттєво впливає на знос у парі «рейка-колесо».

За результатами досліджень [11] співвідношення твердості контактуючих поверхонь колісних пар та контактних поверхонь рейок (твердість НВ коліс / твердість НВ рейок) повинно складати 0,91 / 0,97. В процесі експлуатації фізичні показники двох контактних поверхонь зміцнюються та можуть мати інші показники твердості, але в нових елементах рейок та колісних пар, це співвідношення повинно виконуватися. При інших значеннях вказаного співвідношення твердості контактуючих поверхонь, гребінь колеса рухомого складу фактично виявляється різакom для бокової грані рейки.

Проаналізуємо перехід ширини колії з 1524 мм на 1520 мм. За дослідженнями [12] було встановлено, що ширина колії на процес зношення не впливає. Це підтверджують експериментальні дані [13], де після проведення теоретичних та експериментальних досліджень встановлено, що ширина колії 1520 мм не чинить суттєвого впливу на бокове зношення (не більше ніж 10%). Але дане твердження має підґрунтя, якщо ширина колії влаштовується відповідно до радіусу кривої. Особливо це стосується кривих ділянок колії з радіусом менше 650 м. Інтенсивний знос контактуючої пари відбувається при так званому «припрацюванні», в період напрацювання 10 – 20 млн. т. бр. пропущеного тону [12].

Особлива увага, яка обґрунтовувалась авторами у наукових роботах, приділялась визначенню впливу підвищення зовнішньої рейкової нитки на інтенсивність зношення рейок в кривих ділянках колії.

В своїх працях позитивний вплив на зменшення бокового зносу рейок за рахунок надлишкового підвищення зовнішньої рейки відносно інструктивних розрахункових величин обґрунтували П. Г. Козійчук, М. А. Фрішман, О. Н. Ускова, С. А. Линева, М. С. Яхов. [14].

До факторів, що визначають знос, М. А. Фрішман, відносить план і профіль залізничної колії, особливо, у кривих малого радіусу, де взаємодія рухомого складу та залізничної колії обумовлюється підвищеним рівнем бокових і направляючих сил, яка супроводжується високим ступенем розладів рейкової колії. [15].

За думкою вчених [16] причиною зносу у парі «колесо-рейка» є стан екіпажної часті рухомого складу, а саме положення вісей колісних пар у візку, знос підп'ятників, шкворня, скользунів, жорсткість комплектів ресорного підвішування, різниця діаметрів коліс колісної пари і ін., які приводять к збільшенню кута набігання колеса на рейку. За дослідженнями М.Б. Кургана [16] характер взаємодії рухомого складу та залізничної колії визначається багатьма факторами, найважливішими з яких є динамічні показники – які,

залежать від конструкції рухомого складу та трибологічні – силова взаємодія колеса та рейки, проскользування, стан поверхонь.

Протягом багатьох років колієвипробувальною лабораторією ДПТ під керівництвом М. А. Фрішмана проводились теоретичні та експериментальні дослідження впливу рухомого складу на колію при рекуперативному гальмуванні. Дослідження проводились на Львівській, Кавказькій, Південно-Уральській залізницях. В результатах досліджень на ділянках зі складними умовами експлуатації були отримані залежності зносу рейок від параметрів плану і профілю колії.

Вагоме значення у подоланні проблеми високої інтенсивності зносу рейок і гребенів коліс мають конструктивні рішення, які сприяють зменшенню величин направляючих сил та кутів набігання коліс в кривих. До таких конструктивних технічних рішень необхідно віднести розробку противідносних та протирозвантажувальних пристроїв, додаткових опор, міжвізкових пружних зв'язків, систем примусового вписування і т.д. [17].

Зменшення коефіцієнта тертя між гребнями бандажу колеса і боковою поверхнею рейки зовнішньої нитки [18] являється одним з основних факторів, що впливають на зменшення інтенсивності бічного зносу головки рейки та гребенів коліс. В даний час знайшли застосування різні методи рейкозмащування.

На сьогодні різнобічні теоретичні та експериментальні дослідження факторів, які визначають інтенсивність зношування гребенів коліс рухомого складу і рейок, проводять вчені Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Інституту геотехнічної механіки ім. Полякова НАН України, Інституту технічної механіки НАН України, Українського державного університету залізничного транспорту, фахівці Колієобстежувальної станції ПС-1 філії «Центр діагностики залізничної інфраструктури» АТ «Укрзалізниця» [19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26].

Для вирішення даної проблеми у січні 2018 року на АТ «Укрзалізниця» була створена Робоча група з вивчення причин виникнення наднормативного

знос рейок та бандажів колісних пар та впливу рухомого складу на залізничні рейки і елементи стрілочних переводів.

Основні питання, які розглядаються вченими, є вплив на інтенсивність бокового зносу рейок та гребенів колісних пар параметрів рейкової колії та екіпажу [24; 25; 26], відхилення від норм утримання [27], конструкції верхньої будови колії та типу скріплення [12]. Крім того, вирішуються задачі по визначенню точок контакту колісної пари і рейкової колії [28], досліджується вплив стаціонарних та пересувних гребнезмащувальних та рейкозмащувальних пристроїв на зменшення інтенсивності бокового зносу контактуючих поверхонь та зменшення енергозатрат на тягу поїздів [29].

У всіх приведених роботах приділяється увага зносу рейки та колісних пар по кривій не враховуючи конструктивних відмінностей ланкової та безстикової колії. А саме, дослідження в зоні стику рейок, як фактору інтенсивного зносу колісних пар та бокових поверхонь рейок, нажаль не була розглянута вченими детально. Доречно зазначити, що в стиковій зоні спостерігаються основні розладнання та несправності колії, в тому числі і максимальні значення зносу рейки, пошкодження коліс відбуваються в зоні стику рейок. Особливо, це стосується ланкової колії з застосуванням залізобетонних шпал в кривих ділянках зі складними умовами плану і профілю залізничної колії. Тому основною причиною надмірного зносу коліс рухомого складу та рейок в кривих ділянках зі складними умовами плану і профілю залізничної колії є стик і задача зменшення зносу у парі «колесо – рейка» у дисертаційній роботі вирішується за рахунок зменшення кількості стиків по всій довжині криволінійної ділянки.

На підставі аналізу наукових праць [21, 22, 23, 24, 25, 26, 12] можна визначити складні умови плану і профілю залізничної колії. До складних умов плану і профілю залізничної колії автор відносить такі ділянки колії:

- криві радіусом менше ніж 450 м та ділянки зі складовими та S-образними кривими радіусом менше 450 м без прямих вставок;

- лінії з ухилами більше ніж 15 ‰ на гірських перевалах магістральних ліній;
- на електрифікованих лініях ділянки, де є використання рекуперативного або реостатного гальмування в межах кривих радіусом менше 450 м з ухилами більше ніж 15 ‰;
- стрілочні вулиці з постійним пошертним напрямком руху вантажних поїздів;
- ділянки, де немає можливості їх переулаштування внаслідок великих будівельно-монтажних робіт і значних фінансових витрат, а саме: високі насипи та глибокі виїмки; ділянки з хворим земляним полотном;
- ділянки з баластною призмою засмічуваною вугіллям, рудою, мазутом, сіллю тощо; з вірогідними землетрусами, гірськими обвалами, сходами сніжних лавин, паводками; особливо на підходах до мостів, віадуків, де потребується збільшення перехідних кривих і відводу підвищення зовнішньої нитки кривих для впровадження швидкісного руху пасажирських поїздів;
- ланкові колії на залізобетонних шпалах, які вкладені на вищеперелічених ділянках.

1.2 Аналіз геометричних нерівностей колії в стиковій зоні

В кривих малого радіусу фактично кожний стик має локальні нерівності у горизонтальній та вертикальній площині. Розглянемо характерний приклад накопичення горизонтальних та вертикальних відхилень на ланковій колії в межах стику. Для цього проаналізуємо показники стрічки електронного колієвимірювача КВЛ-П.

За допомогою програми бортової автоматизованої системи (БАС) вагона-лабораторії КВЛ-П були розшифровано та проаналізовано дані трьох контрольних промірів (травень, червень, липень 2020 року) геометричних параметрів рейкової колії [19].

Розглянемо горизонтальні (рис. 1.1) та вертикальні (рис. 1.2) нерівності в зоні стику під навантаженням вагона-лабораторії КВЛ-П. На основі даних

розшифрування були побудовані графіки геометричних параметрів рейкової колії криволінійної ділянки перегону Лавочне – Бескид, непарного напрямку на 1629 км ПК2+16 – 1629 км ПК4+73.

Криволінійна ділянка колії знаходиться на підйомі 15,6 ‰. Радіус кривої $R = 274$ м. Колія експлуатується на залізобетонних шпалах Ш-1-1 з рейковим скріпленням типу СКД65-Б. Розшифрування геометричних параметрів рейкової колії проводилося з кроком 0,2 м.

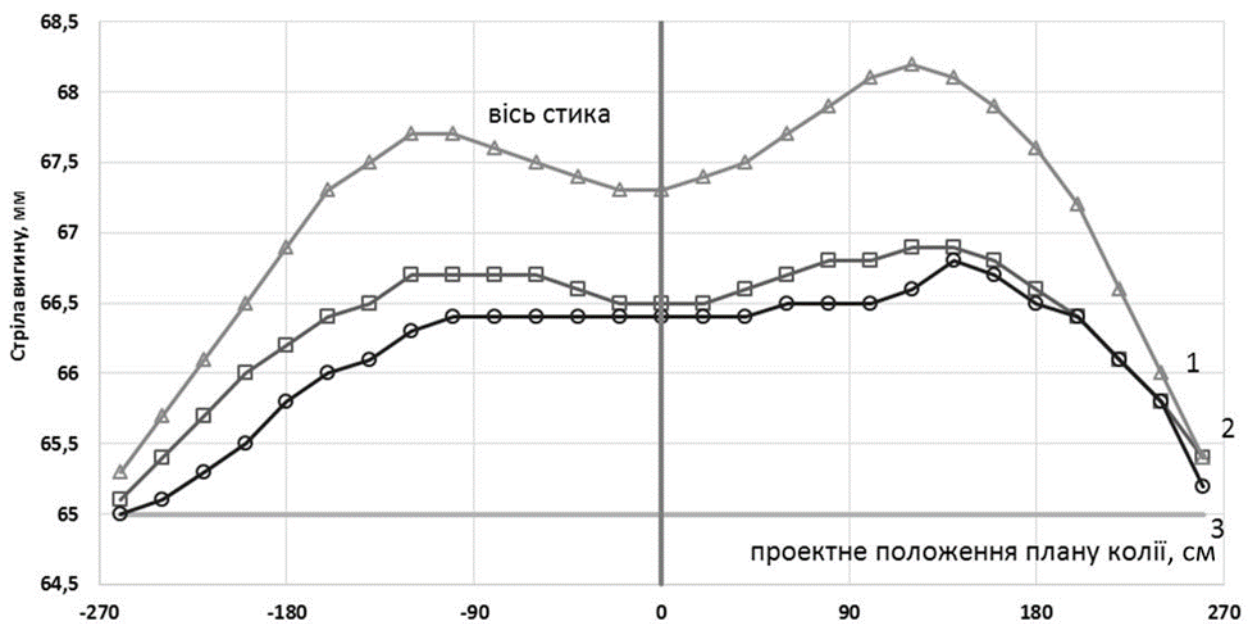


Рисунок 1.1 – Горизонтальні нерівності у плані в зоні стику

1 – пропущений тоннаж 31 млн. т брутто;

2 – пропущений тоннаж 26 млн. т брутто;

3 – пропущений тоннаж 20 млн. т брутто.

Стріли вигину при пропущеному тоннажі 20 млн. т брутто досягають значення – 1,7 мм; при 26 млн. т брутто – 1,9 мм; при 31 млн. т брутто – 3,2 мм.

Проаналізуємо величини вертикальних відхилень при накопиченні пропущеного вантажу в кривій малого радіусу $R = 274$ м, Лавочне – Бескид, непарна колія, 1629 км ПК8 – 1630 км ПК1, ухил підйому 30,8 ‰. Так при пропущеному тоннажі 20 млн. т брутто величина вертикального відхилення

становить 5,0 мм, при 26 млн. т брутто – 6,9 мм, при 31 млн. т брутто – 7,1 мм. Величини вертикальних відхилень зображені на рисунку 1.2.

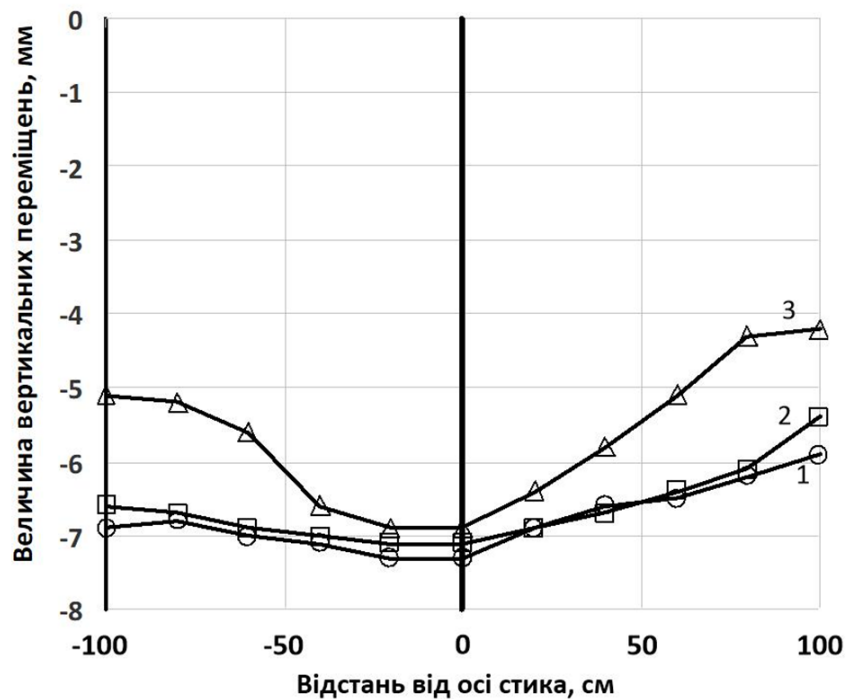


Рисунок 1.2 – Вертикальні нерівності у профілі в зоні стику

- 1 – пропущений тоннаж 20 млн. т брутто;
- 2 – пропущений тоннаж 26 млн. т брутто;
- 3 – пропущений тоннаж 31 млн. т брутто.

Розглянемо інший характерний приклад накопичення горизонтальних та вертикальних переміщень на ланковій колії в межах стику. Для цього проаналізуємо показники стрічки колієвимірювача КВЛ-П. (рис. 1.3.)

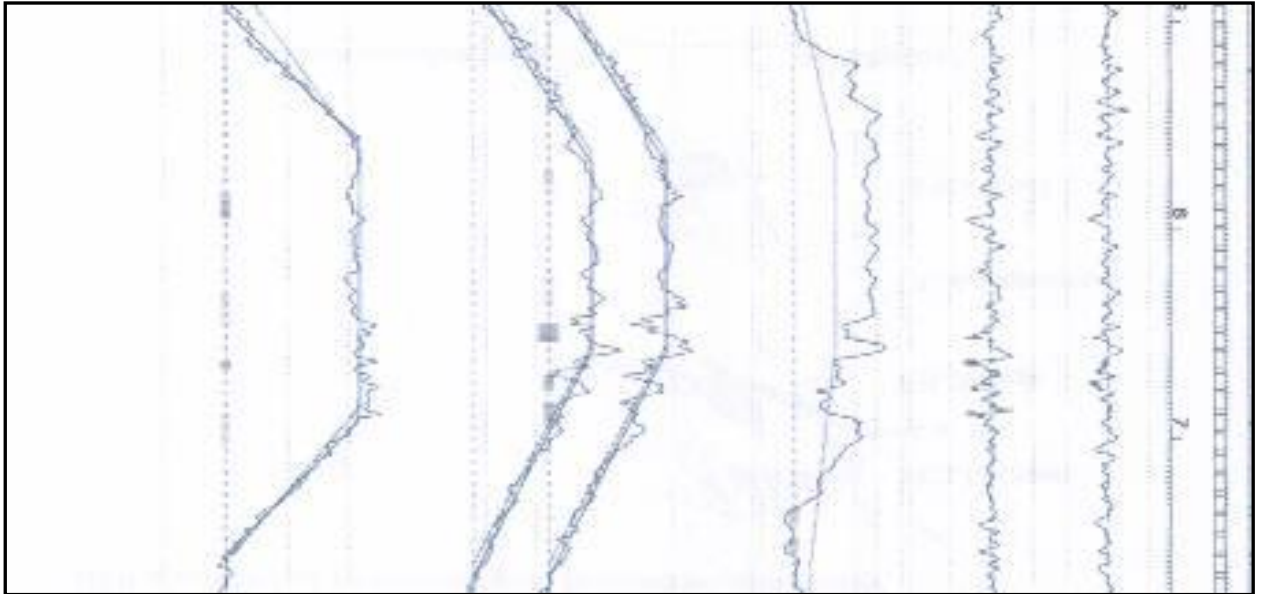


Рисунок 1.3 – Фрагмент колієвимірювальної стрічки ланкової колії у круговій кривій електронного колієвимірювача КВЛ-П

Для розшифрування стрічки застосуємо програму ПО БАС КВЛ-П (збірка 162), яка дозволяє розкласти значення – рівня, відхилення у плані колії, ширини колії, просадок з кроком 0,20 м.

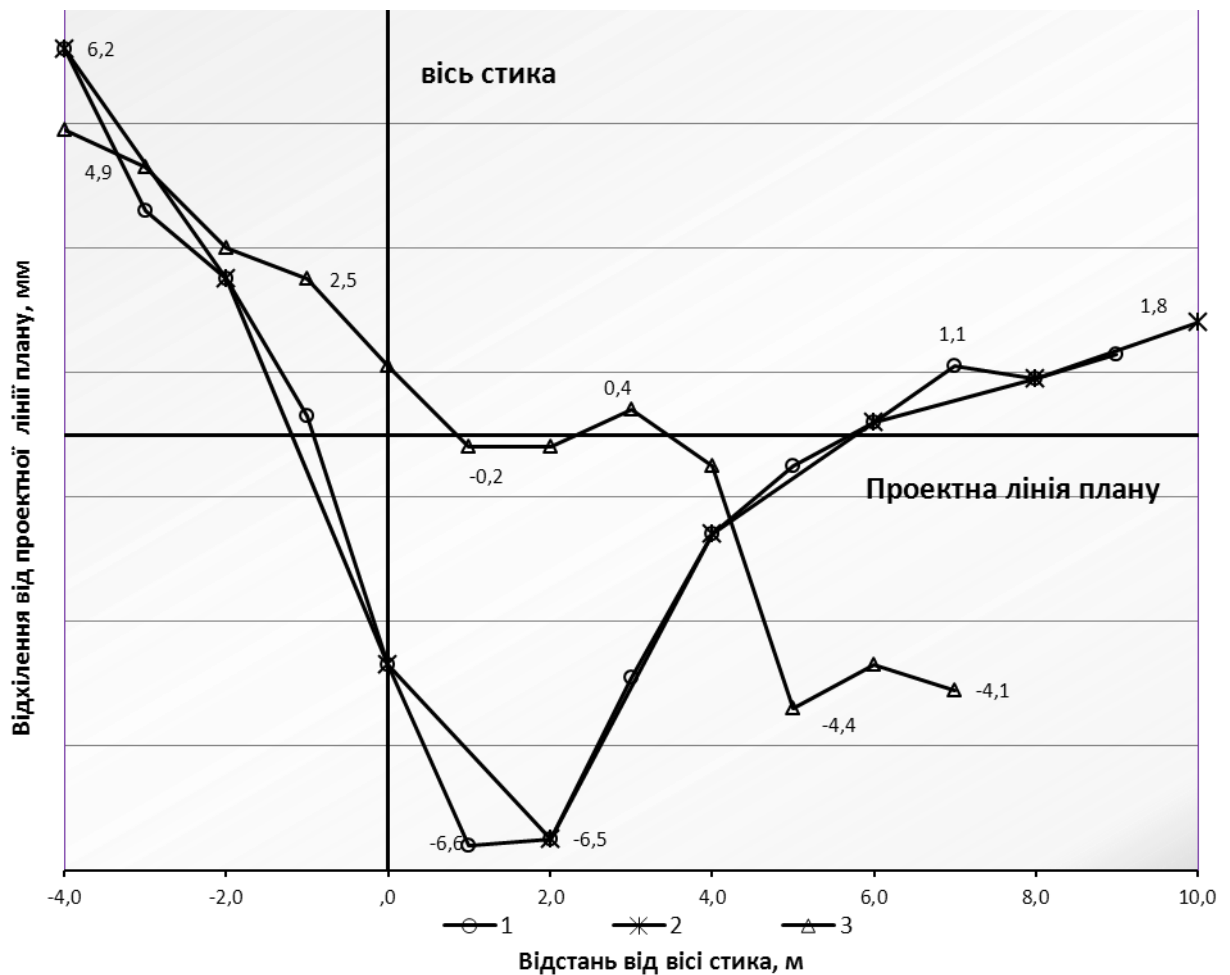


Рисунок 1.4 – Порівняння горизонтальних переміщень в стикі при різних показниках пропущеного вантажу

- 1 – пропущений тоннаж 31 млн. т брутто;
- 2 – пропущений тоннаж 26 млн. т брутто;
- 3 – пропущений тоннаж 20 млн. т брутто.

На рисунку 1.4 зображені накопичення відхилень в горизонтальній площині в зоні стика в кривій малого радіусу $R = 274$ м, Лавочне – Бескид, непарна колія, 1629 км ПК8 – 1630 км ПК1, ухил підйом 30,8‰. На графіку зображені фактичні лінії плану при різних показниках пропущеного тонуажу. Максимальна величина горизонтальних переміщень в стикі від проектної лінії, досягає значення – 6,6 мм при пропущеному тоннажі 31 млн. т брутто, різниця між точками максимальних відхилень у плані складає 12,8 мм (-6,6 мм; 6,2 мм)

По внутрішній нитці відхилення у точках з максимальним відхиленням при пропущеному тоннажі 31 млн. т бруто складає 11,7 мм (рис. 1.5)

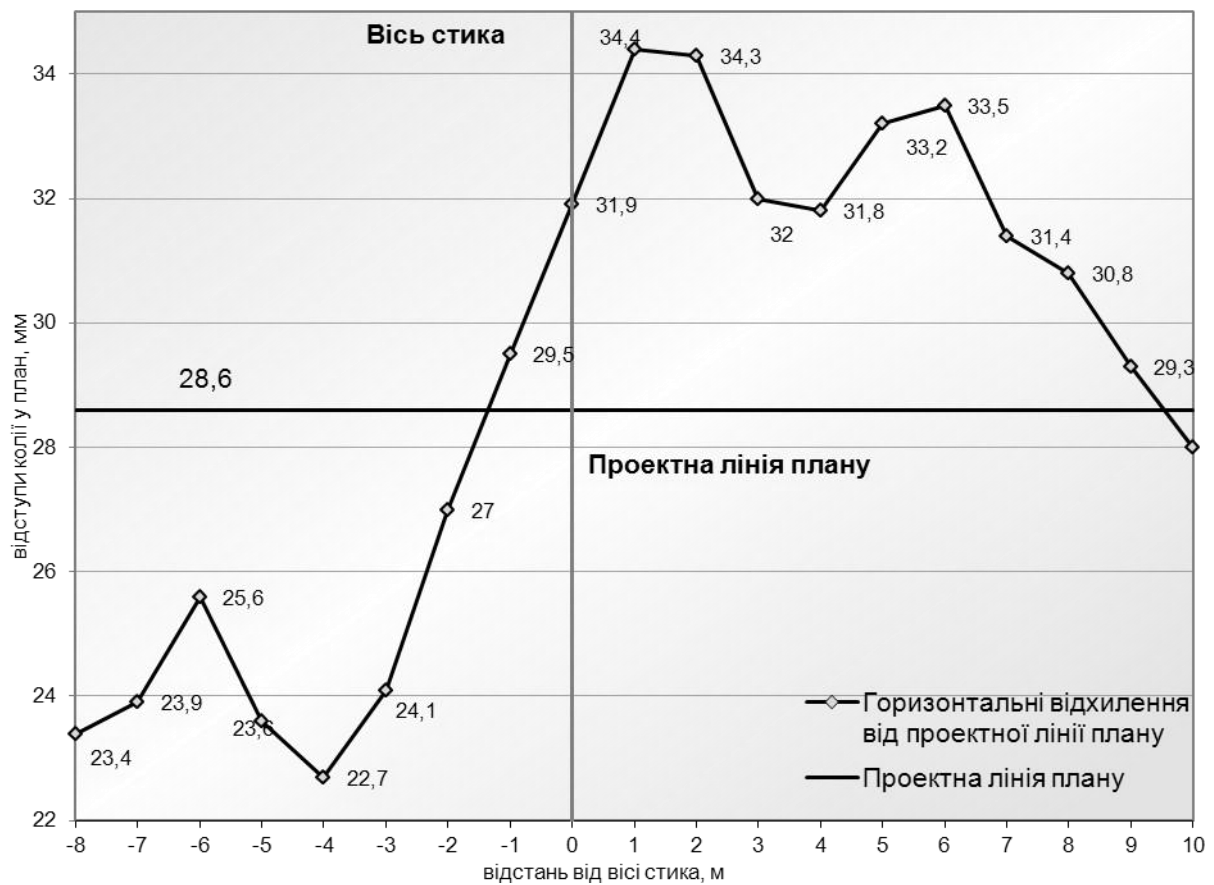


Рисунок 1.5 – Горизонтальні переміщення в стикі

Щоб порівняти нерівності в стикі з нерівностями позастикової зони, проаналізуємо величини горизонтальних переміщень безстикової колії.

На рисунку 1.6 зображено відхилення від проектної лінії плану колії в межах кругової кривої по результатам обробки чотирьох промірів колієвимірвача.

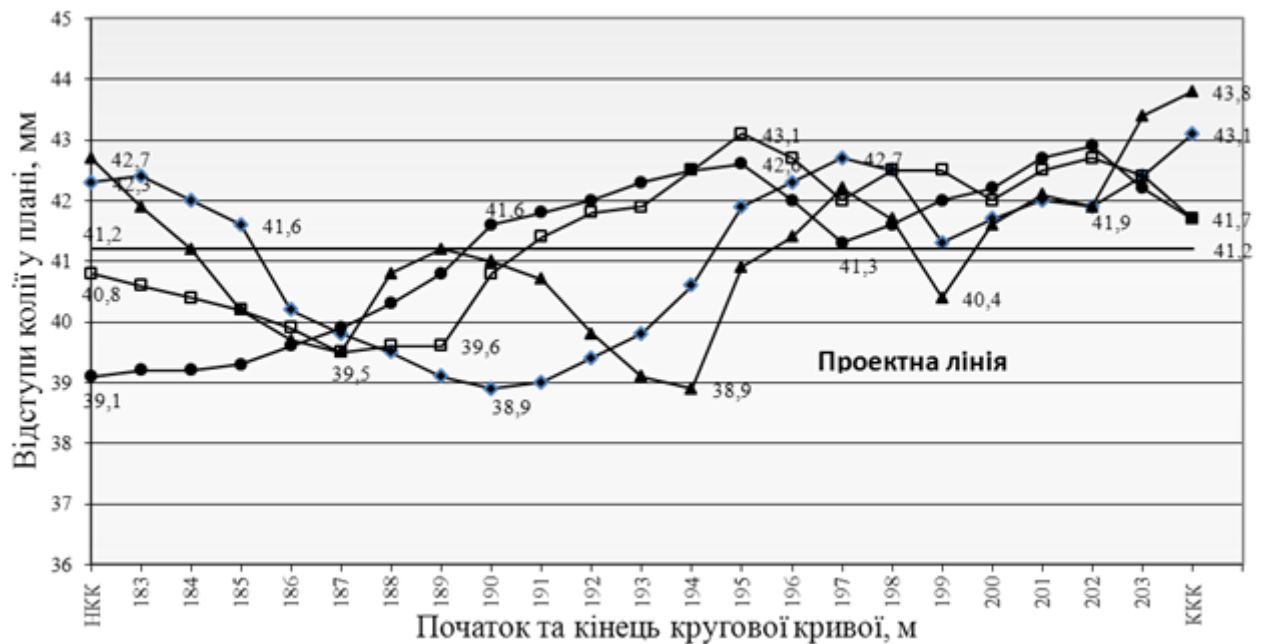


Рисунок 1.6 – Величина горизонтальних переміщень безстикової колії

На рисунку 1.6 зображені відхилення в горизонтальній площині в кривій безстикової колії. Горизонтальні відхилення рейкової пліти не перевищують 2,5 мм від проектної відмітки, максимальні значення відхилень у суміжних точка не перевищують 4 мм, що відчутно менше за стикову зону.

Отже, стики рейок є основним ударним збудником динамічної взаємодії рейкової колії та рухомого складу і, як наслідок, виникнення додаткових розладів колії, порушення плану і профілю рейкової колії. Інтенсивність накопичення вертикальних відхилень при максимальних значеннях просадки при пропущеному тонажі 31 млн. т брутто становить 0,19 мм/млн. т брутто. Інтенсивність накопичення горизонтальних відхилень при пропущеному тонажі 31 млн. т брутто у максимальних стрілах прогину становить 0,14 мм/млн. т брутто.

Особливо інтенсивно процеси динамічної взаємодії рухомої одиниці та рейкової колії відбуваються в кривих малого радіусу, що супроводжується розладами колії. Ці процеси ускладнюються великою вагою вантажних поїздів та ухилами повздовжнього профілю. При русі на підйом, або на ділянках

спусків при рекуперативному гальмуванні виникають у рухомому складі поздовжні стискаючі сили, поперечна складова цих сил направлена назовні кривої. Стик робить рух поїздів у кривих ділянках не стійким, що впливає на боковий знос.

1.3 Аналіз величини бокового зносу рейок в стиковій зоні

Розглянемо як формується накопичення бокового зносу рейок на ланковій та безстиковій коліях у перехідних та кругових кривих. На рис. 1.7 зображена величина бокового зносу на першій перехідній кривій ланкової колії за напрямком руху поїздів [19].



Рисунок 1.7 – Перша перехідна крива за напрямком руху поїздів на ланковій колії

Перехідна крива складається з 3-х рейок довжиною 25 м. На перехідній кривій спостерігається поступове накопичення величини бокового зносу рейок від 2 мм до 10 мм. Максимальне значення бокового зносу рейок знаходиться на межі перехідної та кругової кривої. Нерівномірний знос рейки спостерігається перед стиками та по за їх межами.

Розглянемо величину бокового зносу рейок в межах стику.

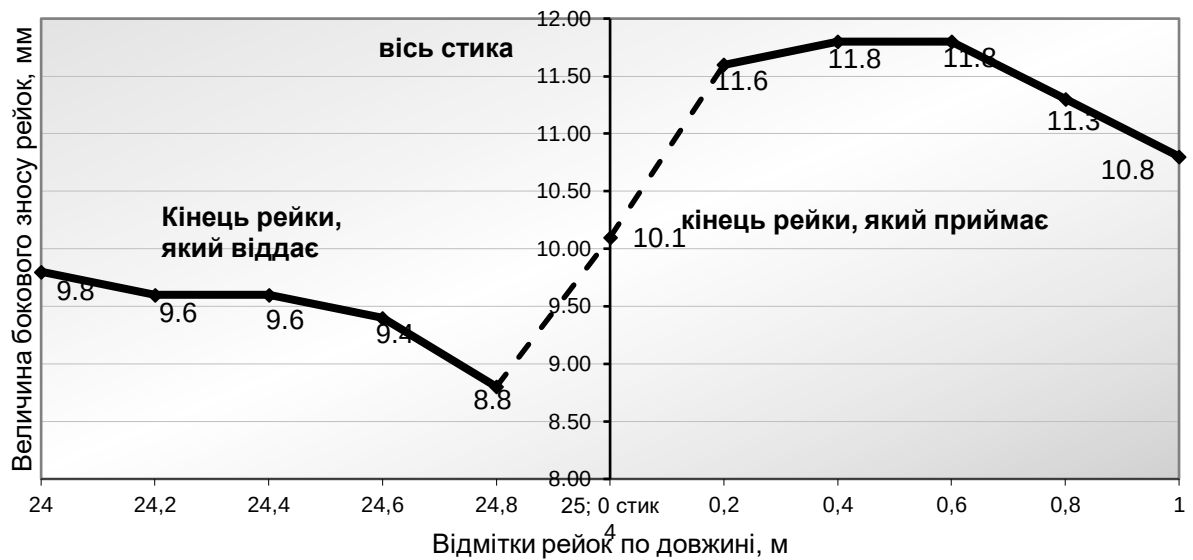


Рисунок 1.8 – Діаграма бокового зносу в стику №4 перехідної кривої

На рисунку 1.8 відображені фактичні значення бокового зносу рейки в межах стику на довжині 1 м в обидві сторони від вісь стику. Величина стикових зазорів відповідає нормам утримання табл. 2.7, 2.8 ЦП-0269 [6].

Максимальне значення бокового зносу рейки спостерігається на відстані 0,4-0,6 м зі сторони приймаючої рейки. Різниця між мінімальним та максимальним значенням зносу приймаючої та віддаючої рейки складає 3 мм (0,2 м – 8,8 мм; 0,4 м – 11,8 мм; 0,6 м – 11,8 мм).

Далі розглянемо значення бокового зносу в кругових кривих ланкової колії та місця найбільших відхилень, які спостерігаються у кругових кривих (рис. 1.9).

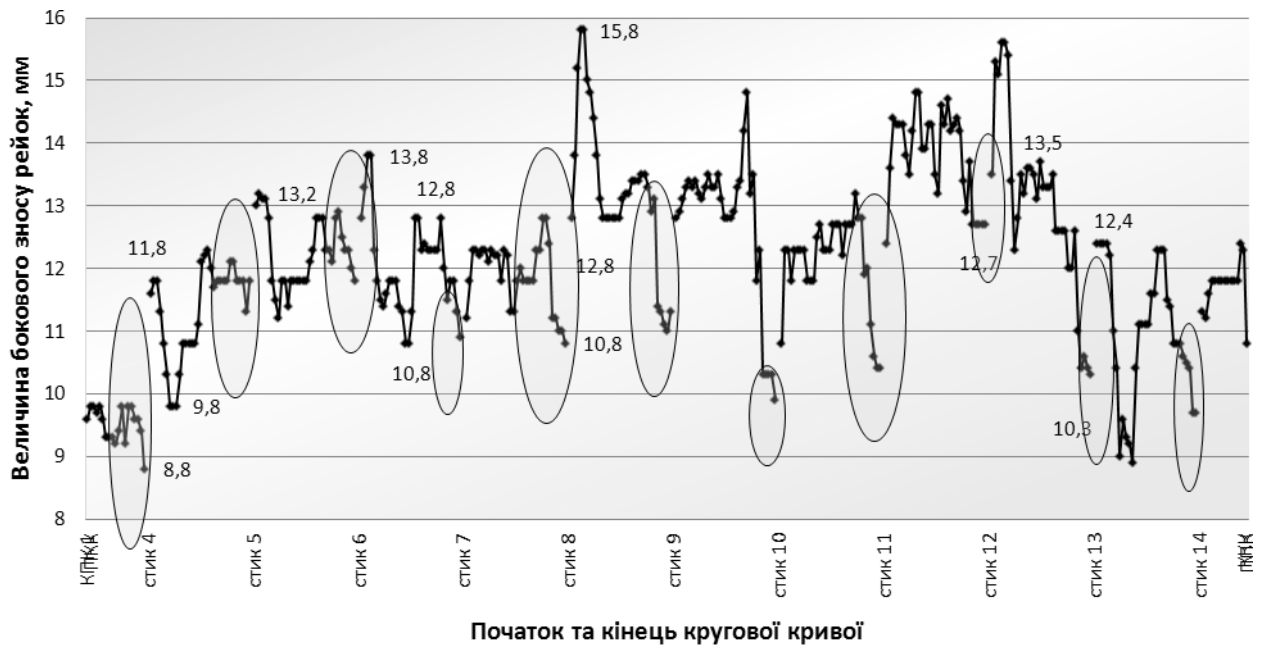


Рисунок 1.9 – Діаграма бокового зносу рейок у круговій кривій ланкової колії

Максимальні значення бокового зносу рейок у круговій кривій виникають на кінцях рейок, які є приймаючими за напрямком руху в межах 1 м. Розглянемо значення бокового зносу у стику 8 (рис. 1.10): в точці 24,8 м – 10,8 мм, на рейці, яка віддає, та в точках 0,8 м та 1,0 м – 15,8 мм на приймаючій рейці. Різниця між зносом рейок в межах одного метра складає до 5 мм.

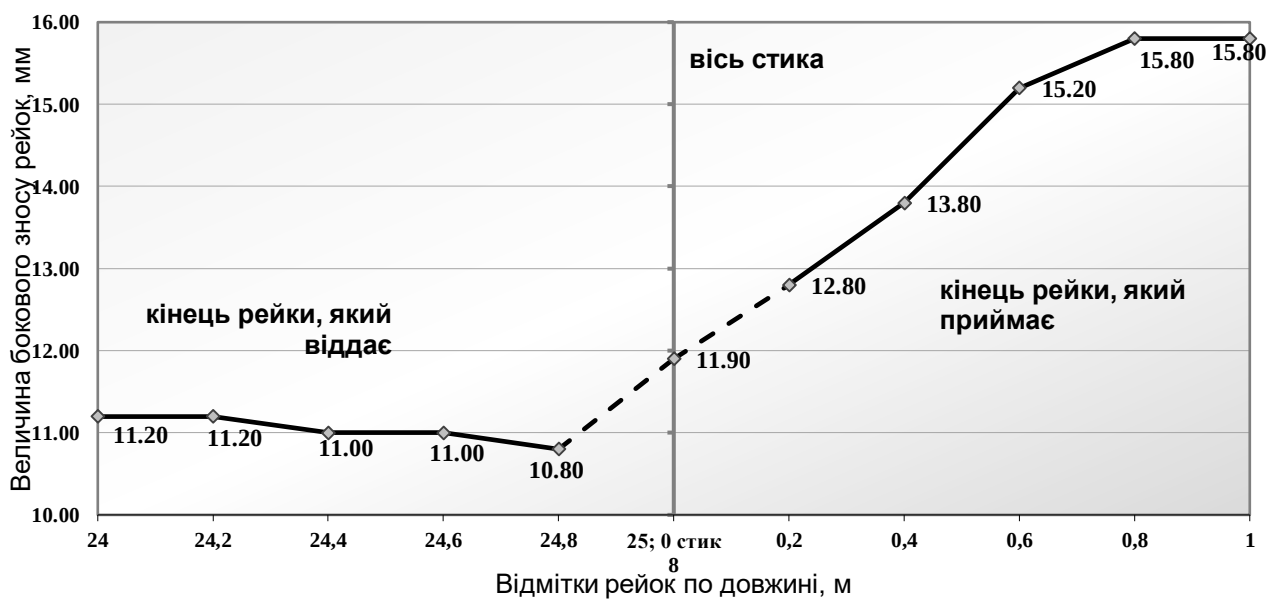


Рисунок 1.10 – Діаграма бокового зносу в стику № 8 кругової кривої

У круговій кривій ланкової колії знос рейок у стиках характеризується меншим зносом рейки, яка відає, та більшим зносом рейки, яка приймає колесо.

Знос рейок вимірювався у перехідних та кругових кривих у наступному порядку: на стиках через кожні 0,2 м з обох сторін на відстані 1 м від торця рейок, та через кожний метр по всій довжині кривої ділянки.

Розглянемо показники бокового зносу рейок у 2-й перехідній кривій за напрямком руху поїздів (рис.1.11, 1.12)

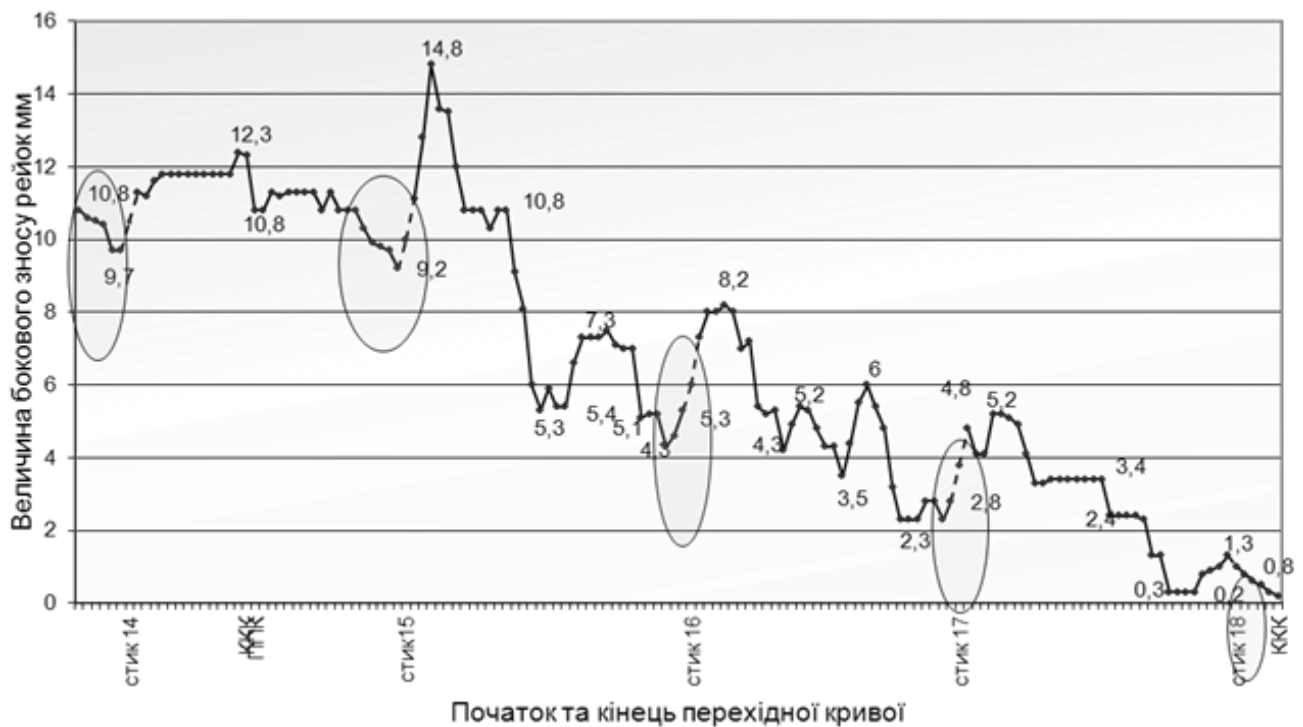


Рисунок 1.11 – Боковий знос рейок у 2-й перехідній кривій за напрямком руху поїздів

В 2-й перехідній кривій за напрямком руху поїздів боковий знос рейок зменшується від кругової кривої поступово зі збільшенням радіусу на виході із кривої ділянки. Також, спостерігається збільшений знос рейок на приймаючій рейці на відстані 1 м та 2 м від торця рейки.

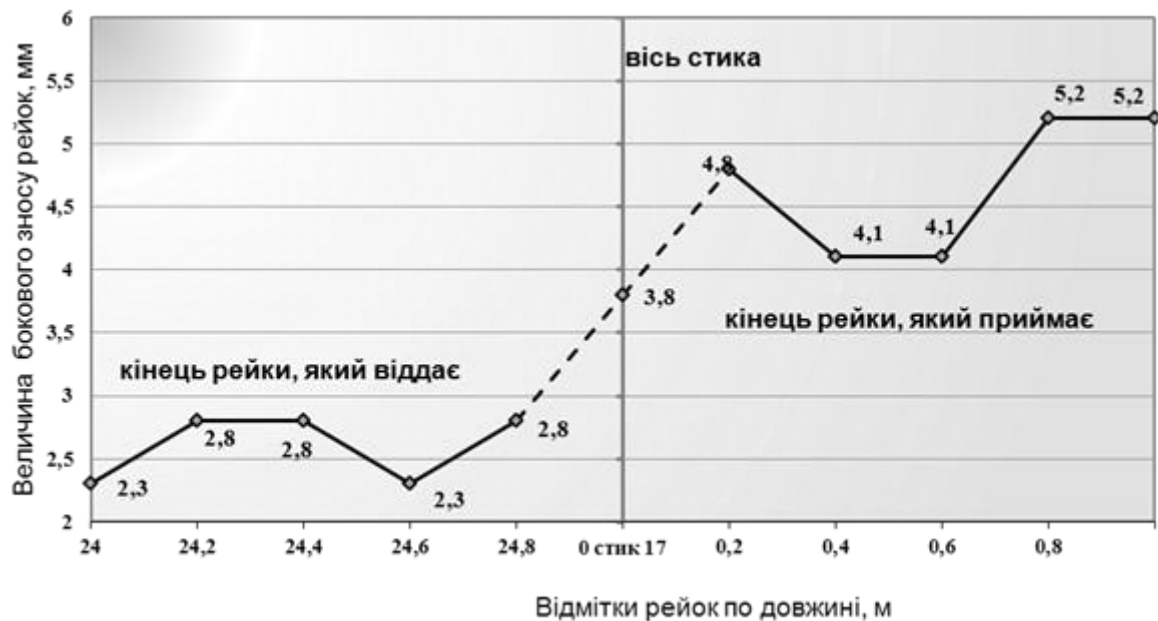


Рисунок 1.12 – Величина зносу рейок у стикі № 17 другої перехідної кривої за напрямком руху поїздів

Розглянемо особливості роботи безстикової колії в кривих малого радіусу у складних умовах плану і профілю залізничної колії.

У деяких країнах при укладанні безстикової колії в найбільш крутих кривих для збільшення його опору боковому зрушенню передбачаються додаткові пристрої, головним чином, у вигляді упорів, що закріплюються на шпалах. Причиною обмеження укладання безстикової колії є його менша стійкість в кривих малого радіусу.

Основна особливість роботи колії в кривих – наявність направляючих сил, які передаються колісною парою на елементи верхньої будови колії. Чим крутіша крива, тим важче відбувається вписування в неї рухомого складу, зростають бокові сили, направляючі сили, рамні сили. Велику роль відіграє відцентрова сила, що також зростає зі зменшенням радіуса кривої.

Безстикова колія застосовується в основному у кривих від $R > 350$ м і в прямих ділянках колії, і лише в окремих випадках у кривих $300 \text{ м} > R > 350 \text{ м}$. Основна причина цього – зниження стійкості безстикової колії зі зменшенням радіуса кривої. Втрата стійкості відбувається в період високих температур від нагрівання рейок та дії в них стискаючих сил, що дають на кожній

елементарній ділянці кривої рівнодіючі, спрямовані назовні кривої, тобто в бік можливого викиду.

Другою причиною обмеження укладання безстикової колії в кривих малого радіусу є збільшення динамічного впливу рухомого складу на колію зі зменшенням їх радіусу. Через значні динамічні напруження в рейках, їх міцність може бути недостатньою для сприйняття додаткових температурних напружень, величина яких може сягати більше 100 МПа.

Третя причина – підвищений боковий знос рейок в крутих кривих, внаслідок чого необхідно знімати безстикову пліть з колії раніше, ніж окупляться витрати на облаштування безстикової колії.

Для порівняння проаналізуємо формування та накопичення бокового зносу у перехідних та кругових кривих безстикової колії (рис. 1.13 - 1.15) [19].



Рисунок 1.13 – Боковий знос рейки у перехідній кривій безстикової колії

Розглянемо характер бокового зносу рейок в перехідній кривій безстикової колії. Боковий знос не має різких відхилень. Слід відмітити, плавне збільшення бокового зносу рейки та максимальне значення у межах переходу перехідної кривої в кругову, як спостерігалось і в перехідній кривій ланкової колії.

У першій перехідній кривій за напрямком руху поїздів значення зносу у суміжних точках не перевищує 2,0 мм. Коливання бокового зносу, які спостерігаються в перехідній кривій відбуваються кожні 15–20 м. Це можливо пояснити вписуванням візків колісних пар рухомого складу. Найбільші відхилення в суміжних точках бокового зносу припадає на кінець першої перехідної кривої по ходу руху поїздів.

Розглянемо показники бокового зносу рейок в круговій кривій безстикової колії.

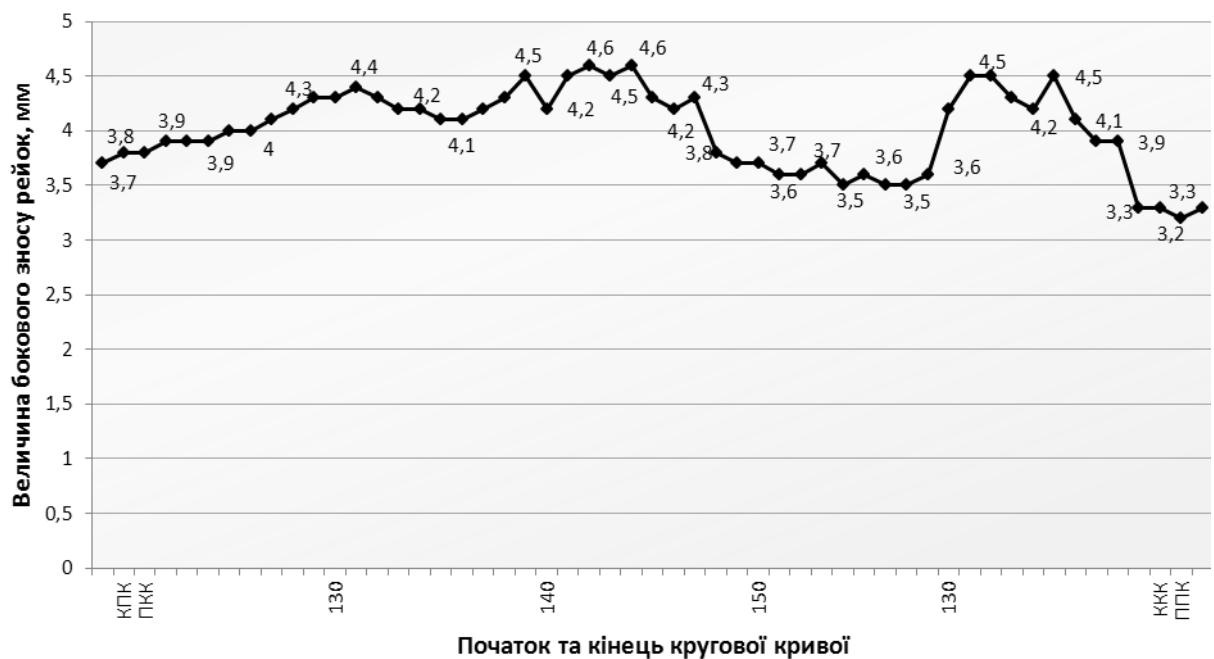


Рисунок 1.14 – Значення бокового зносу рейок у круговій кривій

Розглянемо показники бокового зносу рейок в другій за напрямком руху перехідній кривій безстикової колії.

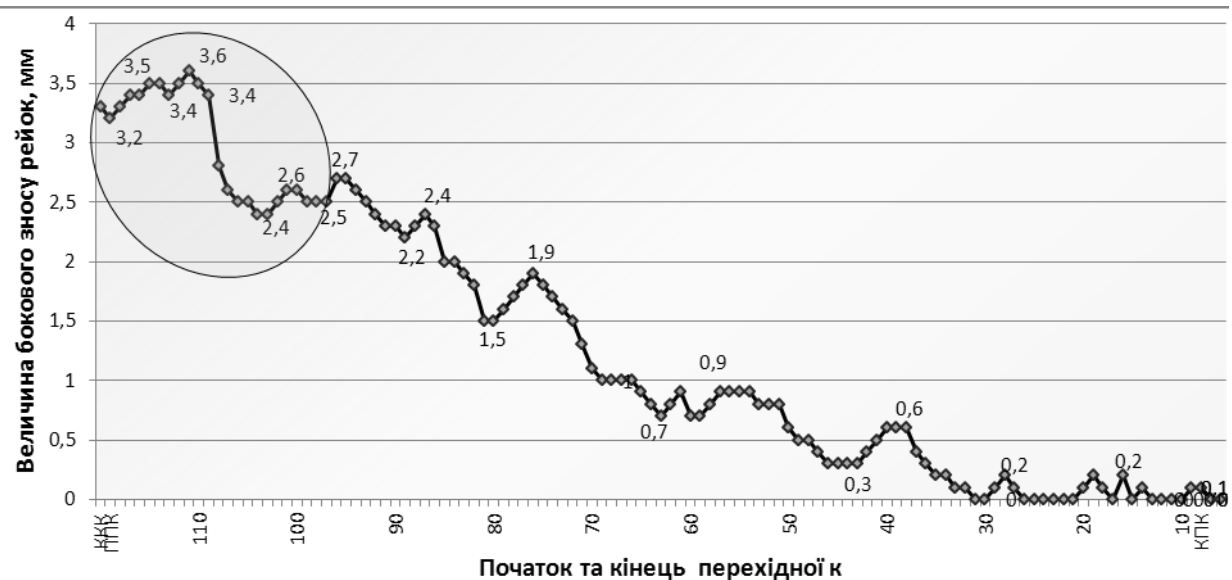


Рисунок 1.15 – Значення бокового зносу у перехідній кривій безстикової колії

Боковий знос виглядає більш плавним, однак слід відмітити, що скачок бокового зносу припадає на кінець перехідної кривої, як спостерігалось і в перехідній кривій ланкової колії.

Аналізуючи показники бокового зносу та його розташування по довжині рейки, можна зробити висновки, що в межах стику боковий знос є нерівномірний. Максимальні величини бокового зносу спостерігаються на приймаючій рейці на першому метрі, і далі 2 м, 3 м біля стику.

На безстиковій колії боковий знос має плавну лінію. Значення між двома критичними точками мають різницю не більше ніж 3,2 мм. Значення між двома критичними точками в круговій кривій на ланковій колії в стиках досягає 13,5 мм.

Отже, чим менше в кривих ділянках колії буде стиків тим, плавніше буде рух поїздів, і тим менші будуть значення стрибкоподібного зносу рейок.

1.4 Висновки за розділом 1

1. В першому розділі встановлено, що процес взаємодії колії та рухомого складу а також умов взаємодії розглядався багатьма вченими, але зона стику рейок, як фактору інтенсивного зносу у парі «колесо-рейка», залишалася поза увагою.

2. Стики рейок є основним ударним збудником динамічної взаємодії рейкової колії та рухомого складу і, як наслідок, виникнення додаткових розладів колії, порушення плану і профілю рейкової колії. Було порівняно характер та форму зносу рейок при ланковій та безстиковій конструкції колії. Встановлено, що в складних умовах плану і профілю залізничної колії основною причиною надмірного зносу є стик.

3. Встановлено, що в зоні стику рейки мають стрибкоподібний боковий знос по зовнішній нитці, величина якого в екстремальних точках сягає до 6 мм. У кривих ділянках ланкової колії боковий знос більш інтенсивний та нерівномірний по довжині рейок як в перехідних так і в кругових ділянках. Тому в кривих ділянках колії необхідно зменшити кількість стиків [19].

4. Сформульовано визначення складних умов плану і профілю залізничної колії. Визначено ключові характеристики сучасних складних умов, а саме: радіуси, ухили, та труднощі переобладнання, які пов'язані зі значними фінансовими витратами. Особливістю сучасних складних умов плану і профілю залізничної колії є використання залізобетонних шпал в ланковій колії та поява рейок з конверторної сталі.

5. Рішення проблеми зносу рейок і гребенів коліс повинно представляти собою комплекс взаємозв'язаних заходів, які охоплюють широке коло науково-дослідницьких та конструкторських напрямків, направлених на вирішення наступних задач:

- вивчення факторів бокового зносу рейок в сучасних складних умовах їх експлуатації з одночасним поглибленням існуючих здобутків науково-дослідних робіт;
- проведення математичного моделювання взаємодії колії та рухомого складу з урахуванням наявності ударів в стику;
- розробка пропозицій щодо зменшення кількості стиків в конструкції залізничної колії.

2 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДОДАТКОВИХ ФАКТОРІВ НА ЗНОС ГРЕБЕНІВ КОЛІС ТА РЕЙОК РУХОМОГО СКЛАДУ У СКЛАДНИХ УМОВАХ ПЛАНУ І ПРОФІЛЮ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ

2.1 Дослідження впливу конструкції колії на інтенсивність бокового зносу в складних умовах плану і профілю залізничної колії

Проходження залізничного екіпажу по кривій ділянці колії можливо розділити на три етапи: вхід в криву, рух по кривій постійного радіусу і вихід з кривої. Вхід в криву і вихід з неї супроводжується підвищеною динамікою, а рух в середній частині кривої можна вважати встановленим. Слід зазначити, що останнє твердження більш справедливо для руху екіпажу в крутих кривих при відсутності значних нерівностей [34]. Величина радіусу, при якій відбувається перехід від встановленого руху до руху з підвищеною динамікою, залежить від конструкції екіпажу [35].

Як зазначалося раніше, складні умови плану і профілю залізничної колії передбачають собою сукупність ознак. Наприклад, криві радіусом 450 м і менше з великими ухилами на підйомах та спусках. Особливістю цих ділянок є неможливість перебудувати їх під менш складні умови плану і профілю залізничної колії без значних обсягів будівельно-монтажних робіт та великих фінансових витрат.

Розглянемо конструктивні особливості колії у складних умовах плану і профілю залізничної колії у кривих радіусом $R < 450$ м.

При роздільних скріпленнях КБ, СКД, КПП на залізобетонних шпалах безстикова колія укладається у кривих ділянках радіусом не менше ніж 350 м, а також при наявності техніко-економічного обґрунтування в кривих радіусом 300 м – 350 м з урахуванням інтенсивності бокового зносу голівки рейки і збільшення ширини колії [33]. В кривих радіусами $R < 300$ м застосовується ланкова колія.

В якості підрейкових опор використовуються дерев'яні, металеві та залізобетонні шпали і плити. Переважно використовують рейки стандартної

довжини: нормальні 25 м і вкорочені 24,92 м, 24,84 м, а також, половинної довжини: нормальні 12,5 м і вкорочені до них 12,46 м, 12,42 м, 12,38 м.

На дерев'яних шпалах застосовуються типи скріплень: Д0, Д2, КППД-2, СКД65-Д, СКД65-Дм. На залізобетонних шпалах застосовуються типи скріплень: КБ-65, КПП-5, СКД65-Б, КПП-5-К.

На скріпленнях типу Д0, Д2, КППД-2, КБ-65, КПП-5 можливості для регулювання ширини колії немає, окрім зняття прикріплюючих елементів при перешиванні колії за шаблоном на дерев'яних шпалах.

При укладанні в колію скріплення типу КБ-65, КПП-5 на залізобетонних шпалах, які не мають можливості регулювання за шириною колії, на початок експлуатації ширина колії складає 1520 мм, що ускладнює вписування рухомого складу в кривих ділянках колії з малими радіусами.

Скріплення типу СКД65-Д СКД65-Дм, СКД65-Б, КПП-5-К забезпечують регулювання ширини колії до 1535 мм.

Скріплення СКД65-Б забезпечує плавний відвід розширення колії за рахунок регулюючих пластин та розвороту підкладки. Сумарна величина відхилень ширини колії скріплень типу СКД65-Д СКД65-Дм складає, по одній нитці – 7 мм, по двом – 14 мм; скріплення типу СКД65-Б по одній нитці – 14 мм, по двом – 28 мм.

За допомогою скріплення типу СКД65-Б можна експлуатувати рейки до моменту їх максимального зносу – 26 мм.

Скріплення КПП-5-К має можливість зробити плавний відвід розширення від 1522 мм до 1534 мм з кроком 2 мм. Для забезпечення вільного вписування необхідно зробити плавний відвід розширення у перехідній кривій та стабільну ширину колії у круговій кривій у відповідності до радіусу.

Згідно даних «Основні показники АТ «Укрзалізниця» у колійному господарстві» загальна протяжність ділянок кривих з радіусом 450 м та менше станом на 2020 рік складала 3514 км, в тому числі 2280 км (65 % загальної протяжності) знаходиться на Львівській залізниці.

Згідно з натурними спостереженнями [12] розглянемо залежність інтенсивності бокового зносу рейок при різних конструкціях верхньої будови колії (табл. 2.1)

Таблиця 2.1 – Інтенсивність бокового зносу рейок в залежності від характеристик ділянки колії

Тип скріплення	Інтенсивність бокового зносу рейок, мм/млн. т бр. вантажу																	
	R<300 м						300 м <R<450 м						450 м <R<650 м					
	до 10‰		10–20‰		>20‰		до 10‰		10–20‰		>20‰		до 10‰		10–20‰		>20‰	
	підйом	спуск	підйом	спуск	підйом	спуск	підйом	спуск	підйом	спуск	підйом	спуск	підйом	спуск	підйом	спуск	підйом	спуск
Д0	0,134	0,124	0,172	0,167	0,262	0,235		0,138	0,135		0,249	0,166						
Д-2, СКД-65Д	0,259	0,161	0,329	0,257	0,272	0,257			0,185	0,166	0,280	0,143				0,024	0,138	
СКД-65Б	0,342	0,473	0,361		0,456				0,190		0,246	0,267					0,091	0,171
КПП-5К, КПП-5			0,490			0,377	0,205					0,263	0,078	0,103	0,090			0,206
КБ								0,090					0,082	0,089				

Аналіз таблиці 2.1 показує, що на дерев'яних шпалах на скріпленнях типу Д0 і СКД65-Д інтенсивність бічного зносу рейок має менші значення, ніж при скріпленнях СКД65-Б та КПП-5-К на залізобетонних шпалах. Зі зменшенням радіусу інтенсивність бічного зносу рейок зростає. Зі збільшенням ухилу знос збільшується.

В таблиці 2.2 зведені показники залежності інтенсивності бокового зносу рейок від способу виготовлення рейкової сталі та типу гартування (М – мартенівській спосіб виготовлення, КФ – конверторний спосіб виготовлення, зпк – рейки, які загартовані по поверхні кочення, збг – рейки, які загартовані по поверхні кочення та боковим гранням головки рейки, збг т – рейки, які загартовані по поверхні кочення та боковим гранням головки рейки, з забезпеченням підвищеної твердості бокових граней).

Аналіз таблиці 2.2 показує, що в кривих радіусами до 300 м при скріпленні Д0 рейки, які виготовлені із мартенівської сталі, мали кращі

показники щодо зносостійкості, ніж рейки із конверторної сталі: на ділянках з ухилом до 10‰ – в 1,4 рази, з ухилом від 10‰ до 20‰ – в 1,47 рази, з ухилом 20‰ і більше – в 1,39 рази.

Таблиця 2.2 – Інтенсивність бокового зносу рейок в залежності від характеристик ділянки колії та способу виготовлення рейкової сталі та типу гартування

Тип скріплення	Спосіб виготовлення рейкової сталі/тип гартування	Інтенсивність бокового зносу рейок, мм/млн. т бр. вантажу																	
		R < 300м						300м ≤ R ≤ 450м						R < 450м					
		до 10 ‰		10–20 ‰		>20 ‰		до 10 ‰		10–20 ‰		>20‰		до 10‰		10–20‰		>20‰	
		підйом	спуск	підйом	спуск	підйом	спуск	підйом	спуск	підйом	спуск	підйом	спуск	підйом	спуск	підйом	спуск	підйом	спуск
ДО	М зпк	0,153		0,104	0,286	0,211				0,135			0,115						
	М збг	0,097	0,057	0,141	0,115		0,132												
	КФ зпк	0,175	0,129	0,212	0,198	0,279	0,252		0,138			0,252	0,200						
	КФ збг			0,144		0,173						0,246							
СКД–65Д	М зпк				0,254														
	КФ зпк	0,342	0,199	0,253	0,279	0,239		0,264											
	КФ збг	0,322		0,475	0,434	0,256				0,211									
СКД–65Дм	КФ збг			0,327															
КППД–2	КФ зпк	0,157	0,123	0,215		0,288	0,249					0,28						0,138	
	КФ збг	0,094		0,134	0,145						0,195		0,143						
СКД–65Б	КФ зпк	0,324		0,338		0,360						0,219	0,255					0,122	
	КФ збг	0,302				0,471						0,225							
	КФ збг т					0,476													
СКДБ–65Б пліть	КФ зпк																	0,091	
КПП–5К	М зпк							0,2						0,118	0,022				
	КФ зпк			0,317	0,181		0,274		0,164				0,123						
	КФ збг		0,143	0,354			0,372						0,224						0,101
КПП–5К пліть	КФ збг																		0,174
КПП–5	КФ зпк													0,0298	0,052				
	КФ збг														0,059				
	60EI (UIC–60)													0,042					
КБ	М зпк								0,076					0,0252	0,036				
	КФ зпк													0,079	0,034				
	КФ збг													0,107	0,077				
	КФ 2017 збг т								0,072					0,089					
	60EI (UIC–60)													0,057					

При однаковому типі скріплення рейки поточного виробництва зі сталі марок М76 та К76Ф відрізняються по зносостійкості в залежності від року виготовлення. Середня інтенсивність бокового зносу рейок у ділянках колії з радіусами кривих до 300 м наведена в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Інтенсивність бокового зносу рейок на ділянках колії з радіусами кривих до 300 м в залежності від типу скріплень, шпал та способу виготовлення

Скріплення	Шпали	з мартенівської сталі до 2011 року	з конверторної сталі			
			2011–2013 років	2014–2015 років	2016 – 2017	2018–2019
ДО	дерев'яні	0,057–0,338 (0,197)	0,071–0,382 (0,226)	0,187–0,347 (0,267)	0,144–0,314 (0,229)	0,175–0,334 (0,255)
СКД–65Д	дерев'яні	0,107–0,239 (0,173)	0,111–0,302 (0,207)	0,205–0,381 (0,293)	0,267–0,434 (0,351)	0,184–0,264 (0,224)
КПП–5К	залізобетонні		0,382	0,425	0,101–0,482 (0,292)	0,110–0,336 (0,223)
СКД–65Б	залізобетонні		0,225–0,415 (0,321)	0,123–0,468 (0,296)	0,146–0,621 (0,373)	0,116–0,502 (0,309)

Аналіз таблиці 1.3 показує, що рейки, які виготовлені до 2011 року із мартенівської сталі, мали кращу зносостійкість, ніж рейки із конверторної сталі в 1,4 рази. Рейки із конверторної сталі, що виготовлені в період з 2014 по 2017 рік, мають гіршу в 1,2 рази зносостійкість, ніж рейки із конверторної сталі, що виготовлені з 2018 року. Отже, спостерігається позитивна тенденція на досягнення колишньої зносостійкості.

2.2 Вплив підвищення зовнішньої рейки на бічний знос

Серед впливових факторів на бічний знос рейки необхідно враховувати вплив відповідності підвищення зовнішньої рейки та фактичної швидкості руху пасажирських і вантажних поїздів на ділянці [19]. За результатами спостережень проведених колієобстежувальною станцією ПС-1 [12] можна зробити висновок, що при надлишковому підвищенні зовнішньої рейки на 10 мм – 15 мм в кривих ділянках спостерігається зменшення бокового зносу зовнішньої рейки. При надлишковому підвищенні зовнішньої нитки, внутрішня нитка колії перевантажена і, як наслідок, виникають накати рейок, вертикальний знос, викришування і відшарування та спливи металу. Але зміна рейок по внутрішній нитці відбувається набагато рідше, ніж по зовнішній нитці. В процентному відношенні частка видалення рейок за дефектом 43 через перевантаження внутрішньої нитки становить 1,2–1,6 % від загальної

кількості, а вилючення за боковим зносом (дефект 44) складає 24 %, тобто у 17 разів більше [36].

2.3. Вплив ширини колії на бічний знос рейок у кривих ділянках колії

На даний час згідно п. 2.1.1 ЦП-0269 [6] на залізобетонних шпалах норма ширини колії на прямих і кривих при радіусах 300 м і більше встановлена однаковою - 1520 мм. Та можливо використовувати у кругових і перехідних кривих при радіусах від 200 м до 450 м конструкції які забезпечують регулювання ширини колії до 1535 мм.

В дослідженнях [37] на основі аналізу основних показників взаємодії екіпажу і колії, запропоновані наступні норми ширини рейкової колії для кривих ділянок з радіусами менше 350 м на залізобетонних шпалах:

- при радіусах 350 м і більше – 1520 мм;
- при радіусах менше ніж 350 м до 230 м – 1530 мм;
- при радіусах менше ніж 230 м до 160 м – 1535 мм;
- при радіусах менше ніж 160 м – 1540 мм.

При взаємодії верхньої будови колії та рухомого складу виникають інтенсивні поперечні динамічні сили, які в криволінійних ділянках мають підвищені показники. При цьому збільшений рівень динамічних навантажень є однією з основних причин зростання інтенсивності зносу рейок , реборд коліс, елементів проміжних рейкових скріплень, а також зсуву рейко-шпальної решітки. Це призводить до зниження терміну служби елементів верхньої будови колії та показників безпеки руху поїздів на швидкісних магістралях і особливо в складних умовах плану і профілю залізничної колії.

В кривих ділянках колії, чим менше радіус кривої, тим більше динамічні навантаження. В кривих з радіусами 650 м і менше під впливом рухомого складу відбувається інтенсивне накопичення залишкової деформації, внаслідок чого виникають порушення геометрії колії в плані, а також

знижується стійкість рейко-шпальної решітки в поперечній горизонтальній площині, а також повздовжнього зсуву шпал.

При поточному утриманні на колії у кривих радіусами $R \leq 650$ м виникає проблема: на залізобетонних шпалах на скріпленні типу КБ рейки по зовнішній та внутрішній нитці «закушує» в ребордах підкладки КБ. Особливо гостро ця проблема відчувається при розрядці температурних напружень плітей. Коли відбувається закушування рейок зовнішньої нитки, відбувається зміщення шпал відносно зовнішньої нитки, або навпаки, якщо «закушує» внутрішню нитку. При зміщенні шпал порушується епюра.

При поточному утриманні рейкових плітей в кривих ділянках колії з радіусами $R \leq 650$ м на залізобетонних шпалах СБЗ на скріпленні типу КПП-5 внутрішня рейкова нитка зміщується в бік зовнішніх анкерів, а зовнішня рейкова нитка зміщується в бік внутрішніх анкерів за згином.

Якщо підошву рейки не встановити по центру відносно вісі підрейкової зони, відбувається затиснення вкладишів ВІП, що впливає на здатність клеми притискати рейку з нормативним зусиллям. При розрядці температурних напружень окремі підрейкові прокладки зміщуються від проектного положення та в подальшому при встановленні клем вкладиш ВІП впирається у підрейкову прокладку, що може викликати повздовжні переміщення рейкових плітей.

На залізобетонних шпалах в кривих ділянках колії радіусами 650 м та менше встановлюється початкова ширина колії 1520 мм, згідно з п. 2.1.1 ЦП-0269. В кривих ділянках колії з радіусами 650 м і менше відбувається складніше вписування візків рухомого складу. В кривих з радіусами $R \leq 650$ м інтенсивність бокового зносу рейок значно більша, ніж в прямих [38].

Для прикладу розглянемо інтенсивність бокового зносу рейок у кривих радіусами 611 м і 520 м та зміну показників інтенсивності бічного зносу рейок в залежності від ширини колії, яка показана у таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Інтенсивність бокового зносу в залежності від ширини колії.

Шифр рейок	Місце укладання	Дата укладання	Дата обстеження	Вантажна напруженість, млн. т км бр/км за рік	Пропущений тоннаж на момент обстеження, млн. т бр. вант.	Радіус кривої, м	Середня фактична ширина колії 1500+, мм	Середнє фактичне підвищення зовнішньої рейки, мм	Середній боковий знос рейок, мм	Інтенсивність бокового зносу рейок, мм/млн. т бр.
60Е1	Діївка–Горяїнове 186км пк2–4, парна, Р–611м, спуск 10,0‰, КПП-5	25.10.17	07.12.17	35,9	3,0	611	21,2	61,6	0,35	0,117
			06.11.18	35,9	35,9		24,7	57,4	2,09	0,058
			06.03.19	36,2	48,1		24,6	59,4	3,34	0,0693
			05.12.19	39,9	79,9		28,4	60,3	4,1	0,051
			11.03.20	39,9	88,7		28,6	64,3	5,14	0,0505
			23.07.20	39,9	104		28,8	58,9	5,82	0,0560
60Е1	Діївка – Горяїнове 181км пк9–182км пк4 парна, Р–520, спуск 8,1‰, КПП-5	25.10.17	07.12.17	35,9	3,0	520	22,8	116	0,81	0,1657
			06.11.18	35,9	35,9		26,7	122,7	4,27	0,1190
			06.03.19	36,2	48,1		26,4	116,2	4,83	0,1004
			05.12.19	39,9	79,9		29,7	119,5	6,4	0,080
			11.03.20	39,9	88,7		30,2	118,9	7,32	0,0826
			23.07.20	39,9	104,0		31,1	119,0	7,46	0,0718

Проаналізував інтенсивність бокового зносу та ширину колії можна зробити висновки, що на початку експлуатації у кривій радіусом $R = 611$ м при ширині колії 1521,2 мм інтенсивність досягає значень 0,117 мм/млн. т бр, тоді як при 1528,8 мм – 0,0560 мм/млн. т бр. У кривій радіусом $R = 520$ м при ширині колії 1522,8 мм інтенсивність досягає значень 0,165 мм/млн. т бр., тоді як при 1531,1 мм – 0,072 мм/млн. т бр.

Тому, для запобігання вище перерахованих проблем треба в кривих ділянках колії радіусом $R \leq 650$ м на залізобетонних шпалах використовувати типи скріплень, що дозволяють регулювати ширину колії в залежності від радіуса кривої. Найбільш розповсюджені регулюючі типи скріплень – це скріплення типу КПП-5-К, СКД65-Б, СКД65-Бп і ін.

Дані спостереження вказують на те, що при вкладанні рейкової пліти в криві ділянки колії на залізобетонних шпалах необхідно задавати початкову ширину колії згідно радіусу кривої:

при радіусах від 650 м до 450 м – 1530 мм;

при радіусах від 450 м до 300 м – 1535 мм;

при радіусах менше ніж 300 м – 1540 мм.

При проведенні аналізу по зносостійкості спостерігається зменшення бічного зносу зовнішньої нитки кривої при ширині колії 1540 мм – 1548 мм у кривих радіусами до 300 м [23], але ширина колії 1546 мм – 1548 мм потрапляє під обмеження швидкості до 25 км/год. (таблиця Д.8.7 ЦП-0269) [6]. Конструкції які перераховані мають діапазон регулювання ширини колії до 1535 мм.

Вплив ширини колії на знос рейок не є суттєвим, якщо ширина колії встановлена з початку експлуатаційного періоду відповідно до радіусу кривої. Колісна пара завжди буде шукати ширину колії, яка мінімізує боковий знос, для вписування візків колісної пари (так звана приробка). Для зменшення фактору приробки у кривих на залізобетонних шпалах необхідно використовувати регулюючі типи скріплень починаючи не з 300 м, а з 650 м.

2.4 Вплив ваги поїздів на бічний знос

Швидкість руху поїздів залежить від їх ваги. Для підтримування встановленої швидкості руху у складних умовах плану і профілю залізничної колії необхідно зменшувати вагу поїздів для забезпечення можливості транспортування вантажних поїздів двома або трьома локомотивами, без застосування піску.

Проаналізуємо зміну інтенсивності бокового зносу при зменшенні ваги поїздів (табл. 2.5).

Таблиця 2.5 – Результати експериментальних досліджень інтенсивності зносу головок рейок при різній вазі поїздів

Інтенсивність бічного зносу, мм / т брутто						
Вагова норма поїзду, т	Радіус, м R<300,0		Радіус, м 300,0<R<450,0		Радіус, м R>450,0	
	підйом	спуск	підйо м	спуск	підйом	спуск
4600,0	0,427	0,447	0,276	0,232	0,092	0,050
4200,0	0,355	0,384	0,253	0,184	0,090	0,046

На ділянці Клепарів–Чоп–Ужгород регіональної філії «Львівська залізниця» з 18.02.2018 року було встановлено критичну вагову норму для вантажних поїздів на цій ділянці до 4200 т. До проведення експериментального дослідження вагова норма складала 4600 т. На вказаних ділянках залізниці на перегонах Лавочне–Бескид, Бескид–Скотарське, Скотарське–Воловець рух вантажних поїздів на даний час виконується за допомогою локомотивів ВЛ10 та ВЛ11, у складі 4-х локомотивів, які розміщуються – три у голові вантажного поїзду, один у хвості. Швидкість вантажних поїздів на перегоні Лавочне–Бескид у середньому до зменшення ваги складала 25–30 км/год [12].

Середня вагова норма вантажних поїздів з початку експериментального дослідження по непарній колії була знижена до 4051 т, середня швидкість руху вантажних поїздів підвищена до 41,1 км/год. Після зменшення вагових норм до 4200 т інтенсивність бокового зносу рейок почала поступово зменшуватися, особливо на ділянках підйому, де ухил більше ніж 10‰.

В кривих ділянках колії радіусом до 300 м інтенсивність бічного зносу рейок до зменшення ваги поїздів складала: на підйомі – 0,427 мм/млн. т бр. вантажу, на спуску – 0,447 мм/млн. т бр. вантажу. Після зменшення ваги поїздів на кінець 2018 року вона складала: на підйомі – 0,398 мм/млн. т бр. вантажу, на спуску – 0,384 мм/млн. т бр. вантажу.

У кривих з діапазонами радіусів 301 м – 450 м, до зменшення ваги поїзду інтенсивність бічного зносу рейок складала: на підйомі – 0,276 мм/млн. т бр.

вантажу, на спуску – 0,232 мм/млн. т бр. вантажу. Після зменшення ваги поїздів знос рейок складав: на підйомі – 0,253 мм/млн. т бр. вантажу, на спуску – 0,184 мм/млн. т бр. вантажу.

У відсотковому відношенні в кривих ділянках колії з радіусом до 300 м, на підйомі, інтенсивність бічного зносу рейок зменшилась на 6,8%, на спуску – на 14,0%; відповідно в кривих радіусом 301 м – 450 м зменшення зносу рейок склало: на підйомі 8,3%, на спуску – на 20,6%.

На кінець 2019 року середня інтенсивність бокового зносу рейок у кривих радіусами до 300 м складала: на підйомі – 0,286 мм/млн. т бр. вантажу, на спуску – 0,201 мм/млн. т бр. вантажу. У кривих з радіусами 301 м – 450 м середня інтенсивність складала: на підйомі – 0,185 мм/млн. т бр. вантажу, на спуску – 0,171 мм/млн. т бр. вантажу.

У процентному відношенні за рік у кривих ділянках колії з радіусом до 300 м, на підйомі, інтенсивність бічного зносу рейок зменшилась на 28,1%, на спуску – на 47,6%; відповідно в кривих радіусом 301 м – 450 м зменшення зносу рейок склало: на підйомі 26,8%, на спуску – 7,1%.

Якщо порівнювати результати на момент впровадження експерименту, після зменшення ваги поїздів інтенсивність бокового зносу рейок у процентному відношенні зменшилось у кривих ділянках колії з радіусом до 300 м, на підйомі на 33,0%, на спуску – на 55,0%; відповідно в кривих радіусом 301 м – 450 м зменшення зносу рейок склало: на підйомі 32,9%, на спуску – на 26,3% [39].

2.5 Вплив режимів ведення поїздів та стану вагонів на бічний знос рейки

Для зменшення зносу рейок колії в складних умовах плану і профілю залізничної колії дуже важливо враховувати режими ведення поїздів на ділянках підйому та спуску. Обстеження ділянок колії в складних умовах плану і профілю залізничної колії показав, що на спуску при рекуперативному гальмуванні, де рух виконується двома, трьома або чотирма локомотивами,

особливо у S-образних кривих та в кривих малого радіусу, на перевідних та захрестовинних кривих стрілочних переводів, на підходах до кривих ділянок колії на відстані 20 м – 30 м, виникає збурювальний рух вантажних вагонів, який спричиняє вплив на стан колії, а саме: збільшений знос рейок, зсув рейок за напрямком руху, перекіс шпал, забруднення баласту при гальмуванні із застосуванням піску.

При електричному рекуперативному або реостатному гальмуванні сила гальмування зосереджується в межах колісної бази одного чи декількох локомотивів, що може призвести до несинхронної взаємодії локомотивних бригад з'єднаних локомотивів (гальмування головного локомотива та накочування хвостового локомотива на поїзд) і видавлювання порожніх вагонів, а можливо і завантажених вагонів. При цьому режими рекуперативного гальмування контролюються тільки за рахунок зміни швидкості руху, а по суті – не контролюються.

При постійному струму живлення зрив рекуперативного гальмування можливий при наступних умовах: при збільшеній вазі вантажних поїздів та збільшеній напрузі в контактній мережі вище встановленої, коротких замикань в контактній мережі і на тягових підстанціях, або на самому рекупіруючому електровозі, при глибокому юзі його окремих колісних пар на послідовному та паралельному з'єднанні тягових двигунів.

Для попередження та усунення юзу коліс електровозів в тяговому режимі в складних умовах плану і профілю залізничної колії машиністи локомотивів подають під їх колеса пісок, що впливає на зчеплення коліс та рейок, а це в свою чергу призводить до збільшеного їх зносу.

Багатосекційне групування локомотивів в голові поїзда, застосування реостатного або рекуперативного гальмування, екстреного і повного службового гальмування, а також локомотивного гальма приводять до росту поздовжніх квазістатичних стискаючих сил в поїзді. При використанні вантажними поїздами пневматичного гальмування гальма у вагонах вмикаються поступово, починаючи з голови поїзда, при цьому в останній

третині поїзда виникає додаткова кінетична енергія в наслідок накочування незагальмованої хвостової частини поїзда на гальмівну. При накочуванні завантажених вагонів на вже загальмовані вагони поїзду можливе виштовхування з поїзду порожніх вагонів [40].

Стан вагонів пов'язаний з нерівномірним прокатом обода одного колеса колісної пари по колу його кочення, по впливу на динаміку руху можливо порівняти з просадками рейкових ниток.

Наявність повзунів і гострокінцевого накату на колесах збільшує кут набігання коліс на бічну кромку рейок, що приводить до появи полиці на бічній грані рейок та збільшенню їх бокового зносу, а в окремих випадках до перекочування колісної пари через рейку. Різниця в діаметрах коліс колісної пари, що фізично є перекосом, приводить до нахилення вагона та появи гострокінцевого накату на колісних парах.

Заклинювання колісної пари у колії при повертанні колісної пари в кривих ділянках, веде до підвищеного зносу гребенів коліс та поширення відстані між гребенем притиснутого до рейки колеса та гребенем непрацюючого колеса, що додатково впливає на заклинювання візка в кривих та збільшення бічного зносу рейок.

Перекоси осей у візках є основною причиною одностороннього зносу гребенів колісних пар та збільшення кута набігання колеса на рейку, що збільшує інтенсивність бокового зносу, як рейки, так і колеса [40].

2.6 Порівняння факторів впливу на боковий знос рейок та гребенів колісних пар

Для зменшення бокового зносу рейок застосовуються експлуатаційні, конструктивні та трибологічні методи.

Раціональним рішенням цього питання є методи зменшення бокового зносу, які спрямовані на зменшення сил тертя між колесом і бічною поверхнею рейки. Основним є метод змащення рейок і гребенів коліс.

Вид зношених поверхонь бічних граней рейок в кривих малих радіусів ($R < 450$ м) являє собою дефекти металу різного розміру й глибини, а також продукти зношування у вигляді частинок металевої луски. Це свідчить про перевагу процесів в зоні контакту, пов'язаних з абразивним зносом і глибинним вириванням металу (задиrom) пов'язаним з процесом мікрозварювання між контактуючими поверхнями.

В ході експлуатаційних спостережень [41] у кривих радіусом 350 м – 650 м, які проводились в період 2012–2015 рр., при обробці результатів методами багатфакторного аналізу було виявлено, що факторами, які визначають інтенсивність бокового зносу рейок, є: наявність лубрикації рейок - ступінь впливу на знос рейок становить 57 – 73% в залежності від радіусу кривої; підухил рейок - ступінь впливу на бічний знос рейок 17–22% при наявності лубрикації і до 40% по сумі відхилень підхилу обох рейок – за відсутності лубрикації; радіус кривої - ступінь впливу на знос рейок 8–18% в діапазоні радіусів 350 м – 650 м при лубрикації і 53% в діапазоні радіусів 300 і більше метрів без лубрикації; рівень непогашеного прискорення в кривій ступінь впливу 2–7%.

Отже, за наявністю лубрикації рейок, по ступеню впливу на знос рейок, змашування становить 57–73%.

2.7 Висновки за 2 розділом

1. Встановлено, що на дерев'яних шпалах на скріпленнях типу Д0 і СКД65-Д інтенсивність бічного зносу рейок має менші значення, ніж при скріпленнях СКД65-Б та КПП-5-К на залізобетонних шпалах. Зі зменшенням радіусу інтенсивність бічного зносу рейок зростає. Зі збільшенням ухилу знос збільшується. Рейки, які виготовлені із мартенівської сталі, мали кращі показники щодо зносостійкості, ніж рейки із конверторної сталі.

2. При надлишковому підвищенні зовнішньої рейки на 10 мм – 15 мм в кривих ділянках колії спостерігається зменшення бокового зносу зовнішньої рейки.

3. Для зменшення фактору приробки у кривих на залізобетонних шпалах необхідно використовувати регулюючі типи скріплень починаючи не з 300 м, а з 650 м. При вкладанні рейкової пліти в криві ділянки колії на залізобетонних шпалах необхідно влаштовувати початкову ширину колії згідно радіусу кривої:

при радіусах від 650 м до 450 м – 1530 мм;

при радіусах від 450 м до 300 м – 1535 мм;

при радіусах менше ніж 300 м – 1540 мм.

4. Встановлено, що зі зменшенням вагових норм інтенсивність бокового зносу рейок зменшується. Після зменшення ваги поїздів з 4600 т до 4200 т інтенсивність бокового зносу рейок у процентному відношенні зменшилась у кривих ділянках колії з радіусом до 300 м, на підйомі на 33,0%, на спуску – на 55,0%, в кривих радіусом 300 м – 450 м, зменшення зносу рейок склало: на підйомі до 32,9%, на спуску – до 26,3%.

5. У складних умовах плану і профілю залізничної колії при веденні поїздів дуже важлива синхронність дії машиністів локомотивних бригад на спусках для запобігання накочування вагонів, які слідують порожніми, на підйомах підштовхуючих локомотивів для зменшення використання піску головними локомотивами.

6. Стан вагонів повинен мінімізувати вплив наступних факторів – різницю в діаметрах колісної пари, наявність повзунів і гострокінцевого накату, нерівномірного ободу колісної пари по колу його кочення.

7. Змащення контактуючих поверхонь колеса та рейки зменшує знос. По ступеню впливу на знос рейок лубрикація становить 57–73%.

3 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЛУБРИКАЦІЇ НА ЗМЕНШЕННЯ БОКОВОГО ЗНОСУ РЕЙОК ТА ГРЕБЕНІВ КОЛІСНИХ ПАР

На сьогодні існують наступні принципи подачі мастила до зони контакту «колеса-рейки»:

- змащення бокових граней рейок за допомогою рейкозмащувачів, встановлених на спеціальних транспортних засобах;
- змащення гребенів коліс рухомого складу бортовими лубрикаторами, встановленими на локомотивах;
- змащення гребенів коліс рухомого складу та бокових граней рейок стаціонарними рейкозмащувачами [29].

3.1 Системи пересувних рейкозмащувачів

Пересувні рейкозмащувачі, поділяються на самохідні та причепні змащувальні одиниці. Пересувні рейкозмащувачі, встановлюють на спеціальних транспортних засобах. Це є комплекс навісного обладнання яке змонтоване на локомотивах, дрезинах, мотовозах, моторисах, спеціальних вагонах-рейкозмащувачах призначених для змащування (лубрикації) рейок в кривих для зменшення сил тертя в зоні контакту рейки та колеса, і як наслідок для зменшення зносів у парі тертя та зменшення витрат на тягу у прямих ділянках колії. Пересувні рейкозмащувачі використовують в якості змащувального матеріалу рідкі або консистентні мастила.

Розглянемо систему рейкозмащування на електровозах серії ВЛ11М [42].

Система рейкозмащування складається з ємності об'ємом 250 л, клапанів, електропневматичних вентилів і форсунок, які з'єднані між собою трубопровідними системами стисненого повітря, та оливи.

Під кузовом електровоза встановлено ємність запасу оливи та спеціальну систему, на якій змонтовано форсунки ежекторного типу. За допомогою цієї системи форсунки встановлюються в робоче положення.

Керування системою рейкозмащування здійснюється за допомогою роз'єднувальних кранів, що встановлені на трубопровідних системах

стиснутого повітря й оливи, та вимикачами керування електропневматичними вентилями подачі повітря до форсунок і клапанів подачі оливи до форсунок.

Таблиця 3.1 – Основні параметри системи рейкозмащування на електровозах серії ВЛ11М

Назва показника	Значення
Ширина колії, мм	1516...1546
Швидкість руху під час роботи системи рейкозмащування, км/год.	30...60
Вписування у габарит у транспортному положенні	1–Т
Мінімальний радіус кривої, що змащується, м	200
Тип керування	Дистанційне ручне
Напруга живлення, В	50
Ємність резервуара оливи, л	250
Кількість форсунок оливи на секцію	2
Кількість одночасно працюючих форсунок, шт.	1
Номінальний тиск повітря, МПа	0,63
Максимальний тиск повітря, МПа	0,8
Мастильний матеріал	Суміш відпрацьованої дизельної або осьової оливи та графітового порошку
Склад мастильного матеріалу: – графітовий порошок; – олива	10% 90%
Номінальний тиск подачі змащувального матеріалу, МПа	4
Питома витрата змащувального матеріалу (експериментальна), кг/м ²	0,032
Робочий діапазон температури °С	Від -40 до +60

Системи рейкозмащування на кожній секції електровоза працюють автономно. Мастильний матеріал треба наносити на бокову внутрішню грань однієї головки рейки тільки під передню за ходом електровоза колісну пару. У цей час система рейкозмащування на інший, задній, секції електровоза вимкнена.

Широке застосування отримали вагони-рейкозмащувачі нового покоління, які використовуються для змащування (лубрикації) рейок в кривих (в перспективі і на прямих ділянках) на магістральних коліях з високою вантажонапруженістю.

Наприклад, вагон-рейкозмащувач АО «Фірма Твема» [43] з спеціалізованим програмним забезпеченням, працює в широкому діапазоні температур, має можливість установки діагностичних систем, лубрикації рейок в складі поїзда безконтактним нанесенням високоефективного зносостійкого мастильного матеріалу в контактну зону бічної поверхні головки зовнішньої рейки в кривих, незалежно від швидкості, радіусів кривих і бічного зносу головок рейок.

Для змащування головки рейки створена унікальна система подачі мастила. Рейкозмащувальна установка має два види подачі мастила: основну – гідравлічну, і резервну – пневматичну.

Установка має в своєму складі:

- заправну систему;
- два витратних бака для змащення;
- компресор з ресивером;
- автоматичну систему подачі мастила на форсунку з можливістю управління від GPS / ГЛОНАСС або гіроскопічного датчика (в якості резервного);
- вузли подачі мастила на рейки з системою обігріву зовнішнього трубопроводу і форсунок.

Вагон обладнаний системою відеоспостереження за нанесенням мастила на рейки. Ємність баків для мастильного матеріалу становить 1200 л. 2 завантажувальних модуля забезпечують завантаження бочок зі змазкою загальною ємністю 2 м³. Зворотне плече вагона при разовій заправці змащувальним матеріалом становить до 5000 км. А питома витрата мастильного матеріалу на 1 км зміщеної рейки становить 0,15–0,35 л.

Експлуатується також модифікований лубрикатор з додатковим діагностичним функціоналом, дооснащений інноваційним вихреструмовим дефектоскопом і системою швидкісного візуального контролю «СВОД 2»

Наявність спеціалізованого програмного забезпечення з високим рівнем автоматизації обробки даних підвищує ефективність роботи екіпажу і скорочує трудовитрати. Створення звітів проводиться автоматично.

Таблиця 3.2 – Основні технічні характеристики вагона-рейкозмащувача АО «Фірма Твема»

Ч.ч.	Найменування параметрів	Нормативне значення параметрів
1	Ширина колії, мм	1520
2	Швидкість руху робоча, км/год.: – мінімальна – максимальна	5 120
3	Загальна кількість мастила, завантажена в вагон, кг, не більше	2000
4	Положення осі форсунки, щодо внутрішньої бічної грані обода колеса, мм;	11±2
5	Діаметр змінного сопла форсунки для нанесення мастильного матеріалу не більше, мм	0,9
6	Питома витрата мастильного матеріалу на 1 км змащованої рейки в кривій незалежно від швидкості руху вагона, л	0,15–0,35
7	Оборотне плече при разовій заправці мастильним матеріалом, км	до 5000
8	Відхилення від заданої точки початку (закінчення) подачі мастильного матеріалу, м	10±1

Відомо три основних типа мастильної речовини, які використовують на пересувних рейкозмащувачах – рідке, консистентне та тверде мастило. Вони принципово відрізняються один від одного способом нанесення речовини.

Рідкі мастила – мастила, що не містять згущувачів, або містять їх у незначній кількості. Консистентні мастила – мастильний матеріал, який отримується шляхом додаванням спеціальних загусників до рідких масел. Тверді мастила – порошкоподібні суміші а саме: графіт, нітрит бору, різноманітні синтетичні смоли, фторопласти, наповнені графітом з нанесенням на поверхню пар тертя у вигляді тонкої плівки.

Гребнезмащувачі з використанням рідкого мастила забезпечують подачу матеріалу безконтактним способом. Їх поділяють на прилади з примусовою подачею мастила під дією залишкового тиску та ежекційного типу. Прилади зазвичай, забезпечують подачу мастила під дією стислого повітря у вигляді

повітряної суміші. В гребнезмащувачах, які використовують консистентні мастила використовують способи нанесення мастила: безконтактний, та шляхом безпосереднього контакту з поверхнею гребеня. Конструкції приладів подачі мастила аналогічні рідким та твердо мастильним гребнезмащувачам.

Гребнезмащувачі, які працюють на твердому мастилі, забезпечують нанесення змащуючого шару шляхом безпосереднього контакту з поверхнею гребеня колеса та передачею мастильного шару на бічну грань головки рейки. Ці конструкції можна поділити на гребнезмащувачі безперервного змащування та з регулюванням подачі мастила.

Недоліки лубрикатора з твердомастильними елементами:

- твердомастильний елемент контактує зі змащувальною поверхнею при високих динамічних навантаженнях пов'язаних зі швидкістю руху при взаємодії рухомого складу з колією. При великих перекосах поверхней, що контактують зафіксовано випадки зламів змащувальних елементів, які є достатньо крихкими;

- низькі адгезійні властивості твердих мастил і поганий перенос їх на інші контактуючі поверхні, що в значній мірі ускладнює обслуговування всієї системи змащування та призведе до подорожчання данної конструкції.

Недоліки лубрикатора з рідкими мастильними елементами:

- забруднювання баластного шару;
- потрапляння мастильного матеріалу на поверхню кочення, що призведе до збільшення зусиль при подоланні ділянок підйому, як наслідок використання піску та створення образиву;
- відносно низька в'язкість.

Також існують системи автоматичного змащування гребенів колісних пар локомотива. Системи автоматичного змащування гребенів колісних пар локомотива — це комплекс пристроїв, які забезпечують подачу мастила на гребені колісних пар та пристрої у автоматизованому режимі змащування.

Більшість існуючих систем управління гребнезмащувачів відрізняються спрощеністю алгоритмів управління, яке передбачає в цілому тільки попереднє

регулювання та підтримку постійної подачі мастила (за часом або за відстанню), незалежно від режиму руху локомотива і зовнішніх факторів. Спрощення алгоритму управління знижує ефективність систем змащування в цілому [17].

Недоліки систем автоматизованого управління:

- у системі змащування з алгоритмом управління, яка забезпечує змащення гребенів коліс тільки в кривих ділянках колії, висока ймовірність, що колесо прослідує на початку кривої без змащення поки не спрацює датчик кривизни. Цей недолік особливо відчутний на ділянках колії де багато кривих малої довжини;
- існуючі конструкції датчиків кривизни колії мають достатньо низьку надійність та високий відсоток хибного спрацьовування на прямих ділянках колії;
- в більшості конструкцій систем автоматизованого управління гребнезмащувача не передбачена вибіркковість подання мастила в залежності від напрямку руху.

Для зменшення зносу рейок і гребенів колісних пар та досягнення найбільшого економічного ефекту пов'язаного зі зменшенням експлуатаційних витрат на утримання колійного та вагонного господарства необхідно, щоб навісні гребнезмащувачі відповідали наступним вимогам:

1. Автоматизована система управління навісного обладнання на локомотиві:
 - цикли включення та виключення подачі мастильної речовини; сторонність подачі речовини в залежності від сторонності кривої; дозована подача речовини; регулювання подачі мастильної речовини.
2. Безконтактна подача змащувальної речовини.
4. Запобігання потрапляння змащувальної речовини на поверхню кочення рейки зовнішньої нитки кривої.
5. Відсутність взаємодії з піском мастильної речовини для запобігання створення абразиву.

6. Універсальна по консистенції та складу речовина для роботи гребнезмащувача на протязі всього року.

7. Автоматичне включення подачі мастильної речовини при проходженні криволінійної ділянки зі сторони зовнішньої нитки кривої.

8. Асинхронність подачі речовини та застосування піску на ділянках підйому.

3.2 Системи стаціонарних рейкозмащувачів

Стаціонарні рейкозмащувачі поділяють на механічні (плунжерного типу) та з програмним забезпеченням [29]. Стаціонарні плунжерні поділяються на пружні, в яких мастило за допомогою стислої пружини і поршня під тиском подається з резервуара через патрубок і трубу по каналу під плунжер у дозуючу пластину (рис.3.1), та пневматичні, де мастило під дією стисненого повітря подається із резервуара через патрубок і трубу по каналу під плунжер у подавальний пристрій.

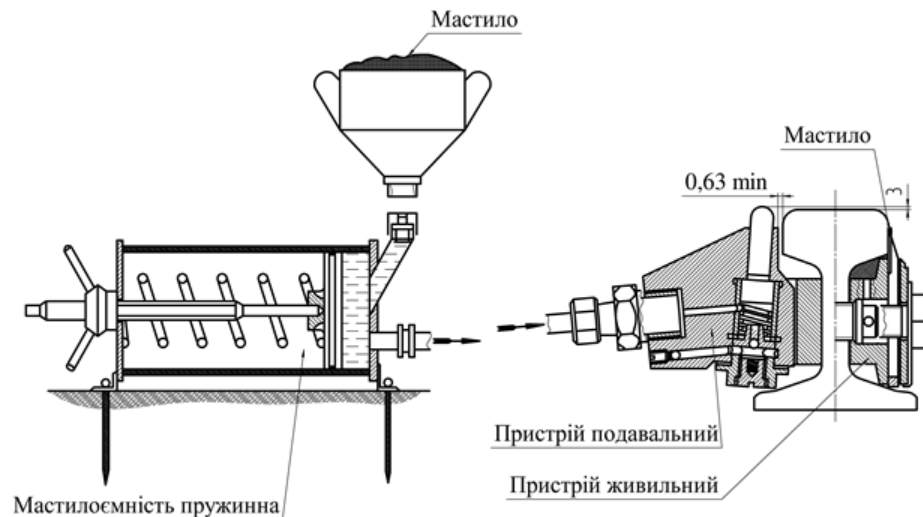


Рисунок 3.1 – Стаціонарний рейкозмащувач плунжерний пружний

Рейкозмащувач проекту 1901.000.СБ складається з резервуара для мастила, встановленого на узбіччі земляного полотна, пристрою, який подає мастило, встановленого із зовнішнього боку зовнішньої рейки кривої і пристрою живлячого встановленого з внутрішньої сторони зовнішньої рейки кривої [44].

Рейкозмащувач проекту 1901.000.СБ є конструкцією плунжерного типу. За допомогою стисненої пружини і поршня масло під тиском подається із резервуара через патрубок і трубу по каналу під плунжер та подається у пристрій. У пневматичних конструкціях плунжерних рейкозмащувачів, тиск у резервуарі подачі мастила створюється за допомогою закачування стисненого повітря. При натисканні колеса на плунжер мастило через кульковий клапан надходить в живильний брус, і далі по каналах і двох мідних трубках подається під пластину живильника, з кожної сторони використовується одна живильна пластина. Через пази живильної пластини мастило надходить на бокову грань головки рейки. При проході подальшого колеса гребенем, мастило знімається і переноситься по боковій грані рейки упорної нитки кривої і одночасно подається нова порція змащення на бокову грань головки рейки [45] (технічний опис та інструкція з експлуатації: «Рейкозмащувач колійний проект 1901.000.СБ»).

Для заправлення рейкозмащувачів проекту 1901.00.000.СБ використовують консистентні мастила. Рекомендується використання мастил на основі графіту. Довжина ділянки змащування становить до 800 м. Витрата мастильного матеріалу 12 л (24 л) достатньо для проходу 12 000 (25 000) коліс або 50 (100) поїздів з продуктивністю насоса 1 см³ [44] .

Таблиця 3.3 – Основні параметри та технічні характеристики рейкозмащувачів проекту 1901.00.000.СБ

Показник	Рейкозмащувачі виробництва			
	КРМЗ (м. Черкаси)	КДРММ (м. Самбір)	КРМЗ (м. Житомир)	КРМЗ (м. Дебальцеве)
Тип рейок	Р65			
Ємність резервуара для мастила, л	12	23	12/24	12
Тип мастила	Графітне типу УСсА	Рельсол	Рельсол М, Рельсол ГС	Графітне типу ЖР
Максимальна витрата мастила за один хід плунжера, см ³	1			
Довжина валика змащування на пластині, мм	570	2 × 690	512	512
Маса в комплекті, кг	160			

ПРИМІТКА. В рейкозмащувачах використовують мастило Рельсол М (від мінус 30 °С до 50 °С), Рельсол ГС (від мінус 40 °С до 50 °С).

Колійні рейкозмащувачі плунжерного типу маючи в основі однаковий принцип подачі мастила, відрізняються між собою конструкціями змащувальної планки її закріплення відносно рейки, кількістю живильних пластин (одна, дві на одній рейковій нитці).

Рейкозмащувачі плунжерного типу мають ряд недоліків, це – велика витрата мастильного матеріалу, попадання мастила на поверхню кочення рейок та колісної пари, що на підйомах змушує застосовувати пісок аби не було буксування коліс. Мастило змішане з піском створює абразив, що дає зворотній ефект і викликає інтенсивний боковий знос рейок. Також при буксуванні коліс відбувається пошкодження рейок та колісних пар. Відсутність підігріву в зимовий період. В зимовий період, внаслідок відсутності підігріву мастила, рейкозмащувачі демонтують або консервують до появи плюсових температур. Працюють ефективно на коротких відстанях на стрілочних вулицях.

Розглянемо принципи роботи рейкозмащувачів з програмним забезпеченням, а саме рейкозмащувач з програмним забезпеченням фірми «Lincoln» (рис. 3.2) виробництва Німеччини та СПР-02-06 конструкції ТОВ «Машинобудівник», виготовлений в Саратові (рис. 3.3).

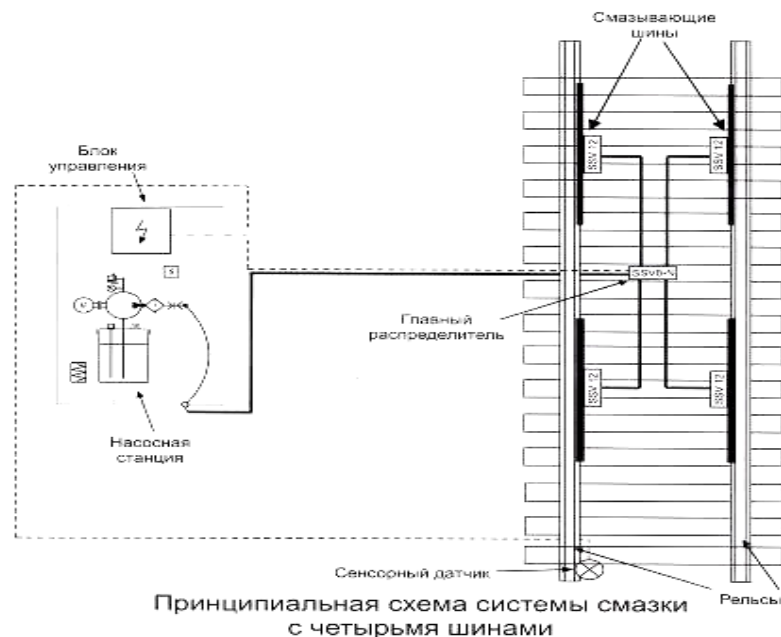


Рисунок 3.2 – Рейкозмащувач з програмним забезпеченням фірми «Lincoln»

Типова система змащення складається з: мастильного насоса тип ZPU-24 (380 V), реле тиску і датчиком рівня мастила, електронного блока управління типу Siemens Logo, фальш-шпали з головним розподільником SSV8-N, сенсорного датчика, 1–4 мастильні шини, кріплення елементів системи до рейки, обігрівача.

Робота рейкозмащувальної установки полягає в наступному. При русі рухомого складу сенсор відраховує прохід кожної вісі вагона або локомотива (в діапазоні від 1 до 100). Після проходження кожної 15 осі (параметр налаштовується) подається сигнал на блок управління, який в свою чергу дає команду на пуск насоса. Мастило з насоса через трубопроводи надходить до головного розподільника змащення. Розподільник SSV8-N має чотири виходи, з яких мастило надходить до розподільника типу SSV12, який встановлено на шинах.

Розподільники типу SSV12 рівномірно подають мастило по всіх каналах мастильної шини. Канали мастильної шини мають виходи і забезпечують подачу мастила на бокову поверхню головки рейки.

Відключення насоса відбувається після виконання заданого циклу змащування, який визначається кількістю спрацьовувань головного розподільника і реєструється в блоці управління. Після реєстрації в блоці управління заданої кількості сигналів з головного розподільника насос відключається. Після отримання нового сигналу з сенсора насос знову включається в роботу. Включення насоса в роботу може бути здійснено в межах від 1 до 100 проходжень осей колісних пар над сенсорним датчиком. Рознос мастила по довжині рейкової колії в зимовий період при низьких температурах становить 800–1200 м, при високих температурах становить до 3500 м. Витрата мастила при застосуванні «АЗМОЛ-РЕЛЬСОЛ» становить 10 л, Addinol Spurkranzfett 2 MO становить 6,45 л на 1 млн т бр. пропущеного тоннажу.

За даними досліджень експлуатаційної роботи рейкозмащувачів фірми «Лінкольн», які проводились на Львівській, Південно-Західній та Придніпровській регіональних філіях встановлено наступне.

На Львівській залізниці рейкозмащувач фірми «Lincoln», встановлений в червні 2008 року, ст. Підзамче 1475 км ПК1, стрілочний перевід № 6, непарної колії, з двома дозуючими пристроями по двом ниткам. В середньому вантажонапруженість з моменту укладання становить 39,9 млн. т км бр./км на рік, інтенсивність бічного зносу складає 0,156 мм/млн. т бр. Заправочне мастило «АЗМОЛ-РЕЛЬСОЛ». До початку роботи рейкозмащувача заміна рейок проводилася приблизно один раз на рік з максимальним бічним зносом 12–13 мм при вантажонапруженості близько 42 млн. т км бр. / км на рік, інтенсивність бічного зносу 0,3 мм/млн. т бр. Після установки рейкозмащувача, при тій же вантажонапруженості, періодичність заміни рейок становить один раз на два роки. На Київській та Дніпровській дистанціях колії, отримані наступні результати: Київська дистанція колії – знос бічних поверхонь головки рейки в кривих ділянках колії в середньому зменшився в 2,5 рази. Періодичність заміни рамної рейки з криволінійним гострьком скоротилася в 1,5 рази. До встановлення рейкозмащувача інтенсивність бічного зносу становила 0,07 мм/млн. т бр., після установки 0,028 мм/млн. т бр.

В Дніпровській дистанції колії – заміна рейок зовнішньої рейкової нитки в кривій до установки рейкозмащувача проводилася: вересень 2004, червень 2006 року, липень 2008, січень 2010 року, тобто майже кожні два роки. Після встановлення рейкозмащувача рейки замінили в 01.08.2013 р. До установки рейкозмащувача інтенсивність бічного зносу становила 0,116 мм/млн. т бр, після установки 0,09 мм/млн. т бр [45].

Стаціонарний колійний рейкозмащувач з програмним забезпеченням СПР-02-06 конструкції ТОВ «Машинобудівник», виготовлений в Саратові (рис. 3.3).

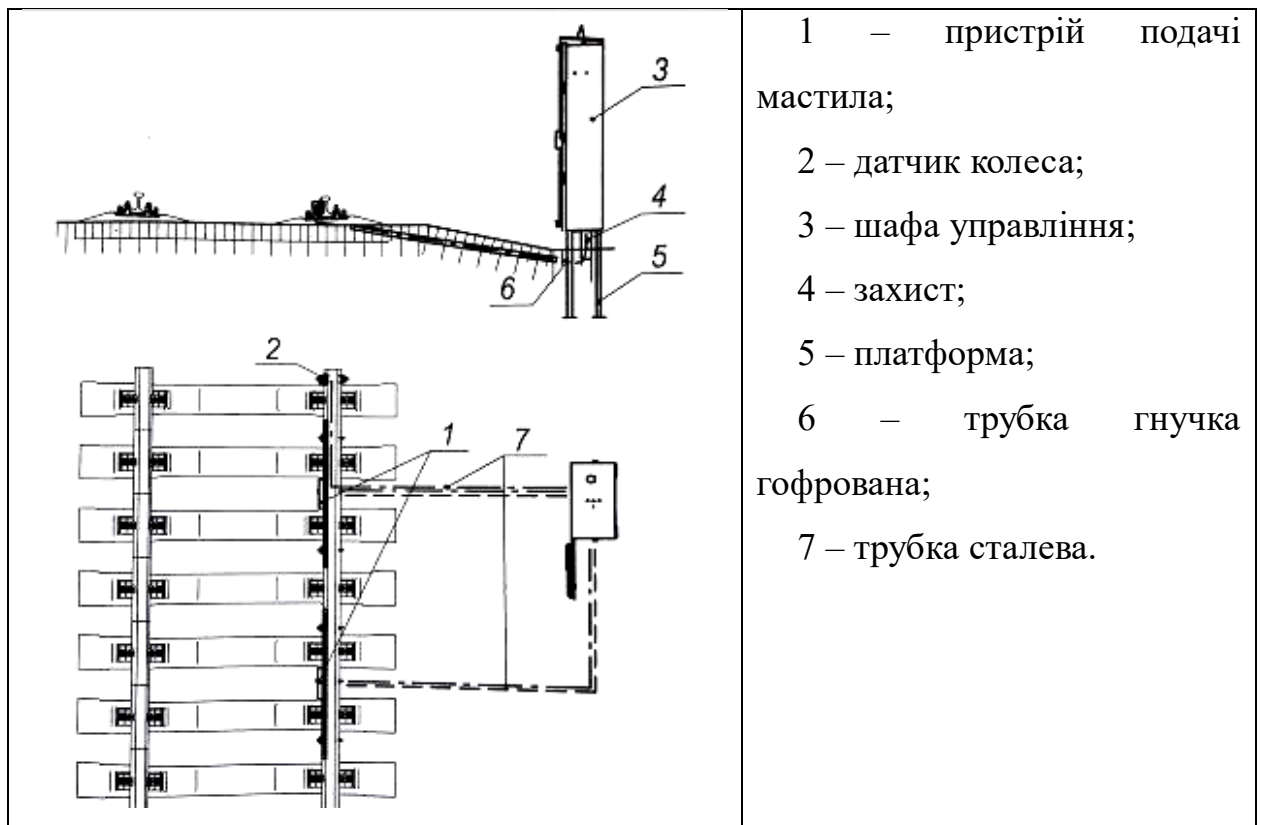


Рисунок 3.3 – Рейкозмашувач з програмним забезпеченням СРР-02-06

До складу установки входять наступні конструктивні вузли – пристрій подачі мастила і шафа.

Принцип роботи установки рейкозмашувача СРР-02-06 [46] полягає в наступному: при наближенні рухомого складу датчик вібрації вловлює вібрацію рейки і електричний сигнал від рейки надходить в блок управління. Блок управління починає генерувати імпульси управління електромагнітним клапаном, і генерує їх весь час, поки активний датчик. Рейкозмашувач налаштовується на подачу мастила на задану кількість осей. За сигналом датчика вібрації проводиться одиночна подача мастила і одночасно подається живлення на датчик колеса. Під час активного стану датчика вібрації, цикли змазування ініціюються за сигналами датчика колеса. Після проходження поїзда датчик вібрації припиняє генерувати сигнал, дозування датчика колеса відключається, і цикли подачі мастила припиняються. Для забезпечення рівномірного розподілу мастила по довжині рейки і його кращого захоплення

гребенями коліс, подача проводиться в 8 точках розподілених уздовж рейки. Відстань між ними 150 мм, кількість циклів змазування під час проходження кожного складу визначається або заданою кількістю проходів осей, або заданим тимчасовими інтервалами між подачею.

Довжина змащування ділянки варіюється від 600 м до 1400 м і залежить, в свою чергу, від вибору місця установки рейкозмащувача, радіуса кривої, температурою навколишнього повітря і параметрами налаштувань. Мастило «ПУМА-МЛ». Витрата мастила при використанні «ПУМА-МЛ» і заводських налаштуваннях, становить 3,4 л на 1 млн. т бр. пропущеного тону. Спеціальне мастило заправляється за допомогою пристрою РДНК-002.07.000, який постачається окремо.

Для рішення проблеми зносу рейок і гребенів колісних пар та досягнення найбільшого економічного ефекту пов'язаного зі зменшенням експлуатаційних витрат на утримання колійного та вагонного господарства необхідно, щоб стаціонарні колійні рейкозмащувачі відповідали наступним вимогам:

1. Автоматизована система управління рейкозмащувальної установки – автоматизована подача мастильного матеріалу, контроль витрати речовини, рахунок осей колісних пар та налаштування щодо змащування осей в діапазоні від 1 до 100 осей (наприклад, кожна вісь, кожна друга, кожна третя і т. і. до 100 осей), електронний захист від крадіжок, вмонтований секретний GPS-навігатор блоку управління, відповідність довжини дозуючої планки та гребня колеса по всьому діаметру, запобігання потрапляння змащувальної речовини на поверхню кочення рейки, налаштування сторонності та витрати речовини (збільшеної, зменшеної в залежності від сторонності кривої та умов експлуатації).

2. Вимоги щодо мастильної речовини – діапазон дії у зимній період не менше ніж 1200 м, у літній період – до 3500 м, використання мастильної речовини впродовж всього року, висока стійкість від змиву речовини водою (дощем, снігом), екологічно чиста складова речовини, з можливістю органічного розпаду, потрапляння у мікроструктуру металу рейки та колеса

для тривалого зменшення сил тертя у парі, відсутність взаємодії з піском, для запобігання створення абразиву, тривалий термін зберігання мастильної речовини.

3. Вимоги підключення до електромережі рейкозмащувальної установки – електричний струм 220 В, 380 В у залежності від умов експлуатації, сонячні батареї, акумуляторні системи, для автономної тимчасової роботи РУ.

4. Вимоги щодо зберігання блоку управління РУ та бака для зберігання речовини – антивандальний компактний бетонний або металевий короб, з металевими дверима які закриваються на вбудований замок. Надійні трубопроводи для подачі мастильної речовини, кріпильні засоби для монтажу у колії. Точкова подача речовини в місце взаємодії бічної грані рейки і гребеня колеса або на гребінь колеса – регулювання подачі змащувальної речовини відносно профілю рейки. Простота у поточному утриманні механічних частин РУ.

На АТ «Укрзалізниця» працюють стаціонарні рейкозмащувальні установки плунжерного типу виготовлені КРМЗ Черкаси, КРМЗ Дебальцеве, ПДМ Самбір, КРМЗ Синельникове, Житомирський КРМЗ, ДЕЦ ст. Основа, які мають ряд недоліків, головні з яких:

- велика витрата мастильного матеріалу;
- попадання мастила на поверхню кочення рейок та колісної пари;
- відсутність підігріву в зимовий період.

Витрата мастильного матеріалу механічних рейкозмащувачів в середньому складає 40 л на 1 млн. т бруто пропущеного тоннажу.

Для змащення використовується мастило «АЗМОЛ-РЕЙСОЛ». Довжина змащувальної ділянки складає 700 м – 800 м.

На підйомах при попаданні мастила на поверхню кочення рейок та колісної пари локомотиви змушені застосовувати пісок аби не було буксування коліс, а мастило змішане з піском створює абразив, що дає зворотній ефект і прискорюється боковий знос рейок. Також при буксуванні коліс, якщо мастило

попадає на поверхню кочення рейок та колісної пари, виникають значні дефекти і пошкодження рейок (14.1-2, 24.1-2).

В зимовий період внаслідок відсутності підігріву мастила рейкозмащувачі демонтують або консервують до появи плюсових температур.

Досвід експлуатації рейкозмащувачів показує, що високий рівень економічної ефективності та розвиток систем колійної лубрикації неможливі без комплексного рішення наступних завдань:

- організація ефективного сервісного обслуговування устаткування на місцях експлуатації;
- модернізація устаткування, що експлуатується;
- пошук і реалізація технологічних рішень, що використовують наявну матеріальну базу;
- розроблення та впровадження нових технологій з використанням нового устаткування й матеріалів;
- ефективне технічне обслуговування устаткування впродовж усього життєвого циклу на базі підприємства-виробника.

На сьогодні питання розробки нових технологій лубрикації, що відповідають сучасним вимогам, в умовах росту швидкостей поїздів і вантажонапруженості ділянок мережі залізниць, є відкритим. За наявності на мережі залізниць України кривих загальною протяжності в тисячі кілометрів знос рейок, колісних гребенів і локомотивних бандажів часто досягає значних величин. При цьому заподіюваний зносом збиток виражається не лише в частішій зміні рейок і шпал та частішому обточуванні колісних гребенів, але також і у втраті сили тяги локомотиву; порівняно невелика поверхня контакту між новими колесами та новими рейками в процесі експлуатації збільшується і при цьому підвищується тертя та опір руху в кривих.

В АТ «Укрзалізниця» розроблено проект плану «Впровадження рейкозмащувальних систем для зменшення інтенсивності зносу рейок та елементів конструкції стрілочних переводів на залізничному транспорті України» до 2025 р., що передбачає поетапне вирішення проблеми зменшення

експлуатаційних витрат шляхом поетапного впровадження рейкозмащувальних установок з їх гарантійним та післягарантійним обслуговуванням для потреб залізничного транспорту України.

Для вирішення проблеми зносу рейок і гребенів колісних пар та досягнення найбільшого економічного ефекту пов'язаного зі зменшенням експлуатаційних витрат на утримання колійного та вагонного господарства пропонується впроваджувати сучасні стаціонарні рейкозмащувальні установки з програмним забезпеченням.

Стаціонарні рейкозмащувачі плунжерного типу, які ще експлуатуються, працюють не достатньо ефективно, вони фізично та морально застаріли. Високоєфективні та високотехнологічні рейкозмащувачі з програмним забезпеченням не працюють внаслідок відсутності комплектуючих деталей та сервісного обслуговування.

Пропонується плунжерні конструкції використовувати на коротких відстанях, наприклад 5–7 стрілочних переводів, що працюють по боковому напрямку.

Якщо стрілочна вулиця складається з більшої кількості переводів, то пропонується встановлювати рейкозмащувачі з програмним забезпеченням. Також рейкозмащувальні установки з програмним забезпеченням працюють на відстань до 3500 м, бажано з ухилами, які не перевищують 10%.

В інших випадках пропонується використовувати пересувні рейкозмащувачі на локомотиві або вагон-рейкозмащувач безконтактної дії.

3.3 Результати експериментальних досліджень змащувачів різних конструкцій

Проведемо дослідження роботи рейкозмащувачів та їх впливу на зменшення інтенсивності бокового зносу рейок у кривих ділянках колії. Аналізувалися ділянки, на яких спостерігали накопичення зносу з застосуванням змащування та за його відсутності (додаток А).

Для аналізу зносостійкості рейок були вибрані криві ділянки на яких по черзі в однакових умовах, а саме радіус кривої, величина ухилу, тип скріплення, підвищення, довжини перехідних та кругових кривих, з однаковими швидкісними режимами вантажних та пасажирських поїздів, вкладались рейки типу Р65 виготовленні з киснево-конверторної сталі К76Ф ПАТ «МК «АЗОВСТАЛЬ» з однаковими механічними властивостями, хімічним складом, мікро- і макроструктурою, що відповідають вимогам стандарту (ДСТУ 4344:2004), різних років виготовлення.

Характеристики ділянок випробувальних ділянок відображені в додатках Б, В. На підставі спостережень складені графіки залежностей бічного зносу рейок в залежності від пропущеного тоннажу при умові застосування лубрикації пересувними та стаціонарними рейкозмащувачами та при її відсутності (рис. 3.4).

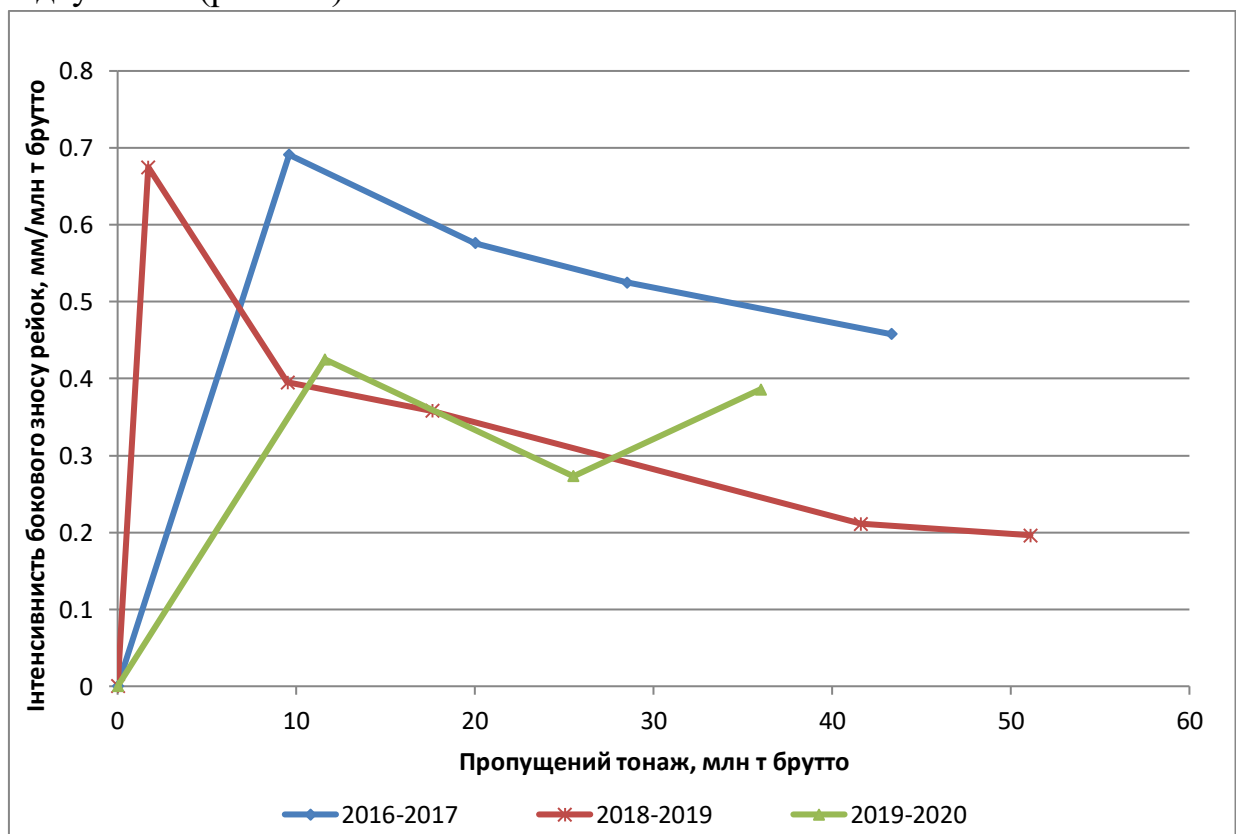


Рисунок 3.4 – Зменшення інтенсивності зносу рейок від застосування пересувних рейкозмащувачів

На рисунку 3.4 зображена інтенсивність бокового зносу рейок за результатами експлуатаційних спостережень у 2016–2017 р., 2018–2019 р. і 2019–2020 р. На графіку чітко спостерігається інтенсивний боковий знос на початковому періоді при пропущеному тоннажі до 10 млн. т бр. Це відбувається через декілька причин:

- по-перше, знімається безвуглецевий шар;
- по-друге, колесо і рейка «прироблюються» одне до одного, тобто знаходиться оптимальна ширина колії для більш плавного вписування екіпажа в криву.

Змащування пересувними рейкозмащувачами на базі локомотива ВЛ11М впроваджено у період з червня 2018 року. Інтенсивність бокового зносу знижена на рейках, що змащуються пересувними рейкозмащувачами. При порівнянні показників зносостійкості рейок до 2018 р. та після 2018 р. зменшення інтенсивності бокового досягає значення 2,17 – 2,33 разів.

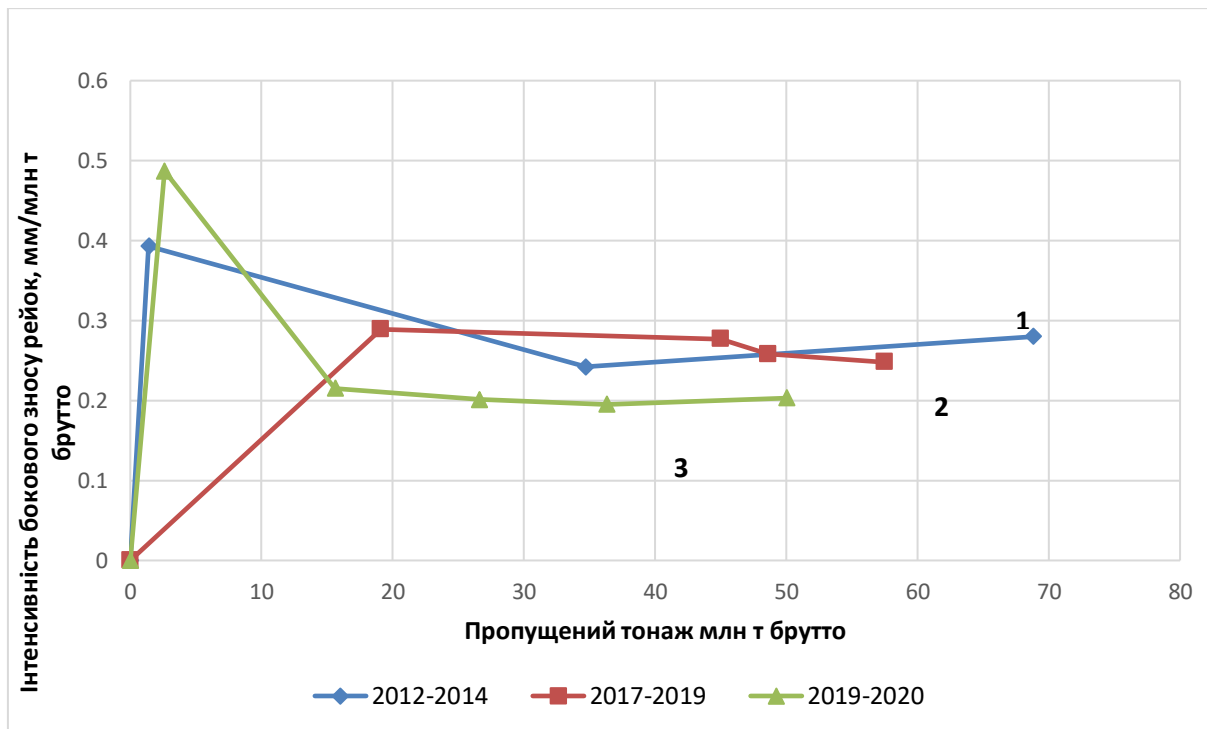


Рисунок 3.5 – Зменшення інтенсивності зносу рейок від застосування рейкозмащувачів плунжерного типу

Проаналізуємо показники інтенсивності бокового зносу рейок (рис. 3.5) при застосуванні рейкозмащувачів плунжерного типу. Для порівняння інтенсивності бокового зносу розглянемо результати експлуатаційних спостережень (додаток А) за рейками у 2012–2014 р. (1), 2017–2019 р. (2) і 2019–2020 р. (3). Порівнюючи показники зносостійкості рейок (1) та (2, 3) зменшення інтенсивності бокового досягає значення при використанні плунжерних лубрикаторів в 1,04 – 1,33 рази.

3.4 Економічні розрахунки ефективності впровадження рейко-гребне-змащувальних установок

Інтенсивність зносу рейок в кривих малого радіуса в окремих випадках становить 0,6 мм на 1 млн. пропущеного тоннажу, що при максимально допустимому зносі рейок 26 мм потребує їх заміни після пропуску 35-40 млн. тонн бруто в середньому через 1,0–1,5 року.

На напрямках інтенсивного руху поїздів знос рамних рейок до максимально допустимого значення в середньому відбувається за рік їх експлуатації. Щорічно для потреб АТ «Укрзалізниця» необхідно близько 5000 криволінійних гостряків з рамними рейками.

При середній вартості 125 тис. грн. за комплект рами з вістряком, витрати складають 625 млн. грн. Для заміни рейок з боковим зносом Укрзалізниці необхідно щорічно закуповувати біля 26 тис. тонн (200 км колії). При вартості 35 000 грн. за 1 тону витрати становлять 910 млн. грн.

Всього на АТ «Укрзалізниця» на сьогодні встановлено 613 стаціонарних рейкозмащувальних установок, з них 598 штук плунжерного типу та 15 установок з програмним забезпеченням.

Для визначення експлуатаційних властивостей стаціонарних рейкозмащувачів використовувались такі найпростіші показники:

- відсутність «сухої» взаємодії колеса та рейки, тобто скреготу коліс рухомого складу при проході кривих;

- відсутність металевої стружки на підшві рейок;
- відсутність мастила по поверхні кочення головки рейок;
- залишок явного сліду нанесення мастила через 800÷1000 метрів;
- заміри бокового зносу рейок в кривих ділянках колії з визначенням інтенсивності бокового зносу.

Аналізуючи експлуатаційні показники існуючих рейкозмащувальних установок можна зробити висновки, що найбільш ефективною конструкцією, враховуючи умови експлуатації, є рейкозмащувальні установки з програмним забезпеченням «SKF Lubrication Systems Germany GmbH».

Проведемо розрахунок економічної ефективності рейкозмащувальних установок з програмним забезпеченням «SKF Lubrication Systems Germany GmbH»:

1. Вихідні данні:

- 1) кількість тонн рейок з боковим зносом – 26 000 грн. без ПДВ;
- 2) вартість 1 т – 28 000 грн. без ПДВ;
- 3) термін служби рейок з боковим зносом – 1 рік;
- 4) термін служби рейок з боковим зносом за рахунок застосування рейкозмащувальних установок – 2 роки;
- 5) кількість комплектів рамних рейок з гостряками – 5 000 грн. без ПДВ;
- 6) вартість 1 комплекту – 100 000 грн. без ПДВ;
- 7) термін служби рамних рейок з гостряками – 1 рік;
- 8) термін служби рамних рейок з гостряками за рахунок застосування рейкозмащувальних установок – 1,5 роки;
- 9) вартість рейко змащувальних установок – 505 725 000,00 грн. без ПДВ.

Орієнтовна кількість рейкозмащувальних установок, (станції позакласні та 1-го класу з великою кількістю стрілочних переводів і криволінійних ділянок колії) зведених в додатку В складає 394 шт.

Орієнтовна кількість рейкозмащувальних установок необхідна в криволінійних ділянках колії складає 219 шт.

Загальна кількість рейкозмащувальних установок складає 613 шт.

Термін служби рейко змащувальної установки до ремонту – 10 років;

Вартість монтажних та пуско–налагоджувальних робіт – 61 300 000,00 грн. без ПДВ

Вартість обладнання для заправки РУ – 660 000,00 грн.

2. Розрахунок економічного ефекту від впровадження рейкозмащувальної установки:

$E = E_{\text{річ.}} - C_{\text{н}} * (K_1 + K_2)$, де:

E – річний економічний ефект;

$E_{\text{річ}}$ – річна економія, викликана впровадженням рейкозмащувальних установок;

$C_{\text{н}}$ – нормативний коефіцієнт ефективності (= 0,15);

K_1 – капітальні вкладення на придбання рейкозмащувальних установок і обладнання для заправки РУ;

K_2 – витрати на монтажні та пуско-налагоджувальні роботи при установці рейкозмащувальних установок;

$E_{\text{річ}}$ визначається наступним чином:

– за 10 років експлуатації рейкозмащувальних установок заміна рейок з боковим зносом складає п'ять разів, сума витрат складе $28000 \text{ грн.} \times 26000 \times 5 = 3\,640\,000\,000,00 \text{ грн.}$;

– без застосування рейкозмащувальної установки рейки з боковим зносом будуть замінюватись кожен рік і сума витрат складе $28000 \text{ грн.} \times 26000 \times 10 = 7\,280\,000\,000,00 \text{ грн.}$;

– економія за 10 років – $3\,640\,000\,000,00 \text{ грн.}$;

– економія за 1 рік – $364\,000\,000,00 \text{ грн.}$

– за 10 років експлуатації рейкозмащувальної установки заміна рамних рейок з гострьками складає 6,7 раз, тобто сума витрат складе $100000 \text{ грн.} \times 5000 \times 6,7 = 3\,350\,000\,000,00 \text{ грн.}$;

– без застосування рейкозмащувальної установки рамні рейки з гострьками будуть замінюватись кожен рік і сума витрат складе 100 000 грн. $\times 5000 \times 10 = 5\,000\,000\,000$ грн.;

– економія за 10 років – 1 650 000 000,00 грн.;

– економія за 1 рік – 165 000 000,00 грн.

Всього річна економія від застосування рейко змащувальних установок складе 529 000 000,00 грн.

Економічний ефект від впровадження РУ:

$$E = 529000000,00 - (0,15 \times 567025000,00) = 443\,946\,250,00 \text{ грн.}$$

Визначення терміну окупності системи:

$$T_{\text{год.}} = K_1 + K_2 / \Pi_{\text{ч}}, \text{ де:}$$

$T_{\text{год.}}$ – термін окупності;

K_1 – капітальні вкладення на придбання РУ і обладнання для заправки РУ;

K_2 – витрати на монтажні і пуско-налагоджувальні роботи;

$\Pi_{\text{ч}}$ – чистий прибуток за рік.

$$T_{\text{год.}} = 529000000,00 / 443946250,00 = 1,2 \text{ року.}$$

Вартість однієї РУ становить 25 000,00 євро б/ПДВ (за даними офіційного представника «SKF Lubrication Systems Germany GmbH» в Україні). За біржовим курсом на 09.06.2021 р. 1 € = 33,00 грн. вартість РУ. Вартість 613 шт. РУ складе 5 05 725 000,00 грн. без ПДВ.

Вартість монтажних і пуско-налагоджувальних робіт з установки однієї РУ становить 100 000,00 грн. без ПДВ.

Вартість монтажних і пуско-налагоджувальних робіт з установки 613 шт. РУ складе 61 300 000,00 грн. без ПДВ.

Вартість обладнання для заправки РУ складає 4 000,00 євро б/ПДВ. За біржовим курсом 09.06.2021 р. 1 € = 33,00 грн., вартість однієї одиниці обладнання складає 132000,00 грн. без ПДВ. Вартість 5-ти штук складе 660 000,00 грн. без ПДВ.

3.5 Висновки за 3 розділом

1. Рейко- та гребнезмащування має позитивний вплив на зменшення інтенсивності бічного зносу та може знижувати боковий знос рейок до 2,5 разів. Для зменшення зносу рейок і гребенів колісних пар та досягнення найбільшого економічного ефекту пов'язаного зі зменшенням експлуатаційних витрат на утримання колійного та вагонного господарства сформовано для систем змащення вимоги.

2. Очевидно, що на невеликих станціях, де стрілочна вулиця складається з 5–7 стрілочних переводів, буде економічно необґрунтовано використання вартісних стаціонарних рейкозмащувачей з програмним забезпеченням. В даних умовах доцільно використовувати плунжерні конструкції рейкозмащувачів.

3. Якщо стрілочна вулиця складається з більшої кількості переводів на станціях 1 класу або позакласних станціях, в цих випадках пропонується встановлювати рейкозмащувачі з програмним забезпеченням. Також рейкозмащувальні установки з програмним забезпеченням будуть приносити економічний ефект в тих випадках, коли на 2-х – 3-х кілометрах на відстані до 3500 м, ділянки колії будуть включати криві радіусом 450 м і менше. В інших випадках пропонується використовувати пересувні рейкозмащувачі на локомотиві або вагон-рейкозмащувач безконтактної дії.

4. Рейкозмащувачі «SKF Lubrication Systems Germany GmbH» окупляються через 1,2 роки, але потребують значних капітальних вкладень, ретельного технічного нагляду та систематичної технічної підтримки. Досвід використання таких систем показав певні організаційні складнощі, які можуть нівелювати технічний ефект.

4 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИЛ ВЗАЄМОДІЇ РУХОМОГО СКЛАДУ З КОЛІЄЮ ЗІ СТАНДАРТНИМИ РЕЙКАМИ ТА ДОВГИМИ РЕЙКАМИ

За результатами експериментальних досліджень в експлуатаційних умовах, встановлено значний вплив стикових з'єднань на показники інтенсивності зносу рейок і гребенів коліс [12, 20, 15, 23, 38, 47, 48, 49] в складних умовах експлуатації. Для виконання порівняльного аналізу результатів експлуатаційних та теоретичних досліджень проведено математичне моделювання взаємодії рухомого складу з рейковою колією при ланковій конструкції з рейками стандартної довжини, а також при рейках довжиною 120 м, що зменшують кількість стиків.

4.1 Основні положення з вибраної відомої розрахункової схеми та розробці математичної моделі динамічної системи «екіпаж-колія»

Оскільки головними факторами впливу на боковий знос рейок і гребенів коліс рухомого складу згідно висновків першого і другого розділу є умови вписування екіпажів в криві ділянки колії малих радіусів, а також зростання горизонтальних поперечних та вертикальних сил ударного характеру пов'язаних з динамікою взаємодії рухомого складу у стиках, для використання математичної моделі сил взаємодії при вписуванні рухомого складу у криві, необхідно за основу взяти методи дослідження [18, 20, 25, 28, 30, 31, 32, 50], які дозволять проводити розрахунки з врахуванням основних факторів, таких як:

- довжина балок (рейок), що спираються на опори, які мають нелінійні пружно-дисипативні властивості у вертикальній і горизонтальній площині;
- вплив ударної дії стиків на динаміку та плавність руху;
- визначення оптимальної кількості стиків для плавності руху та їх розміщення по довжині кривої;

– використання модифікаторів тертя для зменшення сил тертя в зоні контакту рейки та колеса.

У зв'язку з наведеними основними напрямками досліджень, ціллю і завданнями роботи передбачається дослідження динамічних процесів взаємодії елементів рейкової колії та рухомих транспортних засобів, що дозволяють встановити основні залежності формування екстремальних навантажень при взаємодії в просторовому окресленні колії з різними величинами коефіцієнта тертя між боковими поверхнями головок рейок та реборд коліс.

В методиці виконання досліджень допускається, що всі складові частини та вузли механічної системи, включаючи частини колійної структури та рухомих засобів в вигляді твердих тіл, з'єднаних між собою шарнірами, пружно-дисипативними або жорсткими з'єднаннями, розташованими в вертикальному поперечному та повздовжньому напрямках відносно основної осі руху транспортного засобу згідно наукових розробок [22, 31, 32, 39, 51].

В основі задачі, що вирішується покладені класичні рівняння Лагранжа II роду з використанням кінетичної і потенціальної енергій та функції розсіяння енергії в системі, загальні сили, не маючи потенціалу, а також узагальнені координати відносно рейок коліс, колісних пар, кузова, надресорних балок, бічних рам і ін.

Оцінка впливів цих факторів базується на наукових основах методів досліджень розроблених відомими вченими В.А. Лазаряном, В.Ф. Ушкаловим, М.О. Радченко, В.Д. Дановичем, М.Ф. Веріго, О.Я. Коганом, Г.М. Шахунянцем, Є.П. Блохіним, В.С. Лисюком, В.В. Рибкіним, М.І. Карпущенко [13, 14, 17, 21, 30, 32, 51 – 55] і ін., Булатом А.Ф., Говорухой В.В. [20, 28, 31, 50 – 55, 56].

Для дослідження руху рейкових транспортних засобів по колії довільного окреслення в плані диференційні рівняння його просторових коливань складено з урахуванням рівняння криволінійної осі колії. В роботі

розглянута розрахункова схема чотиривісного екіпажу, яка є основною серед вантажних вагонів.

4.2. Система відліку координат та розрахункова схема системи «екіпаж-колія»

Для виконання теоретичних досліджень динамічної взаємодії «колесо-рейка» використана система координат для математичного моделювання процесів руху транспортного засобу та рейкової колії (рис. 4.1). За системи відліку обрано одну нерухому базову систему координат $O*\xi\eta\zeta$, та для кожного твердого тіла рухомого транспортного засобу по дві рухомі системи: природну $OXYZ$ і зв'язану з твердим тілом $CX'Y'Z'$ (CX' , CY' , CZ' – головні центральні осі інерції). Всі системи координат прийнято правими, при цьому осі $O*\xi$, OX та OX' спрямовані зліва направо, а осі $O*\zeta$, OZ , та OZ' – вниз (рис. 4.1). Осі природної системи координат спрямовано відповідно по дотичній, нормалі та бінормалі до осі колії. Початок координат O для кожного твердого тіла знаходиться на відстані пройденого шляху S , м від його вихідного положення в початковий момент часу. Положення природної системи координат відносно базової нерухомої системи характеризується дуговою координатою вздовж осі колії S , кутами χ , рад і φ_h , рад між осями OX і $O*\xi$ відповідно в плані і у вертикальній поздовжній площині, а також кутом θ_h , рад між осями OY і $O*\eta$ у вертикальній поперечній площині. Величини φ_h і θ_h визначаються підвищенням зовнішньої рейки h_R , м параметри колії, χ , h_R – задані функції координати S [20].

Положення кожного твердого тіла відносно базової природної системи координат описується поступальними переміщеннями посмикування x , м, бокового відносу y , м та підстрибування z , м, а також кутовими переміщеннями вилання ψ , рад, галопування ϕ , рад і бічної хитавиці θ , рад [18, 20, 31, 32, 57].

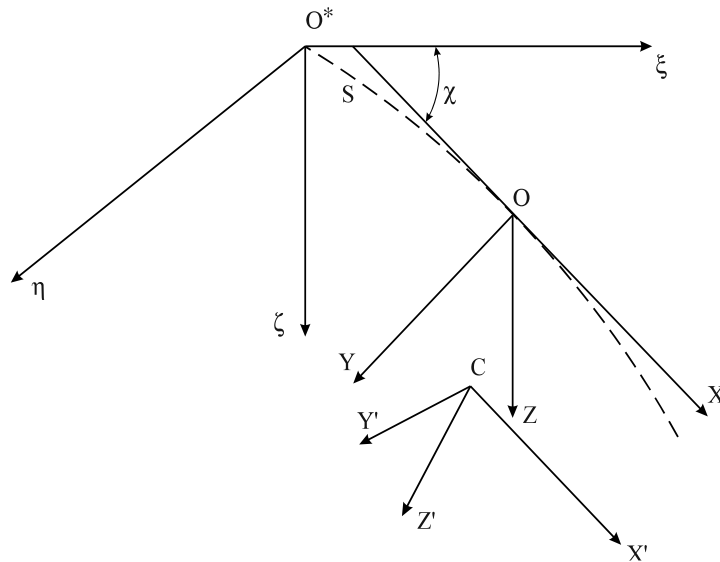


Рисунок 4.1 – Системи координат для математичної моделі
рухомого транспортного засобу:

$O^*\xi\eta\zeta$ – нерухома базова система координат;

$OXYZ$ – рухома природна система координат;

$CX'Y'Z'$ – зв'язана з тілом рухома система координат;

CX' , CY' , CZ' – головні центральні осі інерції твердого тіла;

S – шлях, пройдений тілом;

χ – кут між осями Ox і $O^*\xi$ в плані.

Основні несучі елементи візків – це надресорні балки, бічні рами і колісні пари. Ресорний комплект складається із циліндричних дворядних пружин та фрикційних клинових гасителів коливань.

В спрощеній розрахунковій схемі (рис. 4.2) загальний вигляд рухомого транспортного засобу представлено у вигляді механічної системи одинадцяти твердих тіл (кузова, двох надресорних балок, чотирьох бічних рам і чотирьох колісних пар), з'єднаних пружно дисипативними елементами із зазорами або без них.

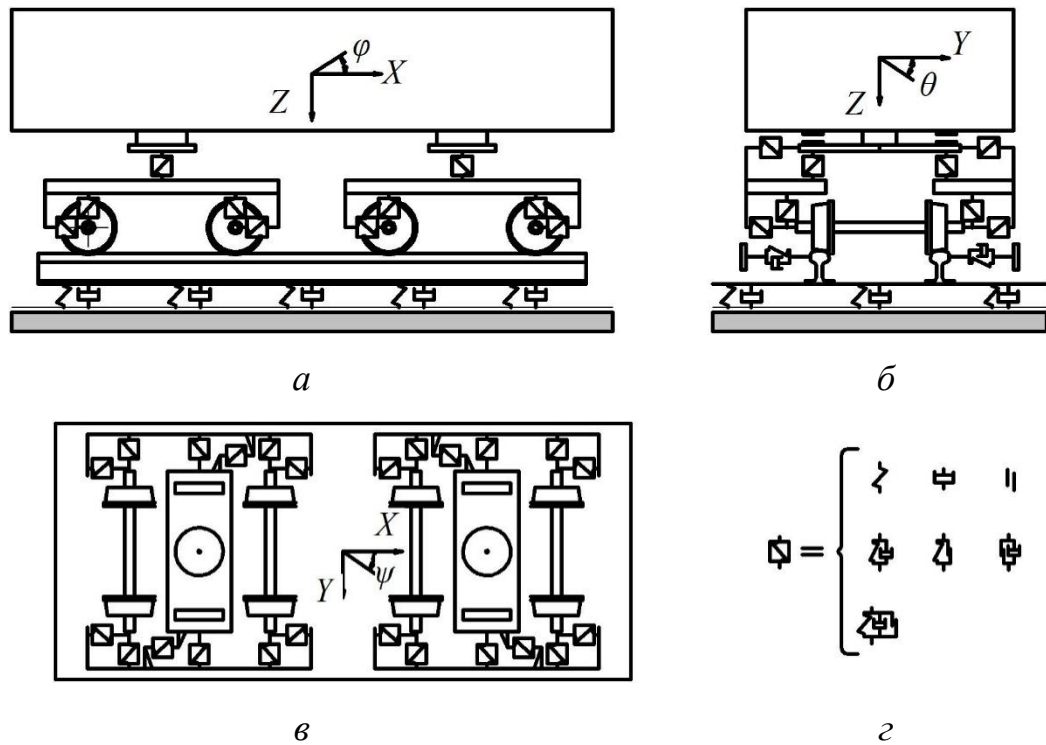


Рисунок 4.2 – Спрощена загальна розрахункова схема загального вигляду системи «вантажний вагон-колія»:

a – вид збоку; *б* – вид з торця; *в* – вид зверху;

г – умовні позначення елементів зв'язку між частинами системи

На рисунку 4.3 показана уточнена розрахункова схема симетричної правої частини загального вигляду системи «вантажний вагон-колія» взятий з загальної розрахункової схеми загального виду приведенного на рис. 4.2. При цьому на рис. 4.3, *a*, *б*, *в*, *г* пружно дисипативні зв'язки між частинами і елементами вантажного вагона і колії умовно відповідають позначеними числами з наступними зв'язками: 1 – пружно дисипативний елемент з в'язким тертям; 2 – пружно дисипативний елемент з сухим тертям; 3 – елемент сухого тертя; 4 – елемент сухого тертя з послідовним з'єднанням з пружним елементом; 5 – пружно дисипативний елемент з паралельним з'єднанням після вибору зазору з додатковим пружним елементом; 6 – пружний елемент, діючий після вибору зазору [18, 20].

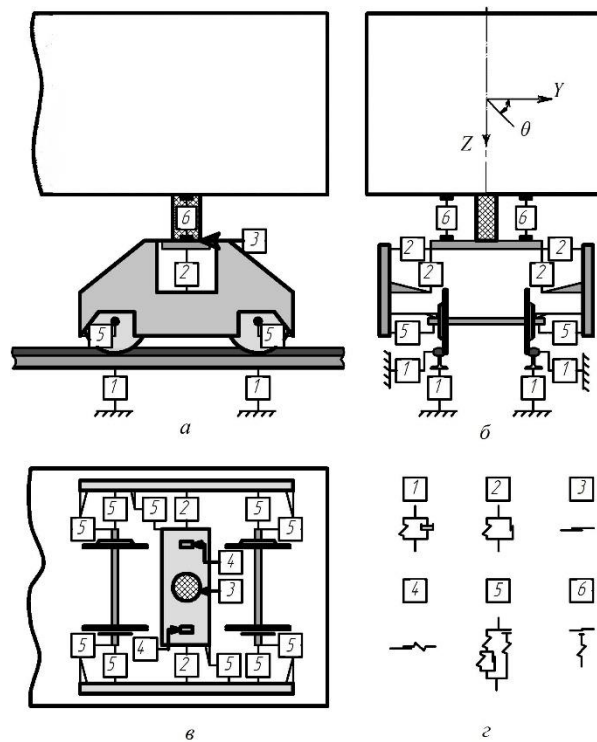


Рисунок 4.3 – Уточнена розрахункова схема симетричної правої частини загального вигляду системи «вантажний вагон-колія»:

а – вид збоку; *б* – вид з торця; *в* – вид зверху;

г – умовні позначення елементів зв'язку між частинами системи

Розрахункова схема дає змогу враховувати такі особливості рейкових транспортних засобів [20]:

- спирання кузова на надресорні балки за допомогою плоских п'ятників і жорстких ковзунів із зазорами;
- дію ударного моменту під час змикання зазорів поміж ковзунами кузова і візків;
- дію моменту сил сухого тертя в площині спирання п'ятника на підп'ятник при коливаннях впливння надресорної балки відносно кузова;
- дію на кузов і на надресорні балки візків перекидного та відновного моментів при бічних коливаннях;
- можливість взаємних переміщень надресорних балок і бічних рам в горизонтальному поперечному, вертикальному та кутовому в плані напрямках;

- можливість взаємних переміщень бічних рам і колісних пар в усіх напрямках;
- зазори у зв'язках поміж твердими тілами системи;
- нелінійні профілі контактних поверхонь кочення коліс і рейок.

Враховано інерційні та пружно-дисипативні властивості колії. Вона моделюється зведеною до кожного колеса масою, що має два ступені вільності та спирається у вертикальному і горизонтальному поперечному напрямках на пружини і демпфери в'язкого тертя.

При позначенні координат твердих тіл системи, що розглядається, введені такі індекси: надресорних балок – be ($e = 1, 2$ – номер візка за ходом руху вагона), бічних рам – fej (для лівої сторони екіпажу $j = 1$, для правої $j = 2$), колісних пар – sei ($i = 1, 2$ – номер колісної пари у візку), коліс – $weij$, рейок під колесами – $reij$.

Математична модель процесів взаємодії рейкової колії та коліс ходових частин рухомого транспортного засобу в криволінійних ділянках рейкового транспорту з урахуванням просторових коливань при довільному окресленні в плані та профілі траєкторії руху в кривих особливо малих радіусів кривизни враховує можливість виникнення фаз одно- і двоточкового контакту на контактних поверхнях обода колеса і головки рейки. Вважається, що дотичні сили взаємодії є силами крипу [18, 20, 31, 32].

Диференціальні рівняння коливань системи «рухомий транспортний засіб – рейкова колія» складені як рівняння Лагранжа другого роду

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_v} - \frac{\partial T}{\partial q_v} + \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{q}_v} + \frac{\partial \Pi}{\partial q_v} = Q_v \quad (v = 1, 2, \dots, n), \quad (4.1)$$

де q_v – узагальнені координати;

Q_v – відповідні їм узагальнені сили;

T і Π – кінетична і потенціальна енергії, Дж;

Φ – функція розсіювання енергії, Вт;

n – число ступенів вільності системи.

При виборі узагальнених координат ураховано такі обмеження, накладені на систему «рухомий транспортний засіб – рейкова колія» унаслідок конструктивних особливостей і зроблених припущень:

- надресорні балки переміщуються разом з п'ятниками кузова при коливаннях підстрибування, бічного віднесення, сіпання і галопування;
- поздовжні переміщення бічних рам визначаються через переміщення надресорних балок у припущенні про відсутність поздовжніх зазорів між цими тілами;
- бічною хитавицею бічних рам можна нехтувати.

З урахуванням перерахованих геометричних обмежень число ступенів вільності системи, що досліджується та наводиться, як приклад дорівнює 62.

Позначення узагальнених координат приведено в табл. 4.1.

Кінетична та потенціальна енергії системи «рухомий транспортний засіб – рейкова колія» дорівнюють сумі відповідних енергій транспортної системи. Аналогічно розраховується функція розсіювання енергії в системі.

Таблиця 4.1 – Позначення узагальнених координат

Елементи розрахункової схеми	Узагальнені координати
Кузов	$x, y, z, \theta, \varphi, \psi$
Надресорні балки	θ_{be}, ψ_{be}
Бічні рами	$y_{fej}, z_{fej}, \varphi_{fej}, \psi_{fej}$
Колісні пари	$x_{sei}, y_{sei}, \psi_{sei}$
Колеса	z_{weij}
Рейки	z_{reij}, y_{reij}

За відомою теорією Кеніга кінетична енергія екіпажу дорівнює сумі енергій всіх складових його твердих тіл. Кінетична енергія кожного твердого тіла розраховується як сума двох складових [18, 20, 31, 32]: енергії T_c поступового руху, яке визначається рухом центру мас,

$$T_c = \frac{1}{2} m (\dot{\xi}^2 + \dot{\eta}^2 + \dot{\xi}^2) = \frac{1}{2} m \left[(\dot{S} + \dot{x} - y\dot{\chi})^2 + (\dot{y} + x\dot{\chi})^2 + \left(\dot{z} - \frac{1}{2} \dot{h}_R \right)^2 \right], \quad (4.2)$$

і енергії T_{Ω} сферичного руху відносно центра мас

$$\begin{aligned} T_{\Omega} &= \frac{1}{2} (I_x \omega_{x'}^2 + I_y \omega_{y'}^2 + I_z \omega_{z'}^2) = \\ &= \frac{1}{2} I_x (\dot{\theta} + \dot{\theta}_h)^2 + \frac{1}{2} I_y (\dot{\phi} + \dot{\phi}_h)^2 + \frac{1}{2} I_z (\dot{\psi} + \dot{\chi})^2, \end{aligned} \quad (4.3)$$

де m – маса тіла, т, що розглядається;

I_x, I_y, I_z – його головні центральні моменти інерції, $\text{т} \cdot \text{м}^2$;

$\omega_x, \omega_y, \omega_z$ – кутові швидкості, рад/с пов'язаної з твердим тілом системи координат.

Потенціальна енергія рухомого транспортного засобу (вагона) Π дорівнює сумі енергій пружних деформацій Π_1 і змінінню енергії Π_2 внаслідок підйому або опусканню центрів тяжіння тіл, що входять в систему. Потенціальна енергія Π_1 визначається за теоремою Клапейрона як квадратична функція величин стискування пружних елементів Δ [18, 20, 31, 32]:

$$\Pi_1 = \frac{1}{2} \sum_{\sigma=1}^{n_1} (k_{\sigma z} \Delta_{\sigma z}^2 + k_{\sigma y} \Delta_{\sigma y}^2 + k_{\sigma x} \Delta_{\sigma x}^2 + k_{\sigma \psi} \Delta_{\sigma \psi}^2), \quad (4.4)$$

де $k_{\sigma z}, k_{\sigma y}, k_{\sigma x}$ – жорсткості σ -го пружного елемента у вертикальному, горизонтальному поперечному і поздовжньому напрямках відповідно, кН/м;

$k_{\sigma \psi}$ – кутова жорсткість в плані σ -го пружного елемента кН·м/рад;

n_1 – кількість пружних елементів у системі;

$\Delta_{\sigma z}, \Delta_{\sigma y}, \Delta_{\sigma x}$ – деформації σ -го пружного елемента, м у вертикальному, горизонтальному поперечному и поздовжньому напрямках;

$\Delta_{\sigma \psi}$ – кутова деформація елемента в плані, рад.

Потенціал Π_2 визначається з урахуванням підйому або опусканню центрів тяжіння тіл при їх поперечному переміщенні. Для кожного твердого тіла системи

$$\Pi_2 = -mg(z + \theta_h y), \quad (4.5)$$

де g – прискорення вільного падіння, м/с^2 .

Функція розсіювання енергії Φ рухомого транспортного засобу (вагона) записується у вигляді [31, 32, 50, 54]:

$$\Phi = \frac{1}{2} \sum_{\sigma=1}^{n_2} (\beta_{\sigma z} \dot{\Delta}_{\sigma z}^2 + \beta_{\sigma y} \dot{\Delta}_{\sigma y}^2 + \beta_{\sigma x} \dot{\Delta}_{\sigma x}^2 + \beta_{\sigma \psi} \dot{\Delta}_{\sigma \psi}^2) + \sum_{\sigma=1}^{n_3} \left(B_{\sigma z} |\dot{\Delta}_{\sigma z}| + B_{\sigma y} |\dot{\Delta}_{\sigma y}| + B_{\sigma x} |\dot{\Delta}_{\sigma x}| + B_{\sigma \psi} |\dot{\Delta}_{\sigma \psi}| \right), \quad (4.6)$$

де β – коефіцієнти розсіювання енергії у демпферах в'язкого тертя, $\text{м}^2/\text{с}$;

B – амплітудні значення сил, кН сухого тертя (n_2, n_3 – кількість демпферів в'язкого і сухого тертя в системі відповідно).

У виразах (9), (11) деякі з коефіцієнтів k, β, B в залежності від конструкції візка, що розглядається, можуть дорівнювати нулю.

Формула для визначення кінетичної енергії колії має вигляд [20]

$$T_r = \frac{1}{2} m_{rz} \sum_{e=1}^2 \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \dot{z}_{reij}^2 + \frac{1}{2} m_{ry} \sum_{e=1}^2 \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 y_{reij}^2. \quad (4.7)$$

Потенціальна енергія рейкової колії розраховується таким чином [20]

$$\Pi_r = \frac{1}{2} k_{rz} \sum_{e=1}^2 \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 z_{reij}^2 + \frac{1}{2} k_{ry} \sum_{e=1}^2 \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 y_{reij}^2. \quad (4.8)$$

Функцію розсіювання енергії в рейковій колії представлено у вигляді [20]

$$\Phi_r = \frac{1}{2} \beta_{rz} \sum_{e=1}^2 \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \dot{z}_{reij}^2 + \frac{1}{2} \beta_{ry} \sum_{e=1}^2 \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \dot{y}_{reij}^2, \quad (4.9)$$

де β_{rz}, β_{ry} , – коефіцієнти в'язкого опору рейкової колії, приведені до одного колеса.

Для системи «рухомий транспортний засіб – рейкова колія», що розглядається, узагальнені сили Q_v дорівнюють сумі узагальнених сил Q_v^t , що не мають потенціалу, і узагальнених сил Q_v^{ni} , що ураховують неінерціальність введених систем відліку.

Сили Q_v^t дорівнюють складовим дотичних сил взаємодії, що діють на контактні бічних поверхонь реборд коліс та головок рейок при урахуванні можливих фаз контакту.

Сили Q_v^{ni} визначаються за формулою [18, 20, 31, 32]:

$$Q_v^{ni} = \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_v} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_v} = Q_v^{omni} + Q_v^o + Q_v^\omega + Q_v^{\dot{\omega}} + Q_v^{kop}, \quad (4.10)$$

де $Q_v^{omni} = f(\ddot{q}_v)$ – узагальнена сила інерції відносного руху;
 $Q_v^o = f(\ddot{S}, \dot{S}\dot{\chi}, \ddot{h}_R)$ – узагальнена сила інерції поступового переносного руху тіл, що розглядаються, разом з системами відліку $Oxyz$; $Q_v^\omega = f(q_v \dot{\chi}^2)$ – узагальнена відцентрова сила інерції, яка ураховує переносне обертання тіл разом з системами відліку $Oxyz$ довкола точки O ; $Q_v^{\dot{\omega}} = f(\ddot{\chi}, q_v, \ddot{\chi}, \ddot{\theta}_h, \ddot{\phi}_h)$ – узагальнена сила інерції, що обертає, яка ураховує непостійність кутової швидкості переносного обертання тіл разом з системами відліку $Oxyz$ довкола точки O перехідної кривої; $Q_v^{kop} = f(\dot{q}_v \dot{\chi})$ – коріолісова узагальнена сила інерції, що ураховує взаємний вплив відносного руху і переносного обертання тіл.

Викладені рівняння (4.1–4.10) [18, 20, 31, 32] формують складну математичну модель дослідження процесів взаємодії рейкової колії та коліс ходової частини рухомого складу для визначення параметрів технічних засобів в криволінійних ділянках рейкового транспорту. В процесі досліджень установлюються найбільш важливі показники динамічних процесів рухомих транспортних засобів та рейкової колії довільного окреслення, що впливають на бічний знос контактних поверхонь головок рейок та реборд коліс при різних величинах коефіцієнтів тертя між ними включаючи навантаженість, коливання, стійкість руху, потужності сил тертя в точках взаємного контакту [18, 20].

4.3 Результати математичного моделювання взаємодії колії та рухомого складу

Теоретичні дослідження впливу параметрів рейкової колії і коефіцієнтів тертя між боковими поверхнями рейки та реборд коліс на динамічні показники рухомих транспортних засобів, а також знос пари «колесо-рейка» виконано в порівнянні показників взаємодії рухомих одиниць і рейкової колії, оптимальних для випадків їх руху по колії із стандартними рейками довжиною

25 м і стиковими з'єднаннями між ними, а також рейкової колії з довгими рейками.

Розглядався рух транспортного засобу з двувісними візками по круговій кривій радіуса 275 м. Довжина перехідних кривих 75 м, довжина кругової кривої 250 м, загальна довжина колії, що досліджувалась, 400 м.

На кожній із перехідних кривих (вхідній і вихідній) зі стандартними рейками розташовано по чотири стикові нерівності (дві з них знаходяться в місцях сполучення прямої з перехідною кривою і перехідної з круговою кривою), на круговій кривій розташовано вісім стиків. Таким чином, загальна кількість стиків колії зі стандартними рейками складає 16 шт.

Вздовж всієї криволінійної ділянки з довгими рейками розташовано лише чотири стикові нерівності. Перший стик знаходиться на прямій за 12,5 м до початку вхідної перехідної кривої, другий – в кінці цієї перехідної кривої за 10 м до початку кругової кривої, третій – на вихідній перехідній на відстані 10 м від кінця кругової кривої, четвертий – на прямій на відстані 12,5 м від кінця вихідної перехідної кривої.

З урахуванням експериментальних даних замірів стикових нерівностей колії розрахункові збурення в вертикальному і горизонтальному напрямках модулюються формулою:

$$\eta_i(x) = \frac{A_i}{2} \left(1 - \cos \frac{2 \cdot \pi \cdot x}{L_i} \right), \quad (4.11)$$

де A_i – амплітуда нерівності, (м);

L_i – загальна довжина нерівності, (м);

x – відстань від начала нерівності до ординати $\eta_i(x)$, м;

i – напрямок дії стикового збурення (z, y).

Довжина стикових нерівностей приймалася за результатами експериментальних вимірів на дослідних ділянках рейкової колії ($R=274$ м): $L_z = 3$ м, $L_y = 6$ м. Розглянуто чотири варіанти амплітудних значень нерівностей (що відповідають різним значенням пропущеного вантажу): у вертикальному напрямку 2 мм, 4 мм, 6 мм, 8 мм, а у горизонтальному напрямку – нижчі в 2

рази за вертикальні, тобто 1 мм, 2 мм, 3 мм, 4 мм. Підвищення зовнішньої рейки приймалося рівним 80 мм, ширина колії в круговій кривій – 1540 мм в порівнянні з номінальною шириною колії 1520 мм.

Оцінювалися залежності максимальних значень нормованих характеристик рухомого транспортного засобу при його русі зі швидкостями 40-80 км/год по криволінійних ділянках колії зі стандартними і рейками довжиною 120 м.

На рисунках 4.4, 4.5 приведено залежності максимальних значень показників зносу коліс і рейок: кут набігання α (рад) колісної пари на зовнішню рейку та один із факторів зносу коліс – потужність сил тертя M_{wear} (Вт) (скалярне множення сил крипу і швидкості коліс відносно рейки) в точці контакту.

На рис. 4.4 показані результати, отримані для випадку руху вантажного вагона по кривій зі стандартними рейками, на рис. 4.5 – по кривій з довгими рейками. Як бачимо, показник M_{wear} при укладанні довгих рейок (на відміну від стандартної колії) мало залежить від амплітудних значень стиків і нижчий ніж у випадку використання стандартних рейок на 10–20 % в залежності від швидкості руху вагона. Помітно зменшується і показник α , особливо у випадках наявності третього і четвертого варіантів стикових нерівностей.

Переваги використання колії з довгими рейками на круговій кривій свідчить рис. 4.6, на якому показано залежність показника інтенсивності зносу бічною поверхні рейки (питомої роботи сил тертя) від пройденого шляху при русі навантаженого вагона по кривій радіуса 275 м з рейками довжиною 120 м та стандартними рейками. Бачимо, у колії зі стиковими нерівностями бічні грані головок рейок зношуються нерівномірно на відміну від колії з довгими рейками, що збільшує термін служби останньої по критерію максимального зносу рейок.

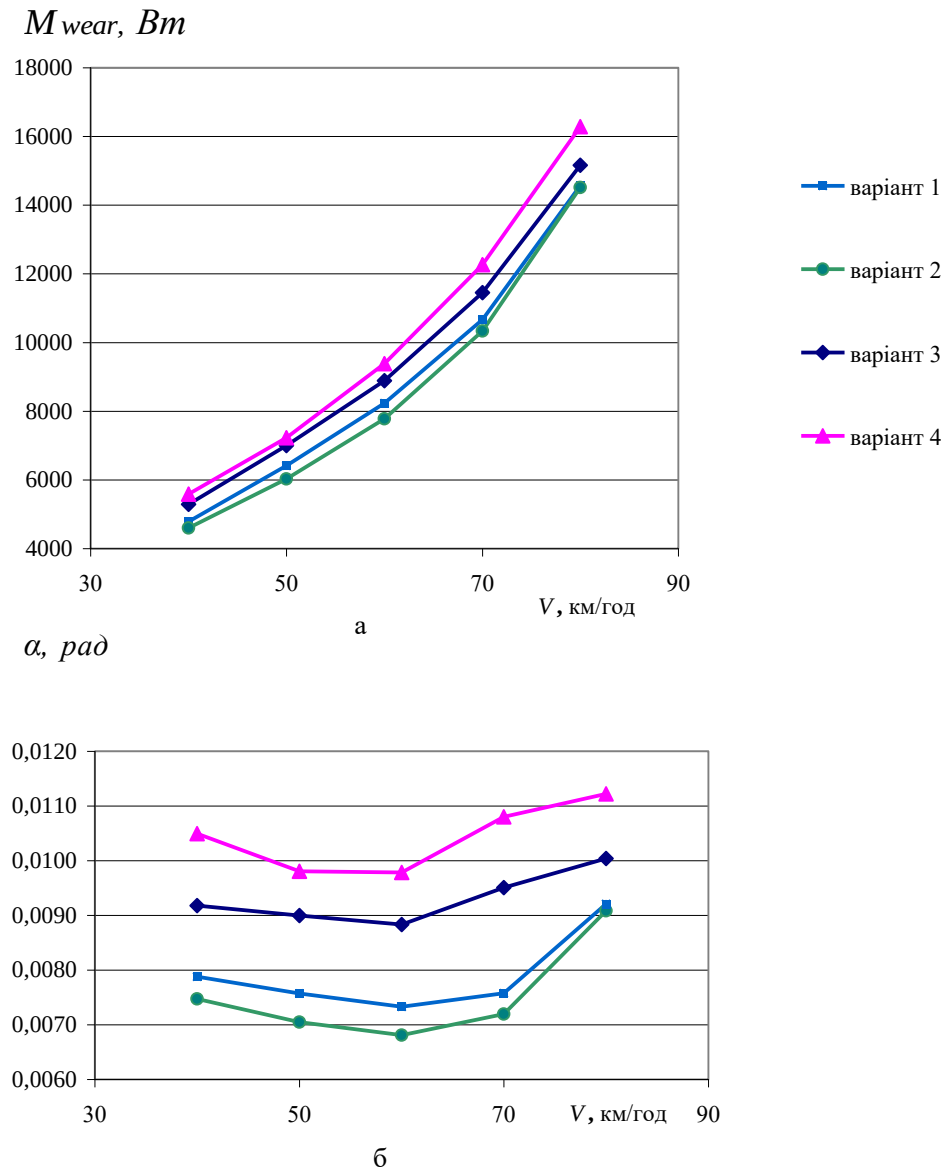


Рисунок 4.4 – Залежності максимальних значень факторів зносу коліс і рейок від швидкості руху вагона по кривій радіуса 275 м зі стандартними рейками:

а – потужність сил тертя в точках контакту;

б – кут набігання колісної пари на зовнішню рейку

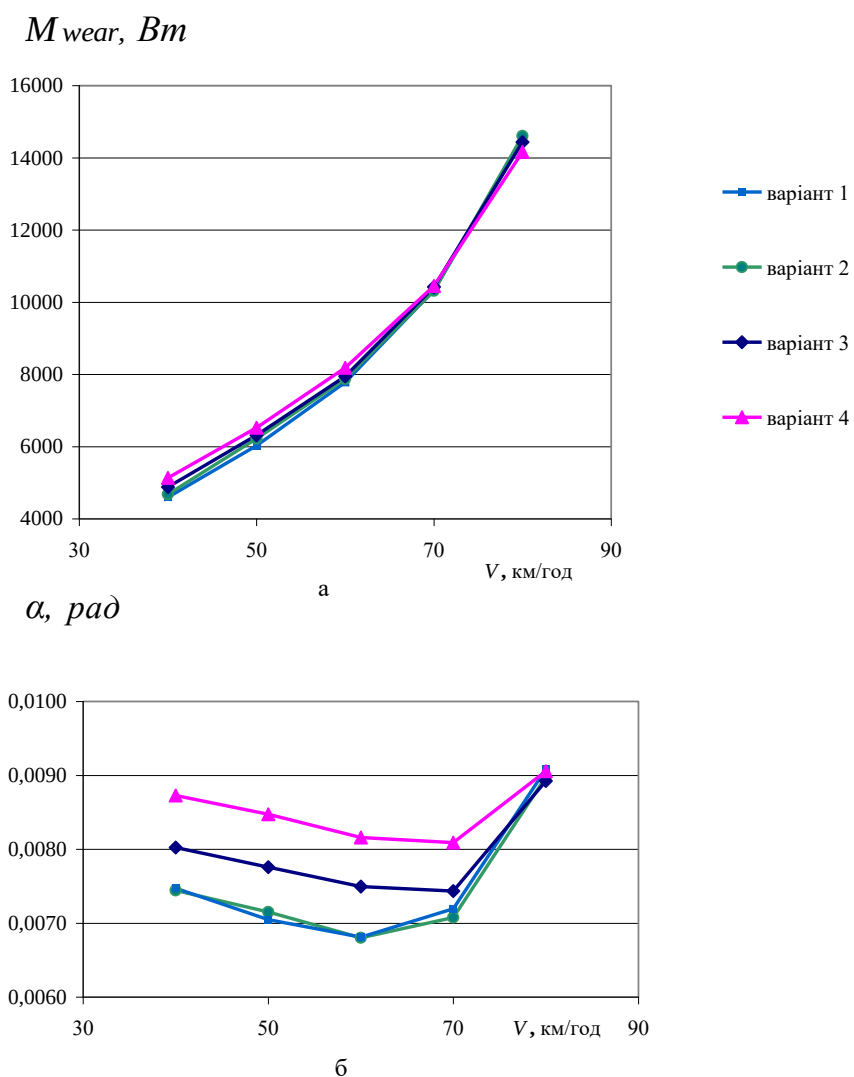


Рисунок 4.5 – Залежності максимальних значень факторів зносу коліс і рейок від швидкості руху вагона по кривій радіуса 275 м з довгими рейками:

а – потужність сил тертя в точках контакту;

б – кут набігання колісної пари на зовнішню рейку



Рисунок 4.6 – Залежність показника інтенсивності зносу бічною поверхні рейки (питомої роботи сил тертя) від пройденого шляху при русі навантаженого вагона по кривій радіуса 275 м з довгими та стандартними рейками

4.4. Порівняння результатів математичного моделювання та експериментальних досліджень.

Порівняння результатів математичного моделювання та експериментально-технічні дослідження динамічних процесів взаємодії колеса та рейки в бічній площині, а також формування бокового зносу рейок при механічній взаємодії коліс рухомого складу та колії у криволінійних ділянках виконувалось в реальних умовах дослідних ділянок колії.

На рис. 4.7 – 4.9 показані залежності величини інтенсивності зносу бокової частини головки рейки від величини пропущеного тоннажу при різній величині позовжнього ухилу колії на «підйому-спуску» [39].

На рис. 4.7 представлений графік залежності інтенсивності зношування бічної частини головки рейки від величини пропущеного тоннажу при позовжньому ухилі колії до 10,0 %. За порівняно однакового пропущеного тоннажу (на «підйомі» – 90,3 млн т брутто, на «спуску» – 93,6 млн т брутто, усереднена швидкість руху поїздів на «підйомі» становить 41,8 км/год, на «спуску» - 45,8 км / ч. Радіус кривої на підйомі становить 300,0 м, на «спуску» - 273,0 м. Усереднена величина бічного зносу склала на «підйомі» - 9,45 мм, а

на «спуску» – 5,9 мм, інтенсивність бокового зносу головки рейки склала відповідно 0,105 і 0,063 мм/млн т бруutto пропущеного тоннажу, що в 1,6 разів менше на «спуску», ніж на «підйомі».

На рис. 8 представлений графік залежності інтенсивного бокового зносу головки рейки від величини пропущеного тоннажу при поздовжніх ухилах в інтервалі 10,0 ‰ - 20,0 ‰. Показники співвідношення інтенсивності бокового зносу головки рейки у цих інтервалах ухилів «спуску-підйому» аналогічні, як і рис. 1, при ухилах колії до 10,0 ‰.

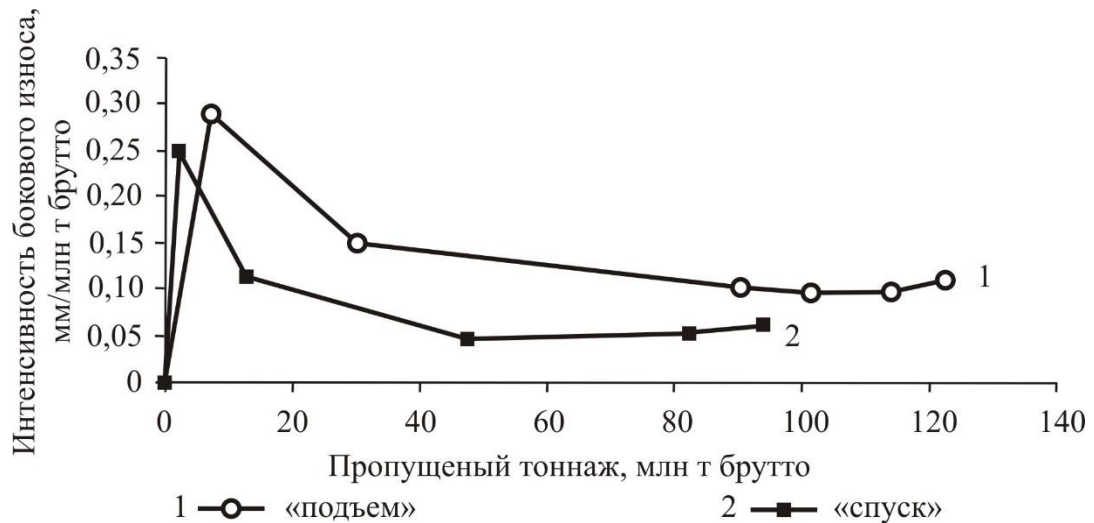


Рисунок 4.7. – Залежність інтенсивності бокового зносу головки рейки від величини пропущеного тоннажу за наявності поздовжнього ухилу колії до 10,0 ‰

При цьому інтенсивність бокового зносу склала на «підйомі» 0,099 мм/млн т бруutto, а на «спуску» – 0,063 мм/млн т бруutto пропущеного тоннажу, що в 1,57 рази менше на «спуску», ніж на «підйомі». При цьому середні швидкості руху поїздів на «підйомі» становили 35 км/год, але в «спуску» – 43 км/ч.

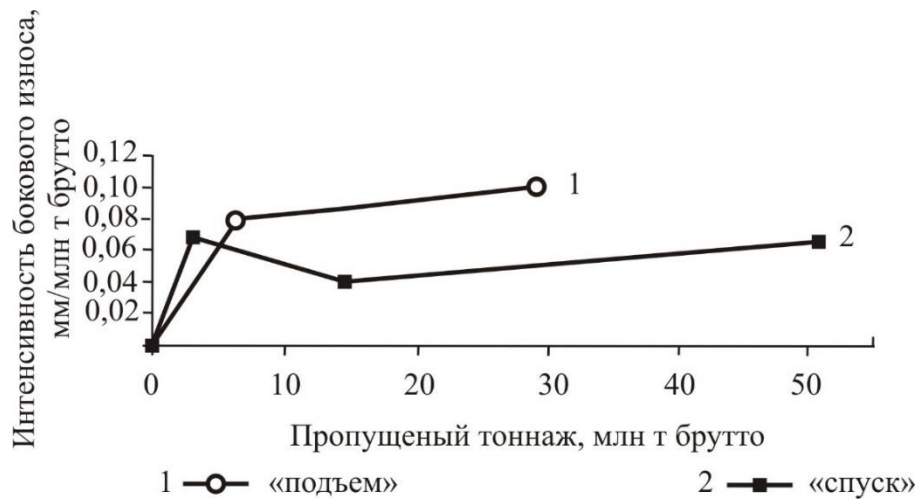


Рисунок 4.8. – Залежність інтенсивності бокового зносу головки рейки від величини пропущеного тоннажу за наявності позовжнього ухилу колії в інтервалі 10,0 ‰ – 20,0 ‰.

На рис. 9 представлений графік залежності інтенсивності бокового зносу рейки від величини пропущеного тоннажу за наявності позовжніх ухилів «підйому» колії 21,2 – 26,5 ‰ та радіусів кривих – 268,0 м та 325,0 м. При цьому, інтенсивність бічного зносу при радіусі рівному 268,0 м становить 0,308; 0,256; 0,256 мм/млн т бруто, а за радіусом 325,0 – 0,286; 0,202; 0,225 мм/млн т бруто. При порівнянні цих показників отримано, що зі збільшенням радіусу кривизни колії від 268,0 м до 325,0 м інтенсивність зношування зменшується в середньому в 1,15 рази.

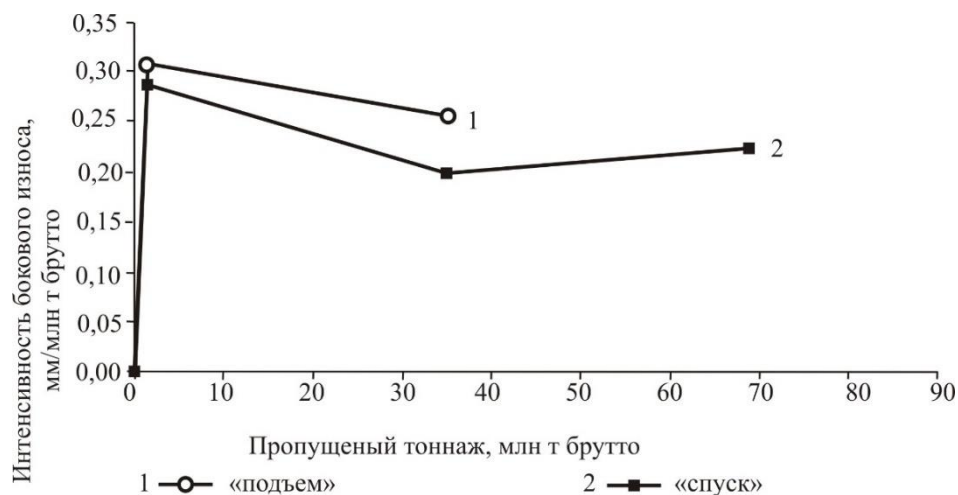


Рисунок 4.9. – Залежність інтенсивності бокового зносу головки рейки від величини пропущеного тоннажу за наявності радіусів кривих – 263 м та 325 м.

За допомогою математичної моделі отримано залежності максимальних значень показників бічних поперечних сил діючих між бічними контактними поверхнями головок рейок і реборд коліс. При цьому кут набігання колісної пари на зовнішню рейку та сили тертя в точці контакту при довгих рейках зменшуються на 10–20% відносно стандартних рейок.

Порівняння результатів математичного моделювання та експериментально-технічні дослідження динамічних процесів взаємодії колеса та рейки в бічній площині, а також формування бокового зносу рейок при динамічній взаємодії коліс рухомого складу та колії у криволінійних ділянках виконувалось в реальних умовах дослідних ділянок колії.

Згідно спостережень, які проводили фахівці ІТМ НАНУ і ДКАУ [5], було встановлено залежності зносу гребенів коліс від пробігу у складних умовах плану і профілю залізничної колії вантажних вагонів із серійними візками 18-100 зі стандартними колесами, а саме, що при 70 тис. км пробігу вагонів знос коліс сягає значення 5 мм, а після пробігу вагонів 156 тис. км до 40% коліс мають товщину гребенів 26 мм та менше. Враховуючи висновки математичного моделювання можна стверджувати що, використання довгих рейок буде позитивно впливати на інтенсивність зносу коліс, зменшувати кількість їх переточок та подовжувати ресурс колісних пар.

Аналізуючи знос колісних пар локомотивів за даними по ТЧ-9 Мукачево, які були оброблені фахівцями ЦОМ [49] (Департамент оперативного моніторингу АТ «Укрзалізниця») встановлено, що вартість ремонту колісної пари з заміною бандажу складає 200,6 тис. грн. З розрахунку на експлуатаційний парк електровозів ВЛ11 регіональної філії «Львівська залізниця» 62 од. для проведення ремонту колісних пар (з зміною бандажу) на рік при збільшенні ресурсу на 10-20% дозволить заощадити 120 млн. грн. Також при зменшенні кількості проведення ТО-4 та потреби планової заміни бандажів колісних пар у зв'язку з збільшенням ресурсу бандажу, з урахуванням 10-20% (з 91 тис. км до 100,1 – 109,2 тис. км.) збільшення ресурсу можливо додатково збільшити доходи від експлуатації за рік на один локомотив на суму:

- робота у вантажному русі: 248 948,1 грн.;
- робота у передаточно-вивізному русі: 128 247,4 грн.;
- робота у підштовхуванні: 209 995,9 грн.;
- господарська робота: 152 198,5 грн.

Обсяг економії коштів від зменшення простою електровозів на ремонті колісних пар (заміна бандажів, без урахування ТО-4) при зниженні інтенсивності зносу гребенів колісних пар на 10-20% по парку ВЛ11 за рік складе від 234 183,3 – 468 367,3 грн.

При порівнянні результатів математичного моделювання і експериментальних даних встановлена взаємна однозначність відповідності між розглянутою рейковою колією, як об'єктом, та побудованою математичною моделлю при кількісному оцінюванні певних параметрів на основі порівняння з об'єктивними експериментальними даними, одержаними в реальних умовах експлуатації. При цьому по основному показнику оцінювання, а саме зносу бокової поверхні рейок від дії гребенів коліс, при математичному моделюванні за допомогою створеної математичної моделі механічних процесів системи одержано, що зменшення значень коефіцієнтів тертя від 0,25 до 0,05 приводить до зниження показників зносу бічної поверхні відповідно у 3,5-4,5 рази, а по результатам експериментальних досліджень з конкретними рейко-змащувальними установками та модифікаторами встановлено зменшення зносу головок рейок в середньому в 1,89 рази. Інтенсивність зносу без застосування лубрикації складала 0,189-0,207 мм/млн. т брутто, а після обробки рейок модифікаторами інтенсивність зносу головок рейок зменшилась до 0,090-0,122 мм/млн. т брутто пропущеного вантажу. Це підтверджує адекватність створених математичних моделей функціонування технічних засобів конкретному об'єкту досліджень транспортної системи в криволінійних ділянках рейкової колії.

4.5 Висновки за 4 розділом

1. Представлена відома математична модель [18, 20, 28, 30, 31, 56] і результати математичного моделювання динамічних процесів взаємодії рейкових транспортних засобів і рейкової колії в просторовому стані, установлені потужності сил тертя в точках взаємного контакту між бічними поверхнями головок рейок та реборд коліс при різних коефіцієнтах тертя між ними в умовах малих радіусів кривизни зі стиковими та рейковими конструкціями довжиною 120 м.

2. Встановлені переваги використання колії з довгими рейками у порівнянні зі стандартними рейками. У колії зі стиковими нерівностями бічні грані головок рейок зношуються нерівномірно на відміну від колії з довгими рейками, що збільшує термін служби останньої по критерію максимального зносу рейок.

3. Встановлені залежності максимальних значень показників зносу бічних поверхонь головок рейок і реборд коліс, таких як кут набігання колісної пари на зовнішню рейку криволінійної колії та потужності сил тертя в точці контакту в випадках руху кривих із стандартними рейками та рейками довжиною 120 м при швидкостях руху до 80 км/год. При цьому ці показники зносу при довгих рейках зменшуються на 10–20% відносно стандартних (стикових) рейок.

4. Враховуючи висновки математичного моделювання можна стверджувати що, використання довгих рейок буде позитивно впливати на інтенсивність зносу коліс, зменшувати кількість їх переточок та подовжувати ресурс колісних пар. Аналізуючи знос колісних пар локомотивів, збільшення ресурсу на 10-20%, дозволить заощадити 120 млн. грн. на рік для проведення ремонту колісних пар (з зміною бандажу) в межах однієї залізниці.

5. При порівнянні результатів математичного моделювання і експериментальних даних встановлена взаємна однозначність відповідності між розглянутою рейковою колією, як об'єктом, та побудованою математичною моделлю при кількісному оцінюванні певних параметрів на

основі порівняння з об'єктивними експериментальними даними, одержаними в реальних умовах експлуатації. При математичному моделюванні за допомогою створеної математичної моделі механічних процесів системи одержано, що зменшення значень коефіцієнтів тертя від 0,25 до 0,05 приводить до зниження показників зносу бічної поверхні відповідно у 3,5-4,5 рази, а по результатам експериментальних досліджень з конкретними рейко-змащувальними установками та модифікаторами встановлено зменшення зносу головок рейок в середньому в 1,89 рази.

5 ОБҐРУНТУВАННЯ ТА ВИБІР ДОВЖИНИ РЕЙОК ТА ТИПІВ СКРІПЛЕННЯ ДЛЯ ВКЛАДАННЯ У СКЛАДНИХ УМОВАХ ПЛАНУ І ПРОФІЛЮ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ

5.1 Обґрунтування та вибір рейок довжиною 120 м

Проаналізуємо характеристики та вихідні дані кривих ділянок колії, які знаходяться в складних умовах плану і профілю залізничної колії. Для цього розглянемо перелік кривих і їх характеристики на ділянках колії гірських перевалів, а саме криві з радіусами $R < 450$ м Стрийської та Мукачевської дистанцій колії (додаток Б, В). Проаналізувавши довжини перехідних кривих, можна зробити висновок, що практично у 100% кривих ця довжина складає 120 м.

Заборона вкладання плітей в криві радіусом менше 350 м є проблемою обмеження сфери використання безстикової колії. Вкладання безстикових плітей у діапазоні радіусів від 200 м до 350 м сприяє частій заміні зовнішньої нитки кривої внаслідок виходу рейок за дефектом по 44 коду, а також розрахунковий температурний інтервал для кривих обмежений у своєму діапазоні, що суттєво ускладнює поточне утримання.

Тоді виникає необхідність вирішення питання, чи являється рейка довжиною 120 м пліттю, і чи потрапляє вона під заборону в кривих радіусом до 350 м.

Згідно ЦП-0266 [33] довжина рейкових плітей у кожному випадку визначається проектом з урахуванням місцевих умов (розташування стрілочних переводів, ізолюючи стиків, мостів з безбаластним мостовим полотном, кривих ділянок колії, нестійких ділянок земляного полотна та ін.). У всіх випадках необхідно прагнути до укладання рейкових плітей якомога більшої довжини і, як правило, не менше ніж 400 м. Рейкові пліті меншої довжини, але не менше ніж 250 м на головних коліях і 150 м – на станційних коліях.

Більш короткі рейкові пліті, але не менше ніж 100 м, можуть укладатися на станційних коліях між стрілочними переводами. При цьому кінці їх повинні бути відділені від стрілочних переводів зрівнювальними пристроями або парами рейок зрівнювальних прольотів довжиною не більше ніж по 12,5 м, а кінці плітей і рейок зрівнювальних прольотів стягнуті високоміцними стиковими болтами. Якщо високоміцні стикові болти відсутні, то довжина рейкової пліті повинні бути не менше ніж 150 м. При меншій відстані між стрілочним переводами укладання рейкових плітей дозволяється за погодженням Укрзалізниці [33].

Визначимо, що називається безстиковою пліттю, та яка мінімальна довжина відповідає визначенню «безстикова пліть», «довгі рейки» та «рейки звичайної довжини» в умовах температурних сезонних коливань в умовах України.

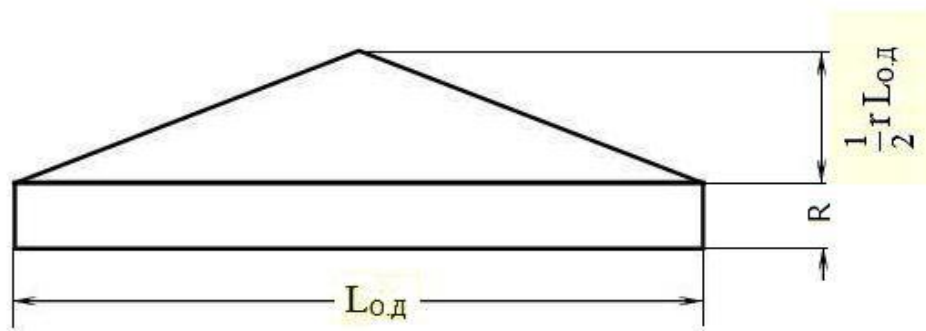
Рейки звичайної довжини [58] мають по кінцям зазори такої величини, які досягають свого конструктивного максимуму, наприклад 21 мм ($\sigma_{\max}$), тільки при самій низькій температурі ($T_{\min}$), а нульових розмірів ($\sigma_{\min}$), – при самій високій температурі влітку ($T_{\max}$).

При цьому найбільші поздовжні зусилля в рейці визначаються величинами погонного опору на опорах r і опору переміщенню рейки з боку накладок в стиках R (стиковий опір). Найбільша повздовжня сила N , виникаюча тільки в одному перетині рейки, попереду, буде:

$$N = R + \frac{1}{2}rL_{0д} \quad (5.1)$$

де $L_{0д}$ – довжина рейки (рис 5.1, а).

а)



У довгих рейках стиковий зазор стає рівним ($\sigma=0$), при температурі рейки меншій, ніж максимальна температура в даному районі $t_1 < T_{max}$ [31] та призводить до виникнення додаткових стискаючих сил, у випадку зниження температури σ_{max} , досягає при температурі $t_2 < T_{min}$. Подальше зменшення температури призводить до появи розтягуючих сил.

У безстикових плітях при найбільших змінах річних температури $T_A = T_{max} - T_{min}$, подовжуються або скорочуються лише «дихаючі кінці» (на довжині x , а середня частина пліті $L - 2x$ залишається незмінною).

Довжина довгих рейок для умов СНД складає 35,6 м – 249,9 м [59].

Мінімальна довжина безстикової пліті розраховується за умовами, що $L - 2x > 0$

$$rx = \alpha E \Delta t F \quad (5.2)$$

$$x = \frac{\alpha E \Delta t F}{r} \quad (5.3)$$

$$l_{min} = 2x = \frac{2\alpha E \Delta t F}{r}$$

$$l_{min} = 2x = \frac{2\alpha E \Delta t_{min} F_{min}}{r}$$

де E - модуль пружності рейкової сталі ($E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа);

для рейкової сталі $\alpha = 0,0000118$, $E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа,

$$\Delta t_{min} = \frac{T_A \min}{2} = \frac{83}{2} = 41,5 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (5.4)$$

де $T_A \min$ – мінімальна розрахункова температурна амплітуда в експлуатаційних умовах України, яка спостерігається у Керчі (додаток 2) [33] і становить 83°C ,

F_{min} – площа поперечного перетину одної рейки типу Р65 при приведеному зносі 9 мм буде складати $76,08 \text{ см}^2$ [60],

r – опір від поздовжніх переміщень, $r = 12 \text{ кН/м}$ при ущільненому баласті,

$$l_{min} = 2x = \frac{2\alpha E \cdot 41,5 \cdot 76,08}{r} = 130,4 \text{ м,}$$

Максимальна довжина нормальної рейки розраховуються за формулою:

$$\Delta l_{\text{факт}} = \frac{1}{2} \alpha x \Delta t \quad (5.5),$$

Подовження (скорочення) рейки, як вільного стержня, розраховується за формулою:

$$\Delta l = l \alpha \Delta t \quad (5.6)$$

де α – коефіцієнт лінійного розширення рейкової сталі;

Δt – зміна температури в *град*;

l – довжина рейки.

При повздовжньому опорі переміщенню, зміна довжини рейки буде розраховуватись за формулою:

$$\Delta l = \frac{1}{2} l \alpha \Delta t \quad (5.7)$$

$$l_{\text{max}} = \frac{2 \Delta l_{\text{max}}}{\alpha \Delta t_{\text{min}}} = \frac{2 \cdot 21}{\alpha \cdot T_{\text{Amin}}} = 42,9 \text{ м} \quad (5.8)$$

де Δl_{max} максимальна величина стикового зазору

Таким чином, довжина довгих рейок для умов температурних амплітуд України складає 43 м – 130 м. Отже, рейки прийняті до розрахунку у математичної моделі довжиною 120 м є довгими рейками.

На ТОВ «Актюбінський рейкобалочний завод» виробляються рейки довжиною 120 м, на металургійних комбінатах «Євраз ЗСМК» Західно-Сибірського металургійного комбінату довжина рейок складає 100 м. У Європі довжина виготовляємих рейок складає 50 м, 100 м.

5.2 Аналіз та обґрунтування рейкових скріплень у складних умовах плану і профілю залізничної колії

5.2.1 Робота колії на дерев'яних та залізобетонних шпалах

Згідно статистичних даних «Основні показники АТ «Укрзалізниця» у колійному господарстві» за 2020 рік на залізницях України в кривих радіусами $R < 450$ м експлуатується ланкова колія – 2703 км (77 % протяжності кривих) і безстикова колія – 811 км (23 %). При цьому протяжність колії на дерев'яних шпалах складає 1722 км (49 %) і на залізобетонних різних типів 1792 км (51 %).

Розглянемо особливості експлуатації скріплень на дерев'яних шпалах у кривих малого радіусу. Найбільш розповсюджене скріплення на дерев'яних шпалах типу Д0. За допомогою скріплення типу Д0 можна швидко перешити рейкову нитку та привести у відповідність до норм утримання за шириною колії в залежності від радіусу кривої ділянки та забезпечити плавність відводу розширення колії.

Але скріплення типу Д0 має ряд недоліків, що робить застосування їх у складних умовах нераціональним. Серед них: неможливість щільного прилягання підкладок до шпал; під навантаженням рухомого складу відбувається надсмикування костилів, що викликає провисання рейок, відбої, скриті розширення та злам костилів; незадовільний опір угону колії; підвищений механічний знос шпал внаслідок вібрації підкладок під рейками.

Розрахунковий або перспективний термін служби дерев'яних шпал у рейковій колії складає від 13,5 до 19 років [61]. В складних умовах плану і профілю залізничної колії при частих перешиваннях колії відбувається швидкий вихід дерев'яних шпал. Фактичний ресурс працездатності дерев'яних шпал в складних умовах плану і профілю залізничної колії складає 4-5 років. Наприклад, на ділянці Славсько – Лавочне регіональної філії «Львівська залізниця» по непарній колії після проведення реконструкції у 2010 році на четвертий рік експлуатації вже вийшли з ладу та потребували заміни в кругових кривих до 50% шпал. На ділянці Лавочне – Бескид після вкладання рейко-шпальної решітки у 2010 році зі скріпленнями типу СКД65-Д вже на третій рік експлуатації до 60–70% підкладок ЗКДЛ 65 було перешито на костилі в наслідок пошкодження шпал, яке призводило до понаднормативного розширення колії [47].

Розглянемо скріплення типу СКД65-Д. За допомогою скріплення типу СКД65-Д можливо регулювати ширину колії пластинами при застосуванні підкладки ЗКДЛ 65 (рис. 5.2) з 6-ма отворами. У подальшому було розроблено скріплення СКД65-Дм з 8-ма отворами симетричної форми, при цьому 8-отвірна підкладка 4КДЛ 65 була подовжена у польову сторону, що потребує

подовження шпал. Внаслідок швидкого виходу з ладу дерев'яних шпал, скріплення СКД65-Дм було вклено на шпали довжиною 2,90 м із дубової сировини.

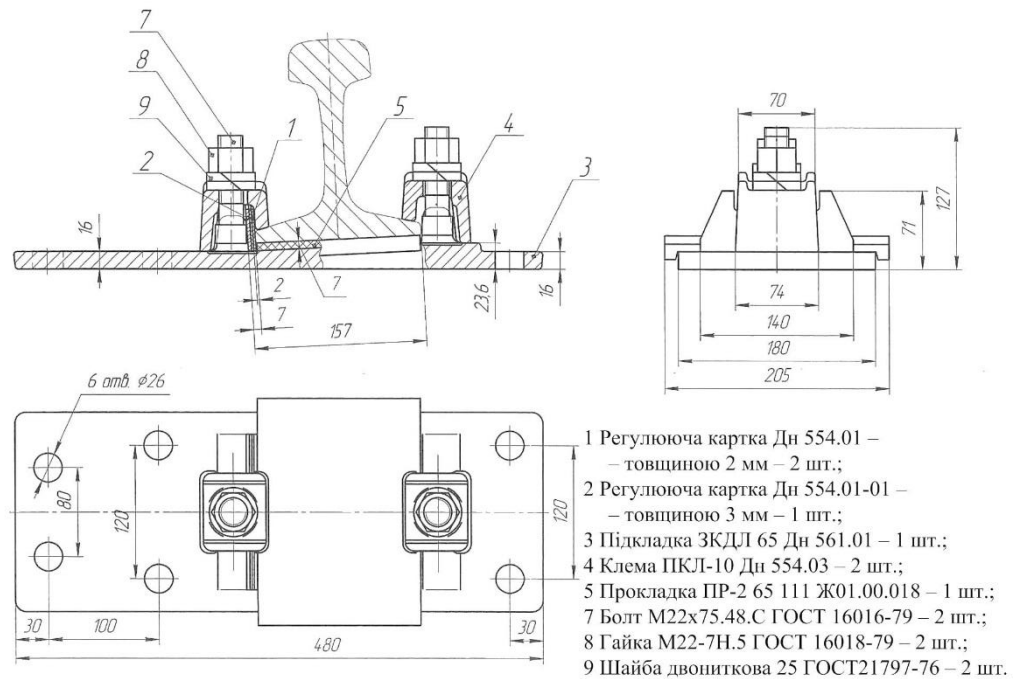


Рисунок 5.2 – Скріплення СКД 65-Д

В кривих малого радіусу дуже важливо, щоб ширина колії на початковому етапі відповідала радіусу кривих. На дерев'яних шпалах це зробити не складно, особливо це стосується скріплення Д0 за рахунок перешивання колії, а на скріпленні типу СКД65-Д за допомогою регулюючих карток. Складніше зробити плавний відвід розширення у перехідних кривих на шурупних скріпленнях типу КД. Але, як було зазначено раніше скріплення на дерев'яних шпалах мають ряд недоліків та з кожним роком дерев'яні шпали стають більш дефіцитними.

Згідно статистичних даних за 2018 рік загальна кількість скріплень, які вклені на дерев'яних шпалах, на головних коліях УЗ складає близько 5,5%. Термін служби невеликий, вони виходять з ладу через зношування, тріщини, гниття. Шпали виготовлені із м'яких порід деревини у складних умовах в кривих малого радіусу мають термін експлуатації 2–5 років [23], хоча в

окремих випадках термін служби шпал з дерева може досягати 10 і більше років.

Для подовження експлуатаційного терміну необхідно виготовляти дерев'яні шпали з деревини твердих порід, але при цьому буде збільшуватися вартість шпал. Враховуючи, що дерев'яні шпали вже на другий-третій рік експлуатації виходять з ладу та потребують великих витрат на поточне утримання, вважається недоцільним вкладати скріплення на дерев'яних шпалах у складних умовах плану і профілю залізничної колії [23]. Тому в сучасних умовах треба як можна більше застосовувати залізобетонні шпали.

З метою подовження термінів служби шпал було впроваджено вкладання залізобетонних шпал з скріпленням типу СКД65-Б та КПП-5-К з регулюючими елементами.

Переваги скріплення СКД65-Б у тому, що рейко-шпальна решітка збирається з залізобетонними шпалами Ш-1-1 на кривих ділянках радіусом від 200 м до 450 м, із шириною колії від 1520 мм до 1534 мм, у тому числі змінної ширини у зоні перехідної кривої з кроком 1 мм, тобто забезпечує плавний відвід розширення за рахунок регулюючих пластин. При поточному утриманні колії за допомогою карток скріплення СКД65-Б можна регулювати її ширину у кривих ділянках колії на звуження від 1 мм до 28 мм, при застосуванні шпал Ш-1-1 [62]. За допомогою скріплення СКД65-Б можна експлуатувати рейки до моменту їх вилучення – до зносу 26 мм [6].

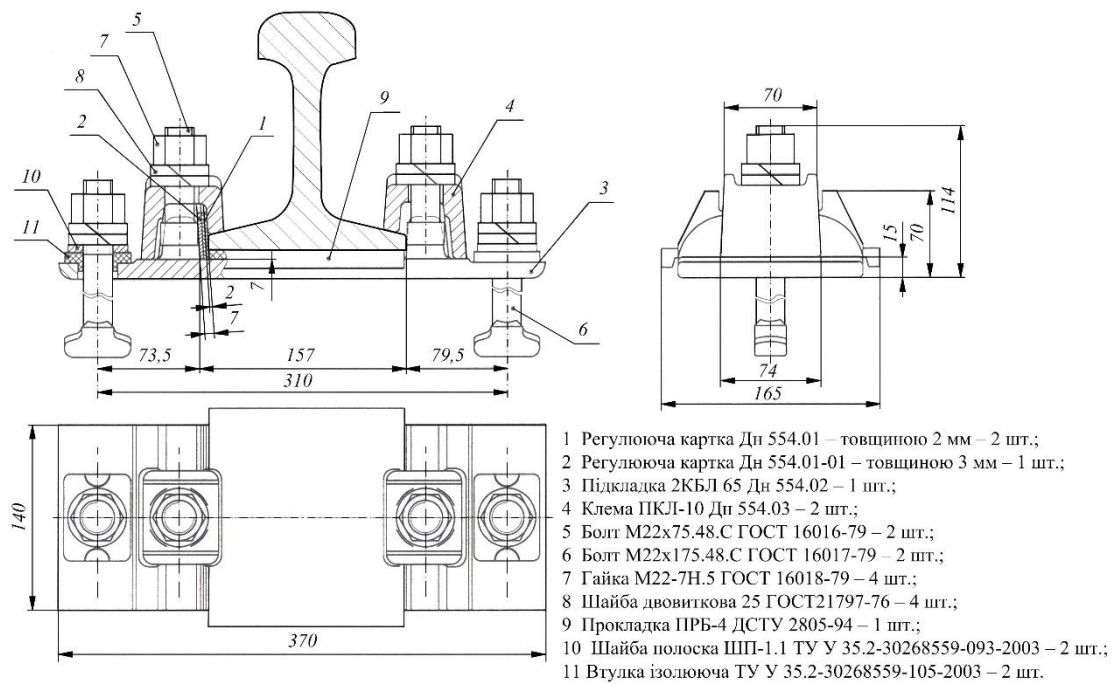


Рисунок 5.3 – Роздільне скріплення СКД65-Б

Недоліком скріплення СКД65-Б є те, що під навантаженням відбувається видавлювання пластин підшоною рейки. Регулювальні пластини зроблені з пластичного матеріалу, що приводе до їх зминання. Також пластини не зафіксовані відносно підкладки 2КБЛ 65 (рис. 5.3). Скріплення СКД65-Б, як і КБ-65 має велику металоємність.

Після виявлення цих недоліків розробниками скріплення проведено доопрацювання конструкції типу СКД65-Бп (рис. 5.4, 5.5), літера П, означає посилене. У скріпленні СКД65-Бп [48] було додатково розроблено пластину товщиною 6 мм, 4 мм, для застосування при регулюванні колії в кругових кривих. Регулюючі пластини були розширені та зафіксовані відносно підкладки та клеми ПКЛ, що попереджає видавлювання пластин. Також пластини зроблені з більш жорсткої сталі.



Рисунок 5.4 – Скріплення типу
СКД65-Бп



Рисунок 5.5 – Регулюючі пластини

Скріплення КПП-5-К [68] з залізобетонними шпалами типу СБЗ-5.2 призначене для укладання в криві ділянки колії радіусом від 200 м до 900 м та в перехідних кривих, що до них прилягають (рис. 5.6).

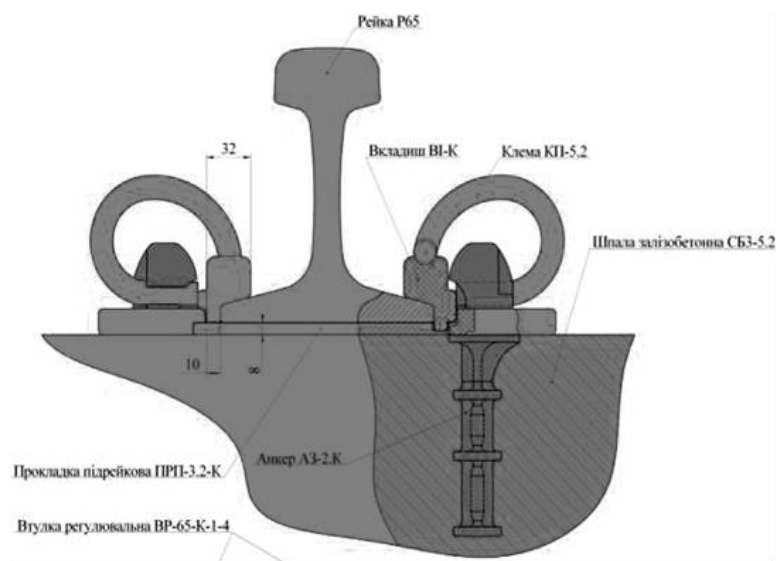


Рисунок 5.6 – Скріплення типу КПП-5-К

Переваги скріплення типу КПП-5-К: можливість регулювання ширини колії до 14 мм без використання додаткової комплектації; забезпечення плавного відводу розширення у межах перехідної кривої; зниження рівня шуму від проходження рухомого складу; простий і швидкий монтаж/демонтаж

скріплення; забезпечення зусилля притискання рейки до шпали не менше ніж 25 кН; для забезпечення запасу пружності використовуються високо еластичні прокладки з жорсткістю від 110 кН/мм до 590 кН/мм; забезпечується високий електричний опір за рахунок використання полімерних матеріалів у електроізолюючих деталях [63].

Скріплення, які використовуються на залізобетонних шпалах, поділяються на скріплення з можливістю регулювання за рівнем та по ширині колії та скріплення, які такої можливості не мають. В свою чергу скріплення, які не мають можливості для регулювання ширини колії, розділяються на підкладочні і безпідкладочні. На регіональних філіях АТ «Укрзалізниця» в основному на залізобетонних шпалах експлуатуються скріплення типу КБ-65 (72,8 %) головних колій залізниць України та КПП-5 (19,5%), в тому числі і в кривих ділянках колії радіусом 650 м і менше.

5.2.2. Вимоги до рейкових скріплень у складних умовах плану і профілю залізничної колії

В зв'язку зі зростанням швидкостей руху та вантажонапруженості для експлуатації залізниць необхідні скріплення, які б забезпечували надійне утримання колії при менших експлуатаційних і матеріальних витратах, зручність при монтажі, демонтажі та поточному утриманні колії, та мали б якомога меншу кількість елементів.

Конструкція колії при дерев'яних шпалах та скріпленнях костильного типу довгий час була надійною, але зі збільшенням швидкостей руху і вантажонапруженості до рейкової колії висуваються підвищені вимоги, яким ці скріплення відповідати не можуть. Особливо це стосується ділянок зі складними умовами експлуатації. До того ж вартість дерев'яних шпал на 46% перевищує вартість залізобетонних шпал. Тому для вкладання в складні умови плану і профілю залізничної колії в криві радіусами менше ніж 450 м необхідні скріплення, які б мали можливість на залізобетонних шпалах регулювати

ширину колії та надійно фіксували рейку довжиною 120 м від повздовжніх переміщень.

У своїй науковій праці В.В. Говоруха [20] сформулював загальні вимоги до сучасних конструкцій проміжних скріплень:

- оптимальність фізико-механічних характеристик скріплення повинна гарантувати просторову пружність рейкової колії: по вертикалі, по горизонталі, вздовж і поперек колії;

- конструкції скріплень повинні забезпечувати сталість зусиль натягіння прикріплювачів, тому що при різних умовах може виникнути неоднорідність колії за його протягом довжин;

- фізико-механічні параметри скріплень повинні звести до мінімуму високочастотні коливання; при високих амплітудах коливань динамічні напруження, що виникають, можуть призвести до руйнування елементів скріплень, до зламу металевих підкладок, до руйнування резинових прокладок, до зламу рейок і ін.;

- пружні елементи скріплень – пружні клеми, резинові прокладки і інші елементи конструкції рейкової колії – повинні мати, такі в'язко-пружні і дисипативні властивості, щоб при будь-яких можливих статичних і динамічних навантаженнях зберігалось достатнє притиснення клем до рейок і щоб загальна вертикальна жорсткість скріплення мало змінювалась (у межах допустимих значень) від ступеня завантаження рейки, кліматичних умов і стану рухомого складу і рейкової колії;

- пружні характеристики всіх складових елементів скріплень повинні бути такими, щоб забезпечити оптимальні властивості рейкової колії, а також надійність і стабільність її функціонування протягом всього терміну експлуатації.

У складних же умовах експлуатації до рейкових скріплень висуваються додаткові вимоги: необхідність максимального поздовжнього опору на ділянках з великим ухилом, зниження динамічних навантажень, однорідність колії по всій довжині, її просторова пружність, надійність колії, тривалий час

експлуатації при найменших експлуатаційних витратах на поточне утримання. Крім того, щоб у складних умовах плану і профілю залізничної колії забезпечувався достатній опір поздовжньому переміщенню рейки (25 – 30 кН/м [33]), нормативне притиснення рейок до основи повинно бути не менше 20 кН, а також відповідати умовам стійкості і міцності рейкової колії.

При цьому залишаються загальні вимоги до збирання рейко-шпальної решітки (ЦП-0180 [64]), вимоги до епюри шпал і складу рейко-шпальної решітки залежно від виду ремонтно-колійних робіт (ЦП-0287 [65]), та вимоги до інвентарних рейок, що застосовують під час збирання рейко-шпальної решітки (ЦП-0180 [64]).

5.3 Оцінка роботи запропонованої конструкції колії

Розглянемо запропоновану конструкцію колії для складних умов плану і профілю залізничної колії. Конструкція колії на щебеневому баласті з рейко-шпальною решіткою на залізобетонних шпалах з баластною призмою з типовими поперечними профілями, з шириною плеча баластної призми на ділянках I–III-ої категорії – 45 см, IV-ої – 40 см, V-ої – 35 см, з крутизною укосів баластної призми 1:1,5, зі шпальними ящиками заповненими до поверхні середньої частини залізобетонних шпал, з товщиною баластного шару на I–II – 40 см, III-ої – 35 см, IV – 30 см, V–VII – не менше 25 см [33], з проміжними рейковими скріпленнями типів СКД65-Б та КПП-5-К з регулюванням ширини колії до 1535 мм. Рейки типу Р65 довжиною 120 м, які вкладаються по довжині трьома частинами: перша перехідна крива – кругова крива – друга перехідна крива, які з'єднані між собою накладками з шістьма отворами. Стикування перехідних та кругових кривих знаходиться за 10 м – 15 м до фактичного початку кругової кривої у плані та за рівнем, а також на виході з кругової кривої 10 м – 15 м після фактичного закінчення кругової кривої в місцях найменшого бокового зносу [48].

Перевіримо обрану конструкцію колії на стійкість. Для того, щоб конструкція колії у складних умовах плану і профілю залізничної колії

відповідала нормам утримання, необхідно: перше – щоб накладка з шістьма отворами мала достатній стиковий опір для отримання конструктивного максимуму 21 мм, при самій низькій температурі, і нульових розмірах – при самій високій температурі в літку. А також, величину погонного опору для утримання вказаних величин зазору у стиках у зимовий і літній період при довжині рейки 120 м.

Зусилля R , діюче в стику [58], може бути визначено розрахунком або безпосередньо виміром. Згідно п. 2.6.2 [33] гайки стикових болтів звичайної міцності повинні бути затягнуті з крутним моментом не менше ніж 600 Н·м для рейок Р65, UIC60 і не менше ніж 250 Н·м для рейок Р50. При використанні болтів підвищеної міцності Р65, UIC60 – не менше ніж 1100 Н·м, Р50 – не менше ніж 400 Н·м.

Проведемо розрахунки, зусилля R , за формулою [58]:

$$R = 8,24nQK_{ст}, \quad (5.9)$$

де n – кількість болтів на одному кінці рейки;

$K_{ст}$ – коефіцієнт тертя накладок об рейку

$$Q = 1,4M, \quad (5.10)$$

де M – для рейки типу Р65 для болтів звичайної міцності 600 Н·м, для болтів підвищеної міцності – 1100 Н·м. При накладці з шістьма отворами $n = 3$, прийнявши $K_{ст} = 0,2$ маємо

$$R_{P65ЗВ} = 8,24 \cdot 3 \cdot 1,4 \cdot 6118,3 \cdot 0,2 = 42348,4$$

$$\text{Якщо розрахувати } \Delta t_{нЗВ} = \frac{R_{P65ЗВ}}{\alpha EF} = \frac{42348,4}{2,5 \cdot 76,08} = 22,26^\circ \text{ C.}$$

$$R_{P65ПМ} = 8,24 \cdot 3 \cdot 1,4 \cdot 11216,8 \cdot 0,2 = 77638,2$$

$$\Delta t_{нПМ} = 37,6^\circ \text{ C.}$$

Порахуємо зміну температури, яка потрібна для повного подолання погонного опору, яка буде сумою ($\Delta t_{н} + \Delta t_{п}$), розрахуємо $\Delta t_{п}$ для скріплень СКД65-Б та КПП-5-К.

Згідно п.2.7.1 [33] проміжні скріплення з залізобетонними шпалами повинні забезпечувати достатній опір поздовжньому переміщенню, який складає 25–30 кН/м.

$$\Delta t_{\Pi min} = \frac{rL}{2\alpha EF} = \frac{25 \cdot 120}{2 \cdot 2,5 \cdot 82,56} = 74,1^{\circ} \text{ C}$$

$$\Delta t_{\Pi max} = \frac{rL}{2\alpha EF} = \frac{30 \cdot 120}{2 \cdot 2,5 \cdot 82,56} = 88,9^{\circ} \text{ C},$$

Розрахуємо значення $\Delta t_{\Pi min}$ і $\Delta t_{\Pi max}$, при опорі поздовжньому переміщенню при мінімальних значеннях $r=7$ кН/м - при неущільненому баласті та $r=12$ кН/м - при ущільненому баласті і площі поперечного перетину однієї рейки типу Р65 при приведеному зносі 9 мм ($F_{min} = 76,08 \text{ см}^2$) [60]:

$$\Delta t_{\Pi min} = \frac{rL}{2\alpha EF} = \frac{7 \cdot 120}{2 \cdot 2,5 \cdot 76,08} = 22^{\circ} \text{ C}$$

$$\Delta t_{\Pi max} = \frac{rL}{2\alpha EF} = \frac{12 \cdot 120}{2 \cdot 2,5 \cdot 76,08} = 37,8^{\circ} \text{ C},$$

Отже, якщо скласти отримані значення, визначимо, що температура, при якій рейка зі звичайними болтами та болтами підвищеної міцності втратить стиковий і погонний опір, складе $94,6^{\circ}\text{C}$ та $126,5^{\circ}\text{C}$ відповідно. Тому стійкість запропонованої конструкції колії забезпечена.

5.4 Техніко-економічне порівняння конструкцій колії зі стандартними рейками та рейками довжиною 120 м

Основними показниками, що характеризують ефективність запропонованих технічних рішень при використанні довгих рейок, є чистий дохід від впровадження. В якості витрат розглянуті інвестиції, пов'язані з виробництвом довгих рейок на РЗП і експлуатаційні витрати на транспортування та вкладання довгих рейок, як результат - економія річних та міжремонтних експлуатаційних витрат від впровадження довгих рейок.

У техніко – економічному розрахунку необхідно враховувати вартість виробництва і витрати на транспортування, вкладання довгих рейок,

виготовлених з рейок стандартної довжини 25 м. А також, у світовій практиці рейки виготовляються довжиною 25 м, 50 м, 100 м, 104 м, 120 м, тому у випадках коли довгі рейки вкладаються без зварювання, до розрахунку необхідно включати витрати на транспортування, вкладання довгих рейок, без витрат на виготовлення.

Розглянемо витрати на експлуатацію у міжремонтний термін ланкової колії з довжиною рейки 25 м на залізобетонних шпалах з щебеневим баластом зі скріпленнями регулюючого типу по ширині колії СКД65-Б з рейками Р65 зі стиковими накладками 6-ти отворними та порівняємо з витратами при застосуванні довгих рейок за міжремонтний період роботи рейко-шпальної решітки до її заміни.

Розрахуємо експлуатаційні витрати на ділянці непарної колії перегону Лавочне – Бескид. За умовами експлуатації ці ділянки є зі складними умовами експлуатації (99 % кривих експлуатується з радіусами менше 300 м (дев'ять кривих), а ухили траси досягають значення 29 ‰). У лютому 2014 року на цій ділянці було виконано роботи з модернізації колії на 1629 км ПК2 - 1633 км ПК10. У 2018 році на 1629 км ПК2 - 1633 км ПК10 було проведено середній ремонт колії. Заміна рейко-шпальної решітки виконано у 2021 році. У 2016 та 2019 роках було проведено роботи з суцільної виправки колії в профілі і плані машиною типу ВІР (КОР) (рис. 5.7).

У лютому 2014 року на даних км було укладено скріплення типу СКД65-Б у криві та скріплення КБ у прямі ділянки колії. Всього рейко-шпальна решітка була в експлуатації 89 місяців. За даними КМС-198 регіональної філії «Львівська залізниця» при модернізації колії у 2014 році, разом вартість будівельних робіт склала: 14 679 512,8 грн.

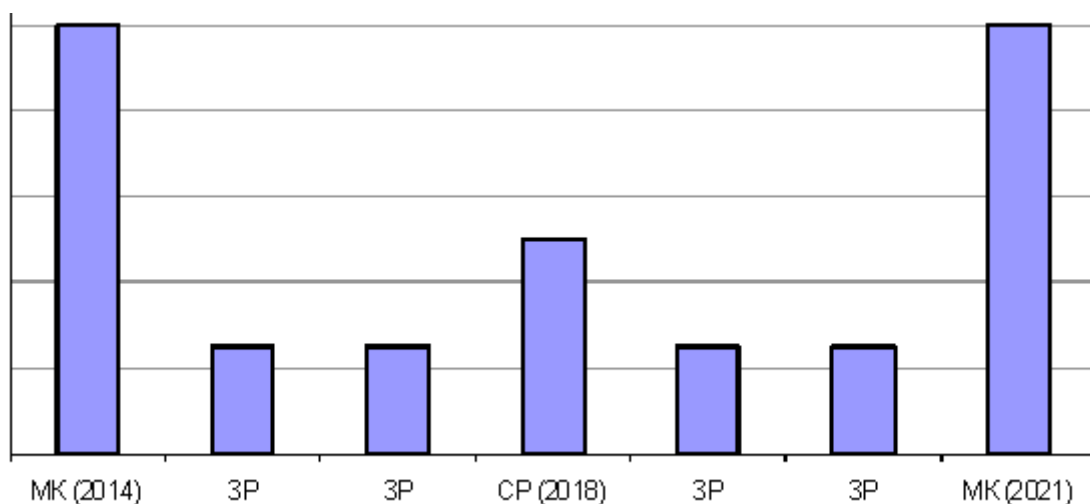


Рисунок 5.7 – Періодичність ремонтів на ділянці перегону Лавочне – Бескид, непарної колії на 1629 км ПК2 – 1633 км ПК10.

Умовні позначення: МК – модернізація колії, КОР – суцільна виправка колії в профілі і плані машиною типу ВПР, ЗР – заміна рейок, СР – середній ремонт колії.

За міжремонтний період експлуатації у кривих ділянках було проведено 5 разів заміну рейок по зовнішній нитці по коду 44 (боковий знос рейок). Заміна рейок по зовнішній нитці кривих відбувалась у середньому через 12-13 місяців експлуатації, після пропуску 35,7 млн. т бр.

Також за цей період було дві суцільні виправки колії в профілі і плані машиною типу ВПР (КОР).

Витрати на проведення модернізації колії у 2014 році складають 14,680 млн. грн.

Річні витрати на поточне утримання 1 км колії складають – 1,429 млн. грн.

Витрати на проведення комплексно-оздоровчого ремонту (КОР) одного 1 км колії складають – 532,20 тис. грн.

Витрати на проведення середнього ремонту у 2018 році склали на даній ділянці складають 10,6 млн. грн.

Витрати на проведення модернізації колії у 2021 році складають 32,8 млн. грн.

Майже 60% матеріалів приходилось на утримання стиків. Перешивка

колії проводилась один раз на два тижні.

В межах першої і другої перехідних кривих знаходиться 8 стиків, а на протязі кругової кривої 9 стиків, тобто по обом ниткам кривої кількість стиків складає 34 шт.

При вкладанні довгих рейок по всій довжині кривої залишиться 4 рейкових стику – два стику на вході у кругову криву і два на виході з кругової кривої. Інші стики будуть розташовані за межами кривої ділянки у кількості 4 шт. Якщо порівнювати кількість стиків при обраних конструкціях колії – при ланковій колії 34 стиків, при колії з довгими рейками 8 шт.

На утримання стиків витрачається у 3 – 4 рази більше елементів скріплення ніж поза зоною стиків [66]. Тобто при конструкції з довгими рейками витрати на утримання стиків скорочуються у 4,25 разів. Вилучаються із розрахунку собівартості колійної інфраструктури стикові накладки в кількості 52 шт. Вартість стикових накладок складає 32,1 тис грн. за 1 тону. Маса однієї накладки 29 кг. Але додаються розходи на виготовлення довгих рейок та транспортування до місця вкладання.

Вартість зварних стиків в умовах стаціонару РЗП на 1 км складає при нових рейках – 104468,56 грн. (80 шт. по двом ниткам). Виготовлення одного зварного стику коштує – 1305,86 грн.

Якщо, використовуються старопридатні рейки кількість зварних стиків складає 160 шт. – при вартості 116252,88 грн. на 1 км. Виготовлення одного зварного стику при старопридатних рейках коштує – 726, 58 грн.

Також у запропонованій моделі при застосуванні довгих рейок на 10 – 20 % подовжується життєвий цикл рейок за рахунок зменшення коефіцієнта динаміки.

Тобто, витрати на ремонт та поточне утримання ланкової колії з рейками довжиною 25 м буде складати в міжремонтний період – (умовно 100 млн. грн.). Тоді, як з довгими рейками зменшено у 4,25 разі та подовжено роботу рейок на 20%.

Заміна елементів в термін між замінами рейок:

прокладка нашпальна гумова для рейкових колій ПН - 220шт (63,75 грн.
 $\times 220 = 14025,00$ грн.)

Прокладка підрейкова гумова для рейкових колій ПР - 1565шт (22,50 грн.
 $\times 1565 = 14025,00$ грн.)

Шпали Ш - 1 - 11шт – $(322 \times 11 = 3542,0$ грн.)

Шайба пружинна двовиткова $d=25$ мм для залізничної колії - 9кг (64464,4
 грн./1000 кг $\times 9 = 580,18$ грн)

Болт закладний з гайкою для рейкових скріплень залізничної колії
 22х175 - 42 шт. (46513,50 грн./1000 кг $\times 32 = 1488,43$ грн.).

Болт клемовий з гайкою для рейкових скріплень залізничної колії 22х75
 – 47 шт. (46513,50 грн./1000 кг $\times 22 = 1023,3$ грн.).

Болт для рейкових стиків залізничної колії Р-65 з гайкою 27х160 – 12 шт.
 (54662,30 грн./1000 кг $\times 12,5 = 683,3$ грн.).

Якщо порахувати витрати на заміну елементів в період між замінами рейок, сума витрат по елементах буде складати 35367,2 грн. На дев'яти кривих сума витрат на елементи складе 318304,8 грн. А на заміну елементів у весь експлуатаційний термін 1 909 828,8 грн.

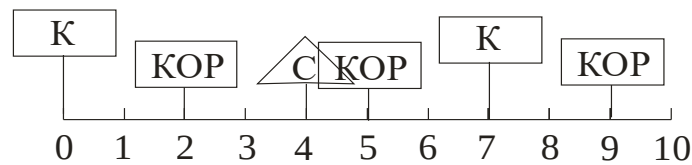
Порахуємо витрати на заміну рейок. У середньому на кожній кривій вимінювали 12 рейок (рейки залізничні широкої колії типу Р-65 з загартованою поверхнею кочення, 1 категорії, довжина 25 метрів у кількості – 12 шт. $\times 1620 \times 24332,00/1000 = 473\,014,1$ грн.). На дев'ятьох кривих ця сума буде складати 4 257 126,72 грн. А заміна рейок у міжремонтний період – 21 285 633,6 грн.).

Для вибору оптимального варіанту конструкції колії, колії з довгими рейками або ланкової звичайної колії, необхідно визначити економічну ефективність капітальних затрат по мінімуму сумарних приведених витрат.

Розрахунок виконуємо згідно існуючої методики порівняння варіантів конструкції колії по сумарним приведеним затратам [67]. Строки служби та періодичність ремонтів приймаємо по натурним даним перегону Лавочне – Бескид. Заміну зношених рейок відносимо до поточного утримання колії.

З урахуванням вищевикладеного можна зобразити графіки періодичності ремонтів колії (рис. 5.8). Перший варіант представляє собою звичайну ланкову колію. Другий варіант представляє собою колію з довгими рейками.

Варіант 1



Варіант 2

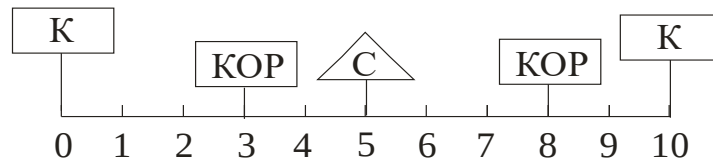


Рисунок 5.8 – Періодичність ремонтів колії:

варіант 1 – звичайна ланкова колія

варіант 2 – колія з довгими рейками

При виборі кращого варіанту верхньої будови колії визначається порівняльна ефективність капітальних вкладень. Необхідними даними для розрахунку економічної ефективності є капітальні затрати та експлуатаційні витрати по кожному варіанту.

Вартість ремонтів визначаємо по даним Львівської залізниці. По методиці [67] визначаємо витрати через затримання поїздів у “вікна” для ремонтів колії, і результати зведемо в таблиці 5.1 та 5.2.

Розраховуємо сумарні приведені витрати для кожного варіанту. Згідно [67] вони визначаються за формулою:

$$\Theta_{\text{пн}i} = K_i + \sum_{t=1}^{t_H} C_{t_i} \cdot \eta, \quad (5.11)$$

де K_i та C_{t_i} – відповідно капітальні та експлуатаційні витрати по i -тому варіанту;

η – коефіцієнт віддалення затрат;

$$\eta = \frac{1}{(1 + E_{\text{нп}})^t} \quad (5.12)$$

$t_{\text{н}}$ – нормативний строк окупності;

$E_{\text{нп}}$ – норматив для приведення неодночасових затрат (0,8);

t – кількість років, що віддаляють затрати.

Розрахунок сумарних приведених витрат виконаємо у табличному вигляді.

Таблиця 5.1 – Розрахунок сумарних приведених витрат для звичайної ланкової колії

Стандартні рейки	Види витрат	Витрати по рокам										
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Коеф. віддалення	1.00	0.93	0.86	0.79	0.74	0.68	0.63	0.58	0.54	0.50	0.46
	Кап. затрати	14							33			
	Затр. на СР і КОР			0.532		10.6	0.532				0.532	
	Поточне утримання		1.428	1.428	1.428	1.428	1.428	1.428	1.428	1.428	1.428	1.428
	Витрати на "вікна"			0.0665		1.06	0.0665				0.0665	
	Сумарні річні витрати	0	1.43	2.03	1.43	13.09	2.03	1.43	1.43	1.43	2.03	1.43
	Привед річні витрати	0	1.32	1.74	1.13	9.62	1.38	0.90	0.83	0.77	1.01	0.66
	Сум прив річні витрати	14	15.32	17.06	18.19	27.81	29.19	30.09	63.93	64.70	65.71	66.37

Таблиця 5.2 – Розрахунок сумарних приведених витрат для колії з довгими рейками

Довгі рейки	Види витрат	Витрати по рокам										
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Коеф. віддалення	1.00	0.93	0.86	0.79	0.74	0.68	0.63	0.58	0.54	0.50	0.46
	Кап. затрати	13.9135										32.9135
	Затр. на СР і КОР				0.532		10.6			0.532		
	Поточне утримання		0.336	0.336	0.336	0.336	0.336	0.336	0.336	0.336	0.336	0.336
	Витрати на "вікна"				0.0665		1.06			0.0665		
	Сумарні річні витрати	0	0.34	0.34	0.93	0.34	12.00	0.34	0.34	0.93	0.34	0.34
	Привед річні витрати	0	0.31	0.29	0.74	0.25	8.16	0.21	0.20	0.50	0.17	0.16
	Сум прив річні витрати	13.9135	14.22	14.51	15.25	15.50	23.67	23.88	24.07	24.58	24.75	57.82

Дані таблиці дозволяють побудувати графіки сумарних приведених затрат і вибрати найбільш ефективну конструкцію верхньої будови колії.



Рисунок 5.9 – Графіки сумарних приведених річних витрат

Аналіз графіків дає можливість зробити наступні висновки.

Колія з довгими рейками має менші капітальні вкладення. Це обумовлено тим, що вартість двох накладок в зборі більша за витрати на зварювання стику.

Колія з довгими рейками має менші витрати на поточне утримання, так як кількість стиків менша, строк служби рейок, скріплень і баласту більший.

Використання довгих рейок по 120 м має однозначний позитивний економічний ефект з самого початку улаштування відповідної конструкції колії, що перевищує навіть ефект від лубрикації.

5.5 Висновки за розділом 5

1. У п'ятому розділі проаналізовано характеристики кривих ділянок колії, які знаходяться у складних умовах плану і профілю залізничної колії. Згідно аналізу в кривих ділянках з радіусами $R < 450$ м можливо зробити висновки, що 100% перехідних кривих та 90% кругових кривих можливо перекрити рейками довжиною 120 м.

2. З проведеного розрахунку встановлено, що для умов температурних амплітуд України рейки довжиною від 43 м до 130 м необхідно вважати довгими рейками.

3. Проведено аналіз роботи колії на дерев'яних та залізобетонних шпалах та складено вимоги до рейкових скріплень в складних умовах плану і профілю залізничної колії, а саме забезпечення достатнього опору поздовжньому переміщенню рейки згідно вимог [33] 25 – 30 кН/м та нормативного притиснення рейок до основи не менше ніж 20 кН, а також їх відповідність умовам стійкості та міцності рейкової колії.

4. Запропонована конструкція колії для складних умов на щебеневому баласті з рейко-шпальною решіткою на залізобетонних шпалах з рейками типу Р65 довжиною 120 м, які вкладаються по довжині трьома частинами (перша перехідна крива–кругова крива–друга перехідна криві), які з'єднані між собою накладками з шістьма отворами на скріпленні типу СКД65-Б та КПП-5-К та проведені розрахунки стикового та поздовжнього опору рейки на обраних типах скріплень з накладками з шістьма отворами. Проведені розрахунки дають можливість стверджувати, що обрана конструкція має достатній запас міцності та стійкості та відповідає нормам улаштування залізничної колії.

5. Використання довгих рейок по 120 м має однозначний позитивний економічний ефект з самого початку улаштування відповідної конструкції колії, що перевищує ефект навіть від лубрикації.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В дисертації сформульована і вирішена важлива науково-технічна задача поліпшення взаємодії рухомого складу з рейковою колією у складних умовах плану і профілю залізничної колії зі зменшенням показників зносу гребенів коліс і рейок в точці контакту, який досягається за рахунок вкладання довгих рейок по довжині кривої трьома частинами: перша перехідна крива – кругова крива – друга перехідна крива. На підставі проведених досліджень зроблені наступні висновки:

1. При аналізі факторів впливу на знос гребенів коліс та рейок встановлено, що стик є основною причиною інтенсивного зносу у контактуючій парі при взаємодії рухомого складу і залізничної колії.

2. Сформульовано визначення складних умов плану і профілю залізничної колії. Визначено ключові характеристики складних умов плану і профілю, а саме: радіуси, ухили, та труднощі переобладнання, які пов'язані зі значними фінансовими витратами. Особливістю сучасних складних умов плану і профілю залізничної колії є використання залізобетонних шпал в ланковій колії та поява рейок з конверторної сталі.

3. Проаналізовано вплив стикових нерівностей у горизонтальній і вертикальній площині, встановлено що стик є причиною стрибкоподібного зносу колеса та рейки. У кривих ділянках в стиках ланкової колії знос гребенів та рейок більш інтенсивний та нерівномірний по довжині рейок як в перехідних так і в кругових ділянках, ніж в позастиковій зоні. Тому в кривих ділянках колії в складних умовах необхідно зменшити кількість стиків.

4. Для вирішення проблеми стабілізації стійкого руху рухомого складу в перехідній та круговій кривих та зменшення бокового навантаження на гребені коліс та колію, пов'язаних з зоною стику досягається за рахунок вкладання рейок довжиною 120 м. Встановлено, що для умов температурних амплітуд України рейки довжиною від 43 м до 130 м є довгими рейками.

5. Проведено розшифрування геометричних показників просторових нерівностей ланкової колії та колії з довгими рейками для математичного

моделювання взаємодії рухомого складу та ланкової колії зі стандартними та довгими рейками. В результаті отримано залежності максимальних значень показників бічних поперечних сил діючих між бічними контактними поверхнями головок рейок і реборд коліс. При цьому кут набігання колісної пари на зовнішню рейку та сили тертя в точці контакту при довгих рейках зменшуються на 10–20% відносно стандартних рейок.

6. При аналізі додаткових факторів встановлено, що для зменшення фактору приробки у кривих та відповідного зносу колеса і рейки, на залізобетонних шпалах необхідно використовувати регулюючі типи скріплень починаючи не з 300 м, а з 650 м. У кривих ділянках колії на залізобетонних шпалах влаштовувати початкову ширину колії згідно радіусу кривої:

при радіусах від 650 м до 450 м – 1530 мм;

при радіусах від 450 м і менше – 1535 мм.

7. При порівнянні результатів математичного моделювання і експериментальних даних встановлено збіг з об'єктивними експериментальними даними, одержаними в реальних умовах експлуатації, а саме, при математичному моделюванні за допомогою створеної математичної моделі механічних процесів системи одержано, що зменшення значень коефіцієнтів тертя від 0,25 до 0,05 приводить до зниження показників зносу бічної поверхні відповідно у 3,5–4,5 рази, а по результатам експериментальних досліджень з конкретними рейко-змащувальними установками та модифікаторами встановлено зменшення зносу головок рейок в середньому в 1,89 рази.

8. Запропонована конструкція колії для складних умов плану і профілю залізничної колії на щебеневому баласті з рейко-шпальною решіткою на залізобетонних шпалах з рейками типу Р65 довжиною 120 м, які вкладаються по довжині трьома частинами (перша перехідна крива–кругова крива–друга перехідна крива), які з'єднані між собою накладками з шістьма отворами, на скріпленні типу СКД65-Б та КПП-5-К, має однозначний позитивний з самого початку улаштування відповідної конструкції колії, що перевищує

економічний ефект навіть від лубрикації. Проведені розрахунки дають можливість стверджувати, що обрана конструкція має достатній запас міцності та стійкості та відповідає нормам улаштування залізничної колії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Мустяц В.Ф., Есаулов В.П., Сладковский А.В. / Износ деталей колесных пар на Украине // Локомотив. -1996. -№7. –С.43-44.
2. Bulletin de l'Association Internationale du congress des Chemins de Fer TXXX. 1953, N10.
3. А. О. Швець, О. М. Болотов, Л. С. Сапарова / Вплив режиму гальмування на знос коліс та стійкість вантажного рухомого складу // Вісник сертифікації залізничного транспорту. – 2018. – № 4 (50). – С. 68 – 82.
4. Демченко С.М., Макаров Ю.О., Татуревич А.А. / Вплив різних типів проміжних рейкових скріплень на інтенсивність зношування рейок на криволінійних ділянках колії // «Залізничний транспорт України», 2023. - № 1. - С. 27-33. <http://dx.doi.org/10.34029/2311-4061-2023-146-1-27-33>
5. Безрукавый Н.В. / Підвищення ресурсу колісних пар вантажних вагонів шляхом вдосконалення профілів коліс // дис. канд. техн. наук [Текст] – Дніпро, 2021. – 22 с, 91- 93 с.
6. Даніленко Е.І., Орловський А.М., Уманов М.І., Патласов О.М., Карпов М.І., Шраменко В.П., Белорусов О.І., інж. Яковлев В.О., Молчанов В.М., Корноухова К.В. / Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України [Текст]: інструкція Укрзалізниця // – К., 2012.– с. 14 – 15, с. 441.
7. Блохин Е.П., Мямлин С.В, Сергиенко Н.И. / Повышенный износ колес и рельсов – важнейшая проблема транспорта // Залізничний транспорт України. – 2011. N1, – С. 10 - 14.
8. Гозбенко В. Е., Тувшинтур Б. / Анализ и пути снижения износа рельсов и колес подвижного состава // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2015. – № 3 (47). – С. 191-197.
9. Рейки звичайні для залізниць широкої колії. Загальні технічні умови: ДСТУ 4344:2004.– [Чинний від 2004–09–20]. – Київ: ДП «УкрДНДІМ», 2005. – с. 12–13 – (Нац.. стандарт України).
10. Рейки залізничні типу Р65, загартовані по поверхні кочення та бічним граням головки, підвищеної твердості. Технічні умови. Дослідна партія:

- ТУ У ДП 24.1–00191158 – 001:2016.– [Чинний від 2015–12–26]. – Київ: ДП «УкрНТЦ»Енергосталь», 2016. – с. 8–9
11. Ражковский А.А., Бунькова Т.Г. / Исследование рационального соотношения твердости в системе «рельс–колесо» // Известия транспорт. Подвижной состав железных дорог. – 2013. – №1 (13). – с. 34–42.
 12. Макаров Ю.О. / Проблемы наднормативного бокового зносу рейок на ділянках зі складними умовами експлуатації // «Залізничний транспорт України», 2019. - № 3. – С. – 39 – 45. <http://dx.doi.org/10.34029/2311-4061-2019-132-3-39-45>
 13. Карпущенко Н. И. / Основные причины износа рельсов // «Путь и путевое хозяйство», 2005 – .№. 10. С. 4–10
 14. Рибкін В.В., Настечик М.П., Арбузов М.А., Каленик К.Л., Макаров Ю.О., Маркуль Р.В. / Дослідження впливу параметрів улаштування колії на інтенсивність бічного зношення головки рейки в кривих ділянках // Збірник наукових праць ДонІЗТ, 2013. - № 34. - С. – 155 – 162. <http://eadnurt.diit.edu.ua/jspui/handle/123456789/2706>
 15. Фришман М. А. / Как работает путь под поездами // – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1983. – 168 с.
 16. Курган Н.Б., Байдак С.Ю., Гусак М.А. / Влияние на износ рельсов параметров устройства пути // Проблемы механики залізничного транспорту: Безпека руху, динаміка, міцність рухомого складу та енергозбереження. XIII Міжнародна конференція. Тези доповідей. – Д.: Изд-во ДНУЖТ, 2012. – 160 с.
 17. Афанасов А.М. / Автоматизация управления системой смазывания гребней колес локомотивов // дис. канд. техн. наук [Текст] – Днепропетровск, 1999. – 13 с, 35 с.
 18. Novorukha V., Novorukha A., Makarov Y. / Research on the dynamic processes of vehicles and an arbitrary configuration rail track, influencing the side wear of the rail head and wheel flange contact surfaces at different values

- of friction coefficient between them // - Ser.: Earth and Environmental Science 970 (2022) 012029 - С. 01 – 19. <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/970/1/012029>
19. Makarov, Y., Zaleskyi, R., & Mykhalichenko, M. / Influence of different factors on the value of the rail wear rate // - Acta Technica Jaurinensis, 2024. - 17(1), 45–58. <https://doi.org/10.14513/actatechjaur.00735>
 20. Говоруха В. В. / Механика взаимодействия рельсового пути, подвижных транспортных средств и смежных устройств // Моногр. – Днепропетровск: Лира, 2006. – 448.
 21. Данович В.Д., Лиговский Р.С., Грановский Р.Б. / Пространственные колебания грузового вагона при движении по пути с деформированными и случайными неровностями // Механика наземного транспорта. – Киев: Наук. думка, 1977. – С. 37–41.
 22. Лазарян В. А. / Динамика транспортных средств // В. А. Лазарян: Избр. тр. – Киев: Наук. думка, 1985. – 528 с.
 23. Макаров Ю.О., Лобода Р.В. / Скріплення для кривих ділянок колії СКД–65Д та СКД–65Б // Технічний звіт. – Дніпропетровськ: Колієобстежувальна станція №1 ЦП УЗ ПАТ «Укрзалізниця», 2014. – с. 130–133.
 24. Блохин Е.П., Данович В.Д., Коротенко М.Л. / Влияние поперечного зазора в рельсовой колее на износ гребней колесных пар грузовых вагонов в кривых // Залізничний транспорт України. – 1997. N2–3, – С.9.
 25. Блохин Е.П., Данович В.Д., Коротенко М.Л., Манашкин Л.А. / Математическая модель вынужденных колебаний системы «поезд – экипаж – путь» для оценки износа колеса и рельса // Тр. IX Междунар. конф. «Проблемы механики железнодорожного транспорта». – 1996. – С.59.
 26. Ушкалов В.Ф., Мокрый Т.Ф., Мащенко И.А., Шевцов И.Е. / Влияние конструкции и параметров ходовых частей на процессы взаимодействия и износа пары «колесо – рельс» в условиях нормальной эксплуатации

- железнодорожных экипажей // Тр. Междунар. научн.–практич. конф. «Проблемы взаимодействия пути и подвижного состава». –1998. –С.74.
27. Блохин Е.П., Пшинько А.Н., Данович В.Д., Коротенко М.Л. / Оценка влияния отклонений от норм содержания // Тр. Междунар. научн.–практич. конф. «Проблемы взаимодействия пути и подвижного состава». –1998. – С.12–14.
28. Ушкалов В.Ф., Мокрий Т.Ф., Малышева И. Ю. / Математическая модель взаимодействия железнодорожного экипажа и пути с учетом распределения контактных сил по пятнам контакта // Техн. механика. – 2015. N2. – С.79–89.
29. Демченко С.М., Макаров Ю.О., Татуревич А. А. / Проблеми застосування стаціонарних рейкозмашувальних пристроїв на залізницях АТ «Укрзалізниця» // «Залізничний транспорт України», 2020. - № 1. – С. – 25 – 34. <http://dx.doi.org/10.34029/2311-4061-2020-134-1-25-34>
30. Говоруха В.В. / Физико–технические основы создания элементов рельсового транспорта шахт и карьеров // Моногр. В. В.Говоруха. – Киев: Наук. Думка, 1992. – 200 с.
31. Радченко Н. А. / Криволинейное движение рельсовых транспортных средств // Н. А. Радченко. – Киев: Наук. думка, 1988.– 216 с.
32. Ushkalov V., Malysheva I. / On a Vehicle Wheel–Rail Interaktion // Ninth Word Congress on the Treory of Machines ind Mechanics mus: Proceeaings. – Italu, Milan: Politecnsco di Milano, 1995. – V. 2. – P. 941–945.
33. Рибкін В.В., Патласов О.М., Белорусов О.І., Карпов М.І., Курган Д.М., Шраменко В.П., інж. Бабенко А.І, Штойко В.А., Олійник І.О., м.н.с. Лисак В.А., Каленик К.Л. / Технічні вказівки по улаштуванню, укладанню, ремонту і утриманню безстикової колії на залізницях України [Текст] : інструкція Укрзалізниця // – К., 2012.– 6–7, 8, 12–13, 15 с.
34. Галичев А.Г. / Влияние триботехнического состояния колес и рельсов на динамику движения грузового тепловоза в режимах выбега и тяги // дис. канд. техн. наук [Текст] – Б., 2002. – 195 с.

35. Михальченко Г.С. / Разработка методологии выбора структуры и параметров экипажной части многоосных локомотивов и ее реализация при проектировании восьмиосных тепловозов // дис. д-ра техн. наук [Текст]. – Б., 1985. – 453 с.
36. Шоканов С. Ш., Самыратов С.Т., Кайнарбеков А.К. / Основные причины и механизм износа рельсов // [электронный ресурс]. - URL: http://www.rusnauka.com/3_ANR_2011/Tecnic/4_79112.doc.htm (дата обращения 25.09.2016 г.)
37. Губар О.В. / Обґрунтування норм улаштування та утримання колії для кривих з радіусами менше 350 метрів // дис. канд. техн. наук [Текст] – Дніпропетровськ, 2011. – 149, 169 с.
38. Макаров Ю.О., Залеський Р.Ю. / Особливості експлуатації проміжних рейкових скріплень в кривих ділянках колії радіусом 650 м і менше на залізобетонних шпалах // Технічний звіт. – Дніпро: Колієобстежувальна станція ПС–1 філії ЦДЗІ «Укрзалізниця», 2020. – с. 131–134.
39. Говоруха В.В., Макаров Ю.А. / Исследования бокового износа рельсов при механическом взаимодействии пути и колес ходовой части вагонов на криволинейных участках пути // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. / ИГТМ НАН Украины. – Днепр, 2017. – № 134. – С. 125–140. <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/141330>
40. Татуревич А.П., Евдомах Г.В. / К вопросам расследований случаев нарушения безопасности движения поездов // Методические указания. [Текст] – Днепропетровск, 2008. – с.8–12.
41. Певзнер В.О., Белоцветова О.Ю., Потапов А.В. / Результаты наблюдений по оценке влияния эксплуатационных факторов на боковой износ рельсов // Вістник ВНДІЗТ. – 2016. Т. 75. №4. С. 242–247.
42. Модернізація електровозів серії ВЛ11М системою рейкозмазування. Пояснювальна записка: ЕЗ.680.00.00.000ПЗ. – [Чинний від 2019–06–28]. – Київ: НДКТІ АТ «УЗ», 2019. – с. 5–12.
43. Вагон–рельсосмазыватель АО «Фирма Твема». <https://tvema.ru/393>

44. Рейкозмащувач колійний проект 1901.000.СБ. Технічний опис та інструкція з експлуатації. – [Чинний від 2001–09–26]. – Черкаси: ВСП «Одеській КРМЗ» АТ «УЗ», 2001. – с. 1–8.
45. Мямлін С.В., Макаров Ю. О., Залеський Р. Ю. / Зменшення зносу пари "колесо-рейка" шляхом удосконалення технології лубрикації // Залізничний транспорт України. - 2022. - № 4. - С. 27-38.
<http://dx.doi.org/10.34029/2311-4061-2022-145-4-27-38>
46. Стационарный путевой рельсосмазыватель СПР–02–М.1. Руководство по эксплуатации РДНК. 663324. 002. 00. 000РЭ – М.1 / ООО «Машиностроитель», – С., 2011. – с. 13–18.
47. Макаров Ю.О., Дроздов Д.О., Лобода Р.В. / Скріплення для кривих ділянок колії СКД–65Д та СКД–65Б // Технічний звіт. – Дніпропетровськ: Колієобстежувальна станція №1 ЦП УЗ ПАТ «Укрзалізниця», 2015. – с. 141–147.
48. Макаров Ю.О., Лобода Р.В. / Конструкція скріплень та їх вдосконалення. Скріплення для кривих ділянок колії типу СКД–65Б // Технічний звіт. – Дніпро: ВП «Колієобстежувальна станція ПС–1» філії «ЦДЗІ» АТ «Укрзалізниця», 2019. – с. 138 – 143.
49. Макаров Ю.О., Калекіна Л.І / Аналіз експлуатаційних показників дослідних та підконтрольних рейок. Проблеми наднормативного бокового зносу рейок на ділянках зі складними умовами експлуатації // Технічний звіт. – Дніпро: ВП «Колієобстежувальна станція ПС–1» філії «ЦДЗІ» АТ «Укрзалізниця», 2019. – с. 6 – 13.
50. Говоруха В.В., Макаров Ю.А. / Повышение ресурса работы рельсового транспорта за счет уменьшения интенсивности бокового износа рельсов в кривых малых радиусов и стрелочных переводов // Сучасні технології розробки рудних родовищ. Екологоекономічні наслідки діяльності підприємств ГМК.36: IV Міжнародна науково–технічна конференція: 24 листопада 2017 р. – Кривий Ріг, 2017. – С. 63–64.
51. Вериги М.Ф., Коган А.Я. / Взаимодействие пути и подвижного состава //

- М.: Транспорт, 1986. – 559 с.
52. Шахунянц Г. М. / Железнодорожный путь // – М.: Транспорт, 1969. – 536.
 53. Данович В.Д., Литвин И.А., Мокрый Т.Ф. / Определение сил взаимодействия движущегося объекта в инерционном основании // Нагруженность, колебания и прочность сложных механических систем. – К.: Наук. думка, 1977. – С. 93–99.
 54. Говоруха В.В., Макаров Ю.А., Семидетная Л.П. / Повышение износостойкости и устойчивости пути криволинейных участков малых радиусов // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. / ИГТМ НАН Украины. – Днепр, 2018. – № 142. – С. 103–114. <http://dx.doi.org/10.15407/geotm2018.142.103>
 55. Говоруха В.В., Макаров Ю.А., Кизилов В. К., Собко Т. П. / Исследование бокового износа головки рельсов в криволинейных участках пути с особо малыми радиусами кривизны // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. / ИГТМ НАН Украины. – Днепр, 2019. – № 149. – С. 111–121. <http://dx.doi.org/10.15407/geotm2019.149.111>
 56. Булат А.Ф., Говоруха В.В., Волошин А.И. / Уменьшение интенсивности бокового износа взаимодействующих элементов рельсового пути и ходовой части подвижных единиц при значительном снижении коэффициентов трения на контактных поверхностях // Проблемы механики железнодорожного транспорта: Безопасность движения, динамика, прочность подвижного состава и энергосбережения: XIV Международная конференция: Тезисы докладов. – Днепропетровск: ДНУЖТ, 2016. – С. 30–31.
 57. Говоруха В.В. / Механика деформирования и разрушения упругих элементов промежуточных рельсовых скреплений [монография] // В.В. Говоруха – Д.: Лира ЛТД, 2005. – 388 с.
 58. Альбрехт В.Г., Бромберг Е.М., Иванов К.Е., Лященко В.Н., Першин С.П., Шульга В.Я. / Бесстыковой путь и длинные рельсы // – М.: Транспорт – 1967. – с. 13–18, 35–36.

59. Даніленко Е.І. / Залізнична колія. Улаштування, проектування і розрахунки, взаємодія з рухомим складом : підруч. для вищ. навч. закл. : у 2 т. // Е. І. Даніленко. – Київ, Імпрес, 2010 – Том 2 – с. 152-153.
60. Даніленко Е.І. / Залізнична колія. Улаштування, проектування і розрахунки, взаємодія з рухомим складом : підруч. для вищ. навч. закл. : у 2 т. // Е. І. Даніленко. – Київ : Імпрес, 2010. – Т. 2. – 456 с.
61. Білий В.І. / Залізнична колія: навчальний посібник // [Текст] – Донецьк, 2007. – 41 с.
62. Настечик М.П., Губар О.В. / Інструкція зі складання та поточного утримання колії зі скріпленнями типу СКД65 // – К.: Транспорт України, 2008. – 4 с.
63. ТУ У 35.2–30268559–118:2015. Скріплення проміжні пружні типу КПП–5. Технічні умови (зі змінами): Затв. 06.04.2015. – Д.: 2015. – с.11–12.
64. Говоруха В.В., Кордун В.О., Татуревич А.А., Абсатова Л.С. / Інструкція зі збирання рейко–шпальної решітки для різних видів скріплень. ЦП–0180 // – Київ : Вид–во ТОВ „Швидкий рух”, 2007. – 40с.
65. Бабенко А.І, Линник Г.О., Мойсеєнко К.В., Патласов О.М., Яковлев В.О. / Положення про проведення планово–запобіжних ремонтно–колійних робіт на залізницях України. ЦП–0287 // – Київ: Вид–во ТОВ „Девалта”, 2015. – 48 с. 15.
66. Альбрехт В. Г. / Бесстыковой путь и длинные рельсы // – М., 1967.
67. Волошко Ю.Д., Воробейчик Л.Я. / Техничко-економические расчеты по выбору конструкции верхнего строения пути // Днепропетровск: 1987. – 48 с.
68. Мойсеєнко К.В., Татуревич А.А. / Колія з проміжним скріпленням типу КПП–5–К. Улаштування та утримання. СТП 06–013:2018 // – Київ, 2018. – с. 4

ДОДАТОК А
ЗМЕНШЕННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ БОКОВОГО ЗНОСУ ЗА РАХУНОК ЛУБРИКАЦІЇ.

Таблиця А.1

№ графіка п/п	Шифр рейок	Укладання		Дата обстеження	Вантажонапруженість, млн. т/км бр/км за рік	Пропущений тоннаж на момент виміру, млн т бр. вант.	№ плавки, викатка	Радіус кривої	Середнє значення ширини колії, мм	Рівень натурний/розрахунковий, мм	Середній боковий знос рейок, мм	Інтенсивність бокового зносу рейок, мм/млн т бр.
		Місце	Дата вклада-ння									
1	КФ 2016	Славсько – Лавочне 1624 пк7-9, непарна, підйом 10,0‰	28.10.16	15.02.17	32	9,6	А-VI-16 КФ 191	287	1541	78	6,7	0,691
				13.06.17	32	20			1536	77	11,6	0,576
				18.09.17	32	28,5			1540	80	14,9	0,525
				19.02.18	33	43,3			1537	82	19,4	0,458
	КФ 2017		07.03.18	26.03.18	33	1,7	А-XII-17 КФ272 КФ262 КФ274 КФ248		1533	79	1,16	0,675
				20.06.18	33	9,5			1535	79	3,75	0,395
				18.09.18	33	17,6			1541,1	79,7	6,32	0,358
				10.06.19	31	41,6			1531,6	76,4	8,79	0,211
				23.09.19	31	51,1			1536,2	79,4	10,03	0,196

Продовження табл. А.1

1	КФ 2019	Славськo – Лавoчне 1624 пк7-9, непарна, підйом 10,0‰	04.10.19	18.02.20	31	11,6	А-VII-19 КФ 69		1538,5	69,4	4,9	0,425
				16.09.20	24	25,5			1536,7	36,7	8,1	0,316
				22.02.21	24	36			1540	69	13,9	0,386
2	КФ 2012	Славськo – Лавoчне, 1623 км ПК2–7 непарна, підйом 11,5‰	05.09.12- 11.2014	19.09.12	32	1,4	А-VII-12 КФ997	330			0,5	0,357
				25.09.13	33	34,7					7,0	0,202
				02.10.14	34	68,8					15,5	0,225
	КФ 2014	Славськo – Лавoчне, 1623 км ПК2-7 непарна, підйом 11,5‰	14.12.16	15.06.17	38	19,1	А-IX-14 КФ324 КФ304		1534,4	78,3/80	4,6	0,243
				18.09.17	38	28,9			1541,6	78,0/80	7,1	0,246
				20.02.18	38	45,1			1542,4	76,1/58	11,2	0,248
				27.03.18	38	48,7			1541,6	77,1/58	11,8	0,242
				20.06.18	38	57,6			1543,1	78,0/58	12,7	0,220
				24.09.18	38	67,7			1545,1	75/58	14,6	0,215
	КФ 2018		25.10.18	13.02.19	34	11,6	А-VII-18 КФ158 КФ251 КФ160 КФ177		1541,3	71,7	1,1	0,099
				12.06.19	34	23,9			1539,9	66,6	2,4	0,101
				24.09.19	34	34,8			1539,8	77	4,0	0,116
				18.02.20	34	47,3			1539,4	71,2	6,06	0,147
				23.02.21	25	72,7			1537	72,5	11,4	0,156
3	КФ 2012	Лавoчне – Бескид 1631 пк1-2, непарна, ланкова, підйом 22,1‰, СКД65-Д	05.09.12– 11.2014	19.09.12	32	1,4	А-VII-12 КФ997	330			0,5	0,357
				25.09.13	33	34,7					7,0	0,202
				02.10.14	34	68,8					15,5	0,225

Продовження табл. А.1

3	КФ 2014	Лавочне – Бескид 1631 пк1-2, непарна, ланкова, підйом 22,1‰	03.11.2014	19.06.16	33		52,3	A-IX-14 КФ342		1541,7	79,8/80	9,9	0,189
	КФ 2014		14.12.16	15.06.17	38		19,1	A-IX-14 КФ324 КФ304		1534,4	78,3/80	4,6	0,243
				18.09.17	38		28,9			1541,6	78,0/80	7,1	0,246
				20.02.18	38		45,1			1542,4	76,1/58	11,2	0,248
				27.03.18	38		48,7			1541,6	77,1/58	11,8	0,242
				20.06.18	38		57,6			1543,1	78,0/58	12,7	0,220
				24.09.18	38		67,7			1545,1	75/58	14,6	0,215
	КФ 2018		25.10.18	13.02.19	34		11,6	A-VII-18 КФ158 КФ251 КФ160 КФ177		1541,3	71,7	1,1	0,099
				12.06.19	34		23,9			1539,9	66,6	2,4	0,101
				24.09.19	34		34,8			1539,8	77	4,0	0,116
		18.02.20		34		47,3	1539,4		71,2	6,06	0,147		
		23.02.21		25		72,7	1537		72,5	11,4	0,156		

ДОДАТОК Б

Технічна характеристика кривих діляниць колії радіусом від 201 – 299 м та менше станом на 01.01.2020 по
Стрийській дистанції колії

Таблиця Б.1

	Перегон	№ п/п по ПЧ	Початок кривої кривої		Кінець кривої		Довжина кривої, м			Радіус, м	Розрахункове підвищення	Фактичне підвищення	Тип рейок Р(43,50,65)	Тип шпал (Д, ЗБ, Д/ЗБ)	Кількість шпал в кривій на яких укладено скріплення	Вантажонапруженість	Категорія колії	Встановлена швидкість руху поїздів		Рік вкладання решітки в кривій	
			км	«+»	км	«+»	загальна	в тому числі перехідні криві, м										кругова, м	пасажирським		вантажним
								I	II												
1	ст. Стрий	6	1555	832	1555	885	53	8	30	15	290	16	0	Р65	ЗБ		34	III	60	60	
3	ст. Сколе	13	1595	2	1594	161	159	30	80	49	290	70	100	Р65	ЗБ		31	IV	60	60	
4	Сколе – Гребенів	14	1596	943	1597	222	279	80	115	84	266	72	100	Р65	Д	СКД65-Д	31	IV	60	60	
5	Сколе – Гребенів	15	1597	924	1598	188	264	95	80	89	260	77	95	Р65	Д	СКД65-Д	31	IV	60	60	
6	ст. Гребенів	20	1601	437	1601	850	413	65	30	318	275	79	90	Р65	ЗБ		31	IV	60	60	
7	Гребенів – Тухля	24	1605	307	1605	731	424	100	80	244	260	66	100	Р65	Д	СКД65-Д	31	IV	70	60	
8	Гребенів – Тухля	25	1606	67	1606	415	348	70	65	213	270	66	100	Р65	Д		31	IV	70	60	
9	Тухля – Славсьько	36	1613	777	1614	96	319	100	100	119	285	68	115	Р65	Д		31	IV	60	60	
10	Тухля – Славсьько	37	1614	208	1614	395	187	80	60	47	297		90	Р65	Д	СКД65-Д	31	IV	60	60	
11	Тухля – Славсьько	40	1614	890	1615	74	148	55	70	23	290	65	60	Р65	Д	СКД65-Д	31	IV	60	60	
12	Славсьько –Лавочне	47	1621	813	1621	943	130	90	70	–30	275	52	75	Р65	Д	СКД65-Д	31	IV	60	60	
13	Славсьько –Лавочне	48	1622	149	1622	638	489	50	50	389	270	68	10	Р65	ЗБ		31	IV	60	60	2019

Продовження табл.Б.1

14	Славсьько –Лавочне		1623	255	1623	619	364	50	50	264	275	67	70	P65	ЗБ		31	IV	60	60	2019
14	Славсьько –Лавочне	52	1623	640	1623	825	185	50	50	85	287	64	65	P65	ЗБ		31	IV	60	60	2019
15	Славсьько –Лавочне	53	1623	849	1624	193	344	100	60	184	268	69	70	P65	ЗБ		31	IV	60	60	2019
16	Славсьько –Лавочне	54	1624	214	1624	392	314	60	60	194	288	69	70	P65	ЗБ		31	IV	60	60	2019
17	Славсьько –Лавочне	55	1624	779	1625	65	286	60	60	166	262	69	75	P65	ЗБ		31	IV	60	60	2019
18	Славсьько –Лавочне	56	1625	85	1625	388	303	60	60	183	265	68	70	P65	ЗБ		31	IV	60	60	2019
19	Славсьько –Лавочне	57	1625	433	1625	814	381	60	60	261	275	66	70	P65	ЗБ		31	IV	60	60	2019
20	Славсьько –Лавочне	58	1625	852	1626	108	526	60	60	406	267	69	70	P65	ЗБ		31	IV	60	60	2019
21	Славсьько –Лавочне	59	1626	127	1626	304	177	60	30	87	262	70	75	P65	ЗБ		31	IV	60	60	2019
22	ст. Лавочне	60	1626	640	1626	889	249	50	50	149	239	136	81	P65	ЗБ	СКД65-Б	31	IV	60	60	
23	ст. Лавочне	61	1627	100	1627	240	140	50	50	40	255	123	44	P65	ЗБ	СКД65-Б	34	IV	60	60	
24	ст. Лавочне	62	1628	221	1628	478	257	80	90	87	270	116	60	P65	ЗБ	СКД65-Б	34	IV	60	60	
25	ст. Лавочне	64	1628	745	1629	17	272	50	0	222	260	125	77	P65	ЗБ	СКД65-Б	34	IV	60	60	
26	ст. Лавочне	65	1629	18	1629	180	162	0	90	72	270	120	69	P65	ЗБ	СКД65-Б	34	IV	60	60	
27	Лавочне–Бескид	70	1630	818	1631	231	413	50	50	313	268	136	92	P65	ЗБ	СКД65-Б	34	IV	60	60	
28	Лавочне–Бескид	71	1631	260	1631	693	433	70	80	283	276	132	93	P65	ЗБ	СКД65-Б	34	IV	60	60	
29	Лавочне–Бескид	72	1631	826	1632	454	628	70	80	478	272	134	86	P65	ЗБ	СКД65-Б	34	IV	60	60	
30	Лавочне–Бескид	73	1632	486	1632	931	445	60	70	315	257	142	73	P65	ЗБ	СКД65-Б	34	IV	60	60	
31	ст. Сколе	80	1594	285	1594	615	330	90	75	165	270	95	115	P65	Д		14	IV	70	60	
32	ст. Сколе	81	1594	750	1594	980	230	55	0	175	275	93	90	P65	Д		14	IV	70	60	
33	Сколе – Гребенів	83	1596	950	1597	220	270	90	70	110	258	99	90	P65	ЗБ		14	IV	60	50	
34	Сколе – Гребенів	84	1597	924	1598	183	259	65	65	129	250	102	95	P65	Д		14	IV	60	50	
35	ст. Гребенів	88	1601	449	1601	824	305	40	30	235	252	75	80	P65	ЗБ		14	IV	60	60	
36	Гребенів – Тухля	93	1606	63	1606	407	344	40	50	254	280	82	65	P65	ЗБ		14	IV	60	50	
37	ст. Тухля	98	1610	877	1611	138	261	125	0	136	285	79	90	P65	Д		14	IV	70	60	
38	Тухля – Славсьько	103	1613	786	1614	125	339	100	100	139	285	72	70	P65	ЗБ		14	IV	70	60	2019
39	Тухля – Славсьько	104	1614	594	1614	794	200	50	70	80	295	30	35	P65	Д		14	IV	70	60	
40	ст. Сласько	111	1619	996	1620	404	408	90	85	233	290	63	80	P65	Д		14	IV	60	60	
41	Славсьько –Лавочне	113	1621	594	1621	868	273	90	0	183	260	61	105	P65	Д		14	IV	60	50	
42	Славсьько –Лавочне	114	1621	867	1622	146	277	40	70	167	276	89	105	P65	Д		14	IV	60	50	

Продовження табл.Б.1

43	Славсьько –Лавочне	117	1622	865	1623	121	385	70	50	265	269	75	80	P65	ЗБ		14	IV	60	50	2019
44	Славсьько –Лавочне	118	1623	48	1623	639	495	50	50	395	275	50	55	P65	ЗБ		14	IV	60	50	2019
45	Славсьько –Лавочне	119	1623	642	1623	806	164	40	70	54	265	79	85	P65	Д		14	IV	60	50	
46	Славсьько –Лавочне	120	1623	807	1624	103	296	80	70	146	290	85	80	P65	Д		14	IV	60	50	
47	Славсьько –Лавочне	121	1624	572	1624	666	94	25	25	44	270	30	35	P65	Д		14	IV	60	50	
48	Славсьько –Лавочне	122	1624	784	1625	88	304	75	70	159	295	84	65	P65	Д		14	IV	60	50	
49	Славсьько –Лавочне	123	1625	89	1625	370	281	80	80	121	260	77	85	P65	Д		14	IV	60	50	
50	Славсьько –Лавочне	124	1625	429	1626	810	381	80	70	231	251	83	85	P65	ЗБ		14	IV	40	40	2019
51	Славсьько –Лавочне	125	1625	843	1627	99	254	50	500	-296	280	87	90	P65	ЗБ		14	IV	40	40	2019
52	Славсьько –Лавочне	126	1626	121	1627	387	265	60	90	115	265	85	80	P65	ЗБ		14	IV	40	40	2019
53	Славсьько –Лавочне	127	1626	125	1626	400	275	80	40	155	240	65	85	P65	Д		14	IV	60	50	
54	Славсьько –Лавочне	128	1626	525	1626	650	125	80	0	45	270	71	80	P65	Д		14	IV	40	40	
	Славсьько –Лавочне	129	1627	651	1626	795	144	20	80	44	250	63	80	P65	Д		14	IV	40	40	
55	ст.Лавочне	130	1627	980	1628	150	170	48	60	62	260	52	45	P65	Д		16	IV	40	40	
56	ст.Лавочне	131	1628	231	1628	454	223	50	45	128	270	73	50	P65	ЗБ		16	IV	40	40	
57	ст.Лавочне	132	1628	551	1628	718	167	45	75	47	240	81	85	P65	ЗБ		16	IV	40	40	
58	ст.Лавочне	133	1628	736	1628	959	223	70	0	153	255	75	80	P65	ЗБ		16	IV	40	40	
59	ст.Лавочне	133	1628	960	1629	177	217	40	80	97	285	74	80	P65	ЗБ		16	IV	40	40	
60	ст.Лавочне	136	1630	392	1630	606	214	60	70	84	295	83	100	P65	ЗБ		16	IV	40	40	
61	Лавочне–Бескид	139	1630	810	1631	254	444	60	70	314	275	93	105	P65	ЗБ		16	IV	60	60	
62	Лавочне–Бескид	140	1631	277	1631	718	441	65	125	251	265	103	105	P65	ЗБ		16	IV	60	60	
63	Лавочне–Бескид	141	1631	785	1632	540	755	95	110	550	295	93	95	P65	ЗБ		16	IV	60	60	
64	Лавочне–Бескид	142	1632	541	1632	998	457	105	105	247	265	102	100	P65	ЗБ		16	IV	60	60	
65	Стрий–Дрогобич	144	0	380	0	540	160	30	20	110	203	27	70	P65	ЗБ		5	IV	50	50	
67	Стрий–Моршин	151	1	154	1	192	38	20	0	18	201	25	30	P65	ЗБ		5	VI	25	25	
68	Стрий–Моршин	153	1	367	1	588	221	0	20	201	295	17	30	P65	ЗБ		5	VI	25	25	

Технічна характеристика кривих ділянок колії радіусом від 300 – 450 м станом на 01.01.2020 по Стрийській дистанції колії.

Продовження табл. Б.1

№ п/п	Перегон	№ п/п по ПЧ	Початок кривої кривої		Кінець кривої		Довжина кривої, м			Радіус, м	Розрахункове підвищення	Фактичне підвищення	Тип рейок Р(43,50,65)	Максимальний боковий знос рейок	Тип шпал (Д, ЗБ, Д/ЗБ)	% від загальної кількості непридатних шпал	Кількість залізобетонних шпал в кривій	Кількість шпал в кривій на яких укладено скріплення			Вантажонапруженість	Катгорія колії	Встановлена швидкість руху поїздів		Рік вкладання решітки в кривій
			км	"+"	км	"+"	загальна	в тому числі перехідні криві, м										СКД-Д	СКД-Б	КД			пасажирським	вантажним	
								I	II																
300-499 м																									
ЛЬВІВ-СТРИЙ-ЛАВОЧНЕ непарна колія																									
1	ст. Щирець	1	1508	140	1508	647	507	115	80	357	78	120	Р65	7	ЗБ				СКД65-Б		36	III	80	60	
2	Щирець-Миколаїв	2	1514	227	1514	347	120	110	125	390	72	90	Р65	11	ЗБ				СКД65-Б		36	III	80	80	
3	Щирець-Миколаїв	3	1518	830	1519	226	396	140	140	403	78	98	Р65	7	ЗБ						36	III	60	60	
4	ст. Миколаїв	4	1526	840	1526	976	136	170	0	430	69	105	Р65	8	ЗБ				СКД65-Б		36	III	80	60	
5	ст. Стрий	5	1555	760	1555	850	90	35	12	350		10	Р65	2	ЗБ				СКД65-Б		36	III	60	60	
6	ст. Стрий	7	1557	10	1557	160	150	90	30	440	20	60	Р65	7	ЗБ						36	III	60	60	

Продовження табл. Б.1

7	В.Синеvidне - Сколе	8	1590	50	1590	323	273	120	110	450	48	115	P65	10	ЗБ					31	III	80	60	
8	В.Синеvidне - Сколе	9	1592	396	1592	663	267	70	80	400	50	75	P65	18	ЗБ			СКД65- Б		31	III	80	60	
9	ст. Сколе	10	1593	896	1594	221	325	55	90	300	59	100	P65	10	ЗБ					31	III	60	60	
10	ст. Сколе	11	1594	290	1594	664	374	80	110	300	66	100	P65	10	ЗБ					31	III	60	60	
11	ст. Сколе	12	1594	737	1595	166	269	80	80	302	63	60	P65	11	ЗБ					31	IV	60	60	2019
12	Сколе - Гребенів	16	1598	70	1598	190	120	110	140	345	58	90	P65	16	Д	20				31	IV	60	60	
13	Сколе - Гребенів	17	1598	236	1598	605	369	110	140	345	54	90	P65	16	Д	20				31	IV	60	60	
14	Сколе - Гребенів	18	1598	707	1598	976	269	100	95	375	49	80	P65	13	Д	20				31	IV	60	60	
15	ст. Гребенів	19	1599	814	1600	52	238	90	85	375	42	80	P65	8	ЗБ					31	IV	70	70	
16	ст. Гребенів	21	1601	952	1602	358	406	75	85	300	58	65	P65	20	ЗБ					31	IV	60	60	
17	Гребенів - Тухля	22	1602	432	1602	681	249	70	80	400	43	65	P65	15	ЗБ					31	IV	60	60	
18	Гребенів - Тухля	23	1604	162	1604	842	680	100	80	308	55	85	P65	9	Д	30				31	IV	70	60	
19	Гребенів - Тухля	26	1606	735	1607	190	455	75	90	448	43	60	P65	14	Д	30				31	IV	70	60	
20	Гребенів - Тухля	27	1607	884	1608	39	155	70	65	390	45	90	P65	11	ЗБ					31	IV	70	60	
21	ст. Тухля	28	1609	702	1609	897	195	70	95	430	20	50	P65	5	ЗБ					31	IV	60	60	
22	Тухля - Славсько	29	1610	134	1610	326	192	70	70	320		90	P65	9	Д	13		СКД65- Д		31	IV	60	60	
23	Тухля - Славсько	30	1610	406	1610	634	228	60	70	320		95	P65	5	Д	10				31	IV	60	60	
24	Тухля - Славсько	31	1610	879	1611	166	287	105	0	306	36	105	P65	20	Б	11				31	IV	60	60	
25	Тухля - Славсько	32	1611	693	1611	888	195	85	85	330		85	P65	6	Б	20				31	IV	60	60	
26	Тухля - Славсько	33	1611	913	1612	98	185	75	70	390		75	P65	6	Д	20		СКД65- Д		31	IV	60	60	
27	Тухля - Славсько	34	1612	145	145	515	370	80	90	303		100	P65	17	Д	30				31	IV	60	60	
28	Тухля - Славсько	35	1612	561	561	816	255	75	90	300	68	100	P65	10	Д	15		СКД65- Д		31	IV	60	60	
29	Тухля - Славсько	38	1614	394	1614	555	161	40	70	335		100	P65	10	Д	20				31	IV	60	60	
30	Тухля - Славсько	39	1614	630	1614	793	163	70	55	430	43	75	P65	16	Д	20		СКД65- Д		31	IV	60	60	
31	Тухля - Славсько	41	1615	137	1615	241	105	50	45	375	50	70	P65	13	Д	20				31	IV	60	60	
32	Тухля - Славсько	42	1617	250	1617	874	624	90	70	400	45	65	P65	3	Д	30		СКД65- Д		31	IV	60	60	
33	Тухля - Славсько	43	1617	940	1618	415	475	90	50	370	48	70	P65	13	Д	35				31	IV	60	60	
34	ст. Славсько	44	1619	994	1920	377	383	100	105	302	51	100	P65	17	ЗБ	6				31	IV	60	60	

Продовження табл. Б.1

35	ст. Сласько	45	1620	413	1620	750	337	115	110	302	49	80	P65	16	Д	8					31	IV	60	60	
36	Славськo -Лавочне	46	1621	580	1621	812	232	85	0	400	36	80	P65	21	Д	9					31	IV	60	60	
37	Славськo -Лавочне	49	1622	659	1622	809	150	50	50	650	53	50	P65	4	ЗБ					31	IV	60	60	2019	
38	Славськo -Лавочне	50	1622	858	1623	235	377	50	50	341	54	50	P65	6	ЗБ					31	IV	60	60	2019	
39	Славськo -Лавочне	51	1623	251	1623	632	381	65	56	300	44	100	P65	8	Д	7		СКД65-Д		31	IV	60	60		
40	ст. Лавочне	63	1628	538	1628	725	187	60	50	301	104	45	P65	11	ЗБ				СКД65-Б		34	IV	60	60	
41	ст. Лавочне	66	1629	826	1629	982	156	50	50	330	110	72	P65	17	ЗБ				СКД65-Б		34	IV	60	60	
42	ст. Лавочне	67	1630	4	1630	195	191	50	50	330	110	51	P65	9	ЗБ				СКД65-Б		34	IV	60	60	
43	Лавочне-Бескид	68	1630	387	1630	591	204	50	50	310	118	73	P65	18	ЗБ				СКД65-Б		34	IV	60	60	
44	Лавочне-Бескид	69	1630	619	1630	775	156	50	50	305	120	62	P65	12	ЗБ				СКД65-Б		34	IV	60	60	
ЛЬВІВ-СТРИЙ-ЛАВОЧНЕ парна колія																									
45	ст. Щирець	74	1507	668	1507	903	235	100	95	440	62	95	P65	7						18	IV	60	60		
46	ст. Щирець	75	1508	216	1508	341	165	40	0	340	80	90	P65	8	ЗБ					18	IV	60	60		
	ст. Щирець		1508	341	1508	853	512	20	0	400	68	70	P65	5	ЗБ					18	IV	60	60		
47	Щирець-Миколаїв	76	1518	798	1518	995	197	110	0	405	67	100	P65	7	ЗБ					18	IV	60	60		
48	ст. Миколаїв	77	1526	865	1527	293	428	130	120	390	70	100	P65	13	ЗБ				СКД65-Б		18	IV	80	60	
49	В.Синевидне - Сколе	78	1592	401	1592	650	249	55	70	390	58	50	P65	12	ЗБ					14	IV	80	60		
50	ст. Сколе	79	1593	870	1593	133	263	95	100	300	85	95	P65	5	Д	18				14	IV	80	60		
51	ст. Сколе	80	1594	285	1594	615	330	90	75	270	95	115	P65	16	Д	35				14	IV	70	60		
52	ст. Сколе	81	1594	750	1594	980	230	55	0	275	93	90	P65	6	Д	35				14	IV	70	60		
53	ст. Сколе	82	1594	981	1595	147	166	80	75	300	85	90	P65	13	Д	35				14	IV	70	60		
54	Сколе - Гребенів	83	1596	950	1597	220	270	90	70	258	99	90	P65	10	ЗБ					14	IV	60	50		
55	Сколе - Гребенів	84	1597	924	1598	183	259	65	65	250	102	95	P65	6	Д	30				14	IV	60	50		
56	Сколе - Гребенів	85	1598	260	1598	574	314	100	95	310		80	P65	8	Д	35				14	IV	60	50		
57	Сколе - Гребенів	86	1598	692	1598	972	280	120	70	380		105	P65	16	Д	15				14	IV	70	60		
58	Сколе - Гребенів	87	1599	808	1600	36	228	90	85	400		70	P65	16	ЗБ					14	IV	70	60		

Продовження табл. Б.1

59	ст. Гребенів	88	1601	433	1601	833	400	80	50	250		105	P65	21	ЗБ							14	IV	60	60	
60	ст. Гребенів	89	1601	922	1602	331	408	50	60	300	64	100	P65	4	ЗБ							14	IV	60	60	
61	Гребенів - Тухля	90	1602	456	1602	687	231	50	50	420	48	60	P65	15	ЗБ							14	IV	60	60	
62	Гребенів - Тухля	91	1604	145	1604	880	734	10	100	325	84	90	P65	8	ЗБ							14	IV	60	60	
63	Гребенів - Тухля	92	1605	384	1605	845	461	100	100	300	73	100	P65	20	ЗБ							14	IV	60	60	
64	Гребенів - Тухля	94	1606	619	1607	212	493	110	110	440	47	60	P65	13	ЗБ							14	IV	60	60	
65	Гребенів - Тухля	95	1607	871	1608	29	157	80	50	350	78	80	P65	11	ЗБ							14	IV	60	60	
66	ст. Тухля	96	1610	157	1610	325	195	60	60	325	65	65	P65	21	ЗБ							14	IV	60	60	2019
67	ст. Тухля	97	1610	403	1610	624	221	60	70	302	77	70	P65	16	ЗБ							14	IV	60	60	2019
68	ст. Тухля	98	1610	877	1611	149	272	11	50	300	77	70	P65	19	ЗБ							14	IV	60	60	2019
69	Тухля - Славсько	99	1611	692	1611	886	194	60	60	355	57	60	P65	20	ЗБ							14	IV	60	60	2019
70	Тухля - Славсько	100	1611	922	1612	98	176	60	60	380	54	55	P65	20	ЗБ							14	IV	60	60	2019
71	Тухля - Славсько	101	1612	138	1612	522	384	90	80	302	76	70	P65	17	ЗБ							14	IV	60	60	2019
72	Тухля - Славсько	102	1612	563	1612	820	257	60	80	302	73	70	P65	21	ЗБ							14	IV	60	60	2019
73	Тухля - Славсько	105	1614	871	1615	37	166	50	50	350	59	65	P65	2	ЗБ							14	IV	70	60	2019
74	Тухля - Славсько	106	1615	167	1615	299	132	50	50	400	55	50	P65	2	ЗБ							14	IV	70	60	2019
75	Тухля - Славсько	107	1615	338	1615	568	230	50	50	415	59	60	P65	2	ЗБ							14	IV	70	60	2019
76	Тухля - Славсько	108	1617	260	1617	880	620	90	50	398	55	50	P65	1	ЗБ							14	IV	70	60	2019
77	Тухля - Славсько	109	1618	1	1618	451	430	60	60	322	68	70	P65	1	ЗБ							14	IV	70	60	2019
78	ст. Славсько	110	1619	882	1619	996	114	20	25	320		20	P65	20	ЗБ							14	IV	60	60	
79	Славсько -Лавочне	112	1621	38	1621	488	450	80	75	380		60	P65	6	Д	20						14	IV	60	50	
80	Славсько -Лавочне	115	1622	144	1622	667	523	60	80	330	82	90	P65	3	Д	15						14	IV	60	50	
81	Славсько -Лавочне	116	1622	659	1622	805	145	50	50	325	68	60	P65	0	ЗБ							14	IV	60	50	2019
82	ст.Лавочне	129	1627	70	1627	250	180	100	75	326	68	45	P65	13	ЗБ							14	IV	40	40	
83	ст.Лавочне	134	1629	555	1629	790	235	65	70	303		90	P65	7	ЗБ							16	IV	40	40	
84	ст.Лавочне	135	1629	800	1629	970	170	50	60	300	56	80	P65	10	ЗБ							16	IV	40	40	
85	ст.Лавочне	137	1630	372	1630	590	218	70	70	316	79	100	P65	6	ЗБ							16	IV	60	60	
СТРИЙ - ДРОГОБИЧ																										
86	Стрий-Дрогобич	145	0	541	0	690	150	30	0	343	16	70	P65		ЗБ							5	IV	50	50	
87	Стрий-Дрогобич	146	0	691	0	911	220	10	60	316	17	70	P65		ЗБ							5	IV	50	50	
88	Стрий-Дрогобич	147	15	856	16	76	220	120	0	441	71	100	P65		ЗБ							5	IV	70	60	
89	Стрий-Дрогобич	148	17	327	17	754	427	90	130	375	83	100	P65		ЗБ							5	IV	70	60	

Продовження табл. Б.1

90	Стрий-Дрогобич	149	17	957	18	516	559	110	100	377	83	90	P65		ЗБ						5	IV	70	60	
СТРИЙ - МОРШИН																									
91	Стрий-Моршин	150	0	561	0	635	74	50	0	450	20	25	P65		ЗБ		29	55			5	VI	60	40	
92	Стрий-Моршин	152	1	186	1	254	68	30	0	405	12	60	P65		ЗБ						5	VI	40	25	
93	Стрий-Моршин	154	1	567	1	881	314	0	30	404	12	60	P65		ЗБ						5	VI	70	60	
94	Стрий-Моршин	155	2	877	3	95	218	80	30	350	44	70	P65		ЗБ						5	VI	70	60	
95	Стрий-Моршин	156	3	95	3	218	123	30	70	395	46	80	P65		ЗБ						5	VI	70	60	

Технічна характеристика кривих дільниць колії радіусом від 200 – 299 м станом на 01.01.2020 р. по Мукачівській дистанції колії (ПЧ–14).

Таблиця В.1

№ п/п	Перегін	Початок кривої		Кінець кривої		Довжина кривої, м			Радіус, м	Розрахункове підвищення	Фактичне підвищення	Тип рейок Р(43,50,65)	Тип шпал (Д, ЗБ, Д/ЗБ)	% від загальної кількості шпал в кривій	Кількість залізобетонних шпал в кривій	Кількість шпал в кривій на яких укладено скріплення			Вантажонапруженість	Встановлена швидкість руху поїздів		Рік вкладання решітки в кривій
		км	«+»	км	«+»	загальна	в тому числі перехідні криві, м									СКД–Д	СКД–Б	КД		пасажирський	вантажним	
							I	II														
1	Лавочне–Бескид	1634	1	1634	270	314	117	83	270	74	85	Р65	з/б	0	628		628		34	60	60	2014
2	Лавочне–Бескид	1634	329	1634	680	352	62	70	250	80	65	Р65	з/б	0	704		704		34	60	60	2014
3	Лавочне–Бескид	1634	681	1634	831	151	70	0	265	75	70	Р65	з/б	0	302		302		34	60	60	2014
4	Лавочне–Бескид	1634	832	1634	867	36	15	0	295	68	70	Р65	з/б	0	72		72		34	60	60	2014
5	Лавочне–Бескид	1634	868	1635	38	171	10	65	270	74	70	Р65	з/б	0	342		342		34	60	60	2014
6	ст. Бескид	1635	506	1635	526	40	12	12	295	68		Р65	з/б	0	80		80		34	60	60	2018
7	ст. Бескид	1635	600	1635	790	190	74	55	290	69	85	Р65	з/б	0	380		380		34	60	60	2018
8	ст. Бескид	1636	136	1636	329	194	70	72	290	69	65	Р65	з/б	0	388				18	60	60	2018
9	Бескид–Скотарськ	1638	725	1638	915	191	65	0	275	73	90	Р65	з/б	0	382		382		18	60	50	2018
10	Бескид–Скотарськ	1638	981	1639	164	176	40	85	220	91	90	Р65	з/б	0	352		352		18	60	50	2018
11	Бескид–Скотарськ	1639	523	1639	613	90	19	38	290	69	75	Р65	з/б	0	180				18	60	50	2018
12	Бескид–Скотарськ	1639	621	1639	810	194	63	0	265	118	80	Р65	з/б	0	388				18	60	50	2018
13	Бескид–Скотарськ	1640	183	1640	371	188	92	0	250	125	80	Р65	з/б	0	376				18	60	50	2018
14	Бескид–Скотарськ	1640	372	1640	420	49	25	0	260	120	80	Р65	з/б	0	46				18	60	50	2018
15	Бескид–Скотарськ	1640	421	1640	662	241	62	0	255	123	80	Р65	д	10	482	358			18	60	50	2018
16	Бескид–Скотарськ	1640	663	1640	706	44	23	0	240	130	80	Р65	д	10	88	88			18	60	50	2018

Продовження табл. В.1

17	Бескид–Скотарськ	1640	707	1640	964	257	10	96	250	125	80	P65	д	10	494	20			18	60	50	2018
18	Бескид–Скотарськ	1640	994	1641	196	203	72	93	260	120	80	P65	з/б	0	406				18	60	50	2018
19	Бескид–Скотарськ	1641	215	1642	43	828	61	0	250	125	85	P65	д	10	1036	620			18	60	50	2018
20	Бескид–Скотарськ	1642	432	1642	628	197	67	90	270	116	80	P65	з/б		394				18	60	50	2017
21	Бескид–Скотарськ	1643	5	1643	339	334	86	75	290	108	70	P65	з/б	0	668				18	60	50	2017
22	ст. Скотарськ	1644	104	1644	370	367	80	80	255	78	70	P65	з/б	0	734				18	50	50	2017
23	ст. Скотарськ	1644	879	1644	970	92	60	0	260	77	80	P65	з/б	0	184				18	60	60	2017
24	Скотарськ–Воловець	1645	916	1646	375	460	110	80	270	116	100	P65	з/б	0	920		540		18	60	60	2017
25	Скотарськ–Воловець	1646	505	1646	780	276	40	0	270	116	95	P65	з/б	0	552		472		18	60	60	2017
26	Скотарськ–Воловець	1646	781	1646	988	208	15		275	114	95	P65	з/б	0	416		416		18	60	60	2017
27	Скотарськ–Воловець	1646	989	1647	196	208	85	80	245	128	95	P65	з/б	0	416		416		18	60	60	2017
28	Скотарськ–Воловець	1647	235	1647	754	519	155	110	265	118	95	P65	з/б	0	784		254		18	60	60	2017
29	Скотарськ–Воловець	1650	17	1650	305	289	70	65	295	68	70	P65	з/б	0	576				18	60	60	2018
30	ст. Воловець	1650	991	1651	50	60	30	25	245	82	90	P65	з/б	0	558				34	60	60	2018
31	ст. Воловець	1652	221	1652	341	120	30	80	270	74	70	P65	з/б	0	647				34	50	50	2018
32	Воловець–Вовчий	1652	903	1653	111	208	70	60	285	89	75	P65	з/б	0	548				34	60	60	2018
33	Воловець–Вовчий	1655	763	1655	988	226	60	60	295	128	70	P65	з/б		452				34	60	60	2018
34	Воловець–Вовчий	1656	198	1656	625	428	75	90	270	140	85	P65	з/б		856				34	60	60	2018
35	Воловець–Вовчий	1656	639	1657	89	451	100	110	270	140	100	P65	з/б		902				34	60	60	2018
36	Воловець–Вовчий	1657	154	1657	365	212	85	95	295	128	95	P65	з/б		424				34	60	60	2018
37	Воловець–Вовчий	1657	504	1657	915	412	125	65	270	140	85	P65	з/б		824				34	60	60	2018
38	Воловець–Вовчий	1657	927	1658	211	285	80	105	270	140	70	P65	з/б		570				34	60	60	2018
39	Воловець–Вовчий	1658	334	1658	541	208	70	70	280	135	65	P65	з/б		416				34	60	60	2018
40	Воловець–Вовчий	1658	543	1659	72	530	70	110	275	138	70	P65	з/б		1060				34	60	60	2018
41	Воловець–Вовчий	1660	438	1660	774	307	80	100	245	154	100	P65	з/б		614				34	60	60	2008
42	Воловець–Вовчий	1661	186	1661	430	244	70	55	285	133	70	P65	з.б		488				34	60	60	2019

Продовження табл. В.1

43	Воловець–Вовчий	1661	476	1661	794	318	55	0	280	135	65	P65	з.б		636				34	60	60	2019
44	Воловець–Вовчий	1661	840	1662	389	549	60	0	295	128	55	P65	з.б		1098				34	60	60	2019
45	Воловець–Вовчий	1662	884	1662	115	474	105	80	275	138	75	P65	з.б		948				34	60	60	2019
46	Воловець–Вовчий	1662	924	1663	134	210	95	95	270	140	85	P65	з.б		420				34	60	60	2019
47	Воловець–Вовчий	1664	248	1664	412	165	75	0	245	154	90	P65	д		330			330	34	60	60	2008
48	Воловець–Вовчий	1664	459	1664	937	479	90	60	245	154	90	P65	д		958			958	34	60	60	2008
49	Воловець–Вовчий	1664	968	1665	570	603	90	110	285	133	85	P65	д		875			875	34	60	60	2008
50	Вовчий–Свялява	1670	62	1670	380	309	90	100	275	138	75	P65	з/б		545				34	60	60	2002
51	Вовчий–Свялява	1670	395	1670	641	247	90	0	265	143	80	P65	з/б		166				34	60	60	2002
52	Вовчий–Свялява	1670	752	1670	969	217	80	90	260	145	80	P65	з/б		739		587		34	60	60	2002

Технічна характеристика кривих ділянок колії радіусом від 200 – 299 м станом на 01.01.2020 р. по Мукачівській дистанції колії (ПЧ–14).

Продовження табл. В.1

№ п/п	Перегін	№ п/п по ПЧ	Початок кривої		Кінець кривої		Довжина кривої, м				Радіус, м	Розрахункове підвищення	Фактичне підвищення	Тип рейок Р(43,50,65)	Максимальний боковий знос рейок	Тип шпал (Д, ЗБ, Д/ЗБ)	% від загальної кількості непридатних шпал	Кількість залізобетонних шпал в кривій	Кількість шпал в кривій на яких укладено скріплення			Вантажонапруженість	Категорія колії	Встановлена швидкість руху поїздів		Рік вкладання решітки в кривій
			км	" + "	км	" + "	загальна	в тому числі перехідні криві, м		круго ва крива									СКД-Д	СКД-Б	КД			пасажирським	вантажним	
								I	II																	
Лавочне-Мукачево непарна колія 200-299 м																										
1	Лавочне-Бескид	1	1634	1	1634	270	314	117	83	114	270	74	85	P65	12	з/б	0	628		628		34	IV	60	60	2014
2	Лавочне-Бескид	2	1634	329	1634	680	352	62	70	220	250	80	65	P65	20	з/б	0	704		704		34	IV	60	60	2014
3	Лавочне-Бескид	3	1634	681	1634	831	151	70	0	81	265	75	70	P65	10	з/б	0	302		302		34	IV	60	60	2014
4	Лавочне-Бескид		1634	832	1634	867	36	15	0	21	295	68	70	P65	2	з/б	0	72		72		34	IV	60	60	2014
5	Лавочне-Бескид		1634	868	1635	38	171	10	65	96	270	74	70	P65	2	з/б	0	342		342		34	IV	60	60	2014
6	ст. Бескид	5	1635	506	1635	526	40	12	12	16	295	68		P65	13	з/б	0	80		80		34	IV	60	60	2018
7	ст. Бескид	6	1635	600	1635	790	190	74	55	61	290	69	85	P65	13	з/б	0	380		380		34	IV	60	60	2018
8	ст. Бескид	7	1636	136	1636	329	194	70	72	52	290	69	65	P65	10	з/б	0	388				18	V	60	60	2018

Продовження табл. В.1

9	Бескид-Скотарськ	11	1638	725	1638	915	191	65	0	126	275	73	90	P65	7	3/6	0	382		382		18	IV	60	50	2018
10	Бескид-Скотарськ		1638	981	1639	164	176	40	85	51	220	91	90	P65	9	3/6	0	352		352		18	IV	60	50	2018
11	Бескид-Скотарськ	12	1639	523	1639	613	90	19	38	33	290	69	75	P65	8	3/6	0	180				18	IV	60	50	2018
12	Бескид-Скотарськ	13	1639	621	1639	810	194	63	0	131	265	118	80	P65	6	3/6	0	388				18	IV	60	50	2018
13	Бескид-Скотарськ	14	1640	183	1640	371	188	92	0	96	250	125	80	P65	5	3/6	0	376				18	IV	60	50	2018
14	Бескид-Скотарськ		1640	372	1640	420	49	25	0	24	260	120	80	P65	8	3/6	0	46				18	IV	60	50	2018
15	Бескид-Скотарськ		1640	421	1640	662	241	62	0	179	255	123	80	P65	8	д	10	482	358			18	IV	60	50	2018
16	Бескид-Скотарськ		1640	663	1640	706	44	23	0	21	240	130	80	P65	1	д	10	88	88			18	IV	60	50	2018
17	Бескид-Скотарськ		1640	707	1640	964	257	10	96	151	250	125	80	P65	1	д	10	494	20			18	IV	60	50	2018
18	Бескид-Скотарськ	15	1640	994	1641	196	203	72	93	38	260	120	80	P65	8	3/6	0	406				18	IV	60	50	2018
19	Бескид-Скотарськ	16	1641	215	1642	43	828	61	0	767	250	125	85	P65	7	д	10	1036	620			18	IV	60	50	2018
20	Бескид-Скотарськ	17	1642	432	1642	628	197	67	90	40	270	116	80	P65		3/6		394				18	IV	60	50	2017
21	Бескид-Скотарськ	19	1643	5	1643	339	334	86	75	173	290	108	70	P65	9	3/6	0	668				18	IV	60	50	2017
22	ст. Скотарськ	22	1644	104	1644	370	367	80	80	207	255	78	70	P65	4	3/6	0	734				18	IV	50	50	2017
23	ст. Скотарськ	25	1644	879	1644	970	92	60	0	32	260	77	80	P65	7	3/6	0	184				18	IV	60	60	2017
24	Скотарськ-Воловець	28	1645	916	1646	375	460	110	80	270	270	116	100	P65	12	3/6	0	920		540		18	IV	60	60	2017
25	Скотарськ-Воловець	29	1646	505	1646	780	276	40	0	236	270	116	95	P65	за мі не но	3/6	0	552		472		18	IV	60	60	2017
26	Скотарськ-Воловець		1646	781	1646	988	208	15		193	275	114	95	P65	8	3/6	0	416		416		18	IV	60	60	2017
27	Скотарськ-Воловець		1646	989	1647	196	208	85	80	43	245	128	95	P65	6	3/6	0	416		416		18	IV	60	60	2017
28	Скотарськ-Воловець	30	1647	235	1647	754	519	155	110	254	265	118	95	P65		3/6	0	784		254		18	IV	60	60	2017
29	Скотарськ-Воловець	38	1650	17	1650	305	289	70	65	154	295	68	70	P65	3	3/6	0	576				18	IV	60	60	2018

Продовження табл. В.1

30	ст. Воловець	40	1650	991	1651	50	60	30	25	5	245	82	90	P65	3	3/6	0	558				34	IV	60	60	2018
31	ст. Воловець	42	1652	221	1652	341	120	30	80	10	270	74	70	P65	3	3/6	0	647				34	IV	50	50	2018
32	Воловець-Вовчий	45	1652	903	1653	111	208	70	60	78	285	89	75	P65	4	3/6	0	548				34	IV	60	60	2018
33	Воловець-Вовчий	53	1655	763	1655	988	226	60	60	106	295	128	70	P65		3/6		452				34	IV	60	60	2018
34	Воловець-Вовчий	55	1656	198	1656	625	428	75	90	263	270	140	85	P65	11	3/6		856				34	IV	60	60	2018
35	Воловець-Вовчий	56	1656	639	1657	89	451	100	110	241	270	140	100	P65	7	3/6		902				34	IV	60	60	2018
36	Воловець-Вовчий	57	1657	154	1657	365	212	85	95	32	295	128	95	P65	8	3/6		424				34	IV	60	60	2018
37	Воловець-Вовчий	58	1657	504	1657	915	412	125	65	222	270	140	85	P65	8	3/6		824				34	IV	60	60	2018
38	Воловець-Вовчий	59	1657	927	1658	211	285	80	105	100	270	140	70	P65	8	3/6		570				34	IV	60	60	2018
39	Воловець-Вовчий	60	1658	334	1658	541	208	70	70	68	280	135	65	P65	8	3/6		416				34	IV	60	60	2018
40	Воловець-Вовчий	61	1658	543	1659	72	530	70	110	350	275	138	70	P65	8	3/6		1060				34	IV	60	60	2018
41	Воловець-Вовчий	64	1660	438	1660	774	307	80	100	127	245	154	100	P65		3/6		614				34	IV	60	60	2008
42	Воловець-Вовчий	66	1661	186	1661	430	244	70	55	119	285	133	70	P65		3.6		488				34	IV	60	60	2019
43	Воловець-Вовчий	68	1661	476	1661	794	318	55	0	263	280	135	65	P65		3.6		636				34	IV	60	60	2019
44	Воловець-Вовчий	69	1661	840	1662	389	549	60	0	489	295	128	55	P65		3.6		1098				34	IV	60	60	2019
45	Воловець-Вовчий	70	1662	884	1662	115	474	105	80	289	275	138	75	P65		3.6		948				34	IV	60	60	2019
46	Воловець-Вовчий	73	1662	924	1663	134	210	95	95	20	270	140	85	P65		3.6		420				34	IV	60	60	2019
47	Воловець-Вовчий	74	1664	248	1664	412	165	75	0	90	245	154	90	P65	7	д		330			330	34	IV	60	60	2008
48	Воловець-Вовчий		1664	459	1664	937	479	90	60	329	245	154	90	P65	18	д		958			958	34	IV	60	60	2008
49	Воловець-Вовчий	75	1664	968	1665	570	603	90	110	403	285	133	85	P65	19	д		875			875	34	IV	60	60	2008
50	Вовчий-Свалява	84	1670	62	1670	380	309	90	100	119	275	138	75	P65		3/6		545				34	IV	60	60	2002
51	Вовчий-Свалява	85	1670	395	1670	641	247	90	0	157	265	143	80	P65		3/6		166				34	IV	60	60	2002
52	Вовчий-Свалява		1670	752	1670	969	217	80	90	47	260	145	80	P65		3/6		739		587		34	IV	60	60	2002

Продовження табл. В.1

Лавочне-Мукачево парна колія 200-299 м																										
1	Лавочне-Бескид	1	1634	10	1634	331	321	55	87	179	270	74	90	P65	2	з/б		642				18	IV	60	60	2017
2	Лавочне-Бескид	2	1634	341	1634	696	355	88	67	200	260	77	85	P65	7	з/б		710				18	IV	60	60	2017
3	Лавочне-Бескид	3	1634	697	1634	817	120	80	0	40	270	74	80	P65	5	з/б		240				18	IV	60	60	2017
4	Лавочне-Бескид		1634	869	1635	31	162	10	100	52	275	73	80	P65	8	з/б		324		324		18	IV	60	60	2017
5	ст. Бескид	5	1635	619	1635	816	197	75	55	67	285	70	85	P65	9	з/б		394		394		18	IV	60	60	2018
6	ст. Бескид	6	1636	160	1636	353	204	89	76	39	295	68	60	P65	9	з/б		408		408		34	IV	60	50	2018
7	Бескид-Скотарськ	9	1638	695	1639	197	502	95	90	317	290	69	70	P65	6	з/б		1004		1004		34	IV	60	50	2018
8	Бескид-Скотарськ	10	1639	514	1639	558	145	31	80	34	270	74	70	P65	8	з/б		290		290		34	IV	60	50	2017
9	Бескид-Скотарськ	12	1640	190	1640	960	771	80	95	596	250	80	75	P65	за мі не но	з/б		1542		1542		34	IV	60	50	2017
10	Бескид-Скотарськ	13	1640	980	1641	189	209	90	90	29	260	77	70	P65	12	з/б		418		418		34	IV	60	50	2017
11	Бескид-Скотарськ	14	1641	195	1642	142	948	100	80	768	255	123	80	P65	16	з/б	0	1896		1896		34	IV	60	50	2017
12	Бескид-Скотарськ	15	1642	197	1642	412	215	80	70	65	280	112	55	P65	11	з/б	0	430				34	IV	60	50	2017
13	Бескид-Скотарськ	16	1642	413	1642	633	221	60	70	91	260	120	80	P65	6	з/б	0	442		442		34	IV	60	50	2017
14	Бескид-Скотарськ	18	1643	38	1643	340	303	56	59	188	285	110	65	P65	8	з/б	0	606		480		34	IV	60	60	2017
15	ст. Скотарськ	22	1644	61	1644	372	312	103	70	139	260	120	60	P65	12	з/б	0	624		440		34	IV	60	60	2017
16	ст. Скотарськ	25	1644	897	1645	61	164	84	0	80	270	116	90	P65	12	з/б	0	624		418		34	IV	60	60	2012
17	Скотарськ-Воловець		1645	134	1645	319	185	46	87	52	265	118	80	P65	6	з/б	0	328		88		34	IV	60	60	2012
18	Скотарськ-Воловець	26	1645	334	1645	560	226	83	96	47	280	112	50	P65	21	з/б	0	370		139		34	IV	60	60	2012
19	Скотарськ-Воловець	28	1645	933	1646	377	445	90	80	275	265	118	80	P65	7	з/б	0	452		280		34	IV	60	60	2012
20	Скотарськ-Воловець	29	1646	390	1646	671	281	96	0	185	270	116	80	P65	11	з/б	0	562		360		34	IV	60	60	2012
21	Скотарськ-Воловець		1646	672	1646	841	169	25	0	144	290	108	85	P65	20	з/б/д	0/2 5	378	180	180		34	IV	60	60	2012
22	Скотарськ-Воловець		1646	842	1647	223	381	26	96	259	260	120	95	P65	19	з	0	762		762		34	IV	60	60	2012

Продовження табл. В.1

23	Скотарськ-Воловець	30	1647	304	1647	450	147	93	0	54	275	114	85	P65		д	30		294			34	IV	60	60	2012
24	Скотарськ-Воловець		1647	451	1647	778	328	26	95	207	260	120	85	P65	10	д	30		656			34	IV	60	60	2009
25	ст. Воловець	40	1650	802	1650	999	197	49	15	133	275	114	65	P65	9	д	10	168	168			34	IV	60	60	2006
26	ст. Воловець	43	1652	457	1653	548	92	45	0	47	245	46	70	P65	3	д	10	184			184	18	IV	60	60	2006
27	Воловець-Вовчий	45	1652	899	1653	155	42	36	83	-77	265	29	75	P65	12	з/б,д		420		320	100	18	IV	60	60	2006
28	Воловець-Вовчий	53	1655	764	1655	980	216	72	70	74	290	69	80	P65		з/б		432				18	IV	60	60	2018
29	Воловець-Вовчий	55	1656	176	1656	303	128	82	0	46	270	116	80	P65	2	з/б		256				18	IV	60	60	2018
30	Воловець-Вовчий		1656	304	1656	400	97	41	0	56	255	148	80	P65	2	з/б		194				18	IV	60	60	2018
31	Воловець-Вовчий		1656	401	1656	600	200	23	120	57	270	140	80	P65	за мі не но	з/б		400				18	IV	60	60	2018
32	Воловець-Вовчий	56	1656	601	1657	79	479	101	140	238	275	138	80	P65	за мі не но	з/б		958				18	IV	60	60	2018
33	Воловець-Вовчий	57	1657	146	1657	340	195	68	92	35	280	135	80	P65	2	з/б		390				18	IV	60	60	2018
34	Воловець-Вовчий	58	1657	478	1657	885	408	109	50	249	280	135	80	P65		з/б		816				18	IV	60	60	2018
35	Воловець-Вовчий	59	1657	897	1658	11	115	81	0	34	270	140	80	P65	2	з/б		230				18	IV	60	60	2018
36	Воловець-Вовчий		1658	12	1658	180	169	40	101	28	255	148	80	P65	2	з/б		338				18	IV	60	60	2018
37	Воловець-Вовчий	60	1658	302	1658	489	188	80	62	46	290	130	80	P65	2	з/б		376				18	IV	60	60	2018
38	Воловець-Вовчий	61	1658	571	1658	753	183	28	0	155	270	140	80	P65	2	з/б		366				18	IV	60	60	2018
39	Воловець-Вовчий		1658	785	1658	919	135	59	0	76	275	138	80	P65	2	з/б		270				18	IV	60	60	2018
40	Воловець-Вовчий	64	1660	361	1660	709	349	127	118	104	250	151	85	P65	3	з/б		698				18	IV	60	60	2018
41	Воловець-Вовчий	66	1661	98	1661	377	280	92	93	95	270	140	90	P65	2	з/б		560				18	IV	60	60	2018
42	Воловець-Вовчий	67	1661	461	1661	544	84	58	0	26	255	148	110	P65	2	з/б		168				18	IV	60	60	2018
43	Воловець-Вовчий	68	1661	750	1661	836	87	62	0	25	240	158	85	P65	2	з/б		174				18	IV	60	60	2018
44	Воловець-Вовчий		1661	982	1662	177	196	83	88	25	250	151	85	P65	2	з/б		392				18	IV	60	60	2018
45	Воловець-Вовчий	69	1662	395	1662	730	336	44	127	165	265	143	90	P65	2	з/б		672				18	IV	60	60	2018
46	Воловець-Вовчий	70	1662	846	1663	94	249	83	117	49	280	135	95	P65	2	з/б		498				18	IV	60	60	2018
47	Воловець-Вовчий	73	1663	828	1664	61	234	90	0	144	265	143	100	P65	2	з/б		468				18	IV	60	60	2001

Продовження табл. В.1

48	Воловець-Вовчий		1664	62	1664	191	130	20	98	12	260	145	100	P65	2	3/6		260				18	IV	60	60	2018
49	Воловець-Вовчий	74	1664	192	1664	326	135	108	0	27	280	135	80	P65	2	3/6		384				18	IV	60	60	2018
50	Воловець-Вовчий		1664	327	1664	358	32	26	0	6	290	130	80	P65	2	3/6		64				18	IV	60	60	2018
51	Воловець-Вовчий		1664	359	1664	390	32	15	0	17	275	138	80	P65	2	3/6		64				18	IV	60	60	2018
52	Воловець-Вовчий		1664	391	1664	492	102	34	0	68	260	145	80	P65	2	3/6		204				18	IV	60	60	2018
53	Воловець-Вовчий		1664	493	1664	580	88	32	0	56	250	151	80	P65	2	3/6		176				18	IV	60	60	2018
54	Воловець-Вовчий		1664	581	1664	665	85	16	0	69	260	145	80	P65	2	3/6	0	873				18	IV	60	60	2018
55	Воловець-Вовчий		1664	666	1664	804	139	28	0	111	255	148	85	P65	2	3/6	0	873				18	IV	60	60	2018
56	Воловець-Вовчий		1664	805	1664	930	126	14	101	11	280	135	85	P65	2	3/6	0	873				18	IV	60	60	2018
57	Воловець-Вовчий	75	1664	967	1665	110	144	79	0	65	265	143	80	P65	2	3/6	0	873				18	IV	60	60	2018
58	Воловець-Вовчий		1665	111	1665	295	185	55	0	130	260	145	80	P65	2	3/6	0	169		104		18	IV	60	60	2018
59	Воловець-Вовчий		1665	296	1665	536	241	42	124	75	275	138	80	P65	2	3/6	0	974				18	IV	60	60	2018
60	Воловець-Вовчий	76	1665	997	1666	198	202	72	108	22	275	138	105	P65	2							18	IV	60	60	2018
61	Воловець-Вовчий	77	1666	319	1666	591	273	130	83	60	290	130	95	P65	2	3/6	0	288				18	IV	60	60	2018
62	Вовчий-Свалява	84	1670	31	1670	240	210	91	0	119	280	135	90	P65		д		420			420	18	IV	60	60	2006
63	Вовчий-Свалява	85	1670	364	1670	590	227	91	0	136	280	135	100	P65	8	д		178			178	18	IV	60	60	2006
64	Вовчий-Свалява		1670	591	1670	679	89	28	0	61	285	133	100	P65	13	д		388			388	18	IV	60	60	2006
65	Вовчий-Свалява		1670	755	1670	948	194	24	101	69	275	138	100	P65	13	д		388			388	18	IV	60	60	2006
66	ст. Баркасово	131	1721	950	1721	978	29	12	6	11	250	31	10	P65		3/6		58				10	VI	50	50	2004
67	ст. Баркасово	140	1724	42	1724	71	30	6	12	12	250	31	15	P65		3/6		60		60		10	VI	50	50	2004
Лавочне-Мукачево непарна колія 300-450 м																										
1	ст. Бескид	4	1635	25	1635	505	480	75	50	355	300	67	90	P65	2	3/6		960		840		34	IV	60	60	2018
2	Бескид-Скотарськ	8	1638	126	1638	356	231	81	62	88	405	49	55	P65	5	3/6		462				18	IV	60	50	2018
3	Бескид-Скотарськ	10	1638	498	1638	699	202	61	53	88	375	53	60	P65		3/6		404		404		18	IV	60	50	2018
4	Бескид-Скотарськ	12	1639	171	1639	522	352	53	0	299	300	67	75	P65	3	3/6		704				18	IV	60	50	2018
5	Бескид-Скотарськ	13	1639	899	1640	169	184	54	117	13	300	104	80	P65	10	3/6		368		368		18	IV	60	50	2018
6	Бескид-Скотарськ	16	1642	180	1642	351	172	66	61	45	450	69	80	P65	11	3/6		360		360		18	IV	60	50	2017
7	Бескид-Скотарськ	18	1642	630	1642	831	201	72	77	52	330	95	80	P65	8	3/6		402		402		18	IV	60	50	2017
8	Бескид-Скотарськ	19	1642	833	1642	921	88	59	0	29	450	69	40	P65	8	3/6		168				18	IV	60	50	2017
9	Бескид-Скотарськ	20	1643	340	1643	514	175	60	75	40	385	52	85	P65	15	3/6		344				18	IV	50	50	2017
10	Бескид-Скотарськ	21	1643	536	1643	733	198	60	70	68	300	67	65	P65	9	3/6		376				18	IV	50	50	2017
11	ст. Скотарськ	23	1644	404	1644	470	67	40	0	27	320	63	60	P65	2	3/6		134				18	IV	50	50	2017

Продовження табл. В.1

12	ст. Скотарськ	24	1644	729	1644	860	132	35	90	7	330	61	50	P65		3/6		256				18	IV	60	60	2017
13	ст. Скотарськ	25	1644	971	1645	32	62	20	0	42	405	49	80	P65	16	3/6		124		74		18	IV	60	60	2017
14	Скотарськ-Воловець		1645	33	1645	158	126	40	0	86	350	89	80	P65	14	3/6		252		252		18	IV	60	60	2017
15	Скотарськ-Воловець		1645	159	1645	320	162	24	80	58	310	101	80	P65	12	3/6		324		270		18	IV	60	60	2017
16	Скотарськ-Воловець	26	1645	345	1645	558	214	70	80	64	350	89	85	P65	14	3/6		428				18	IV	60	60	2017
17	Скотарськ-Воловець	27	1645	614	1645	910	297	70	90	137	400	78	70	P65	9	3/6		594				18	IV	60	60	2017
18	Скотарськ-Воловець	29	1646	382	1646	504	123	70	0	53	300	104	95	P65	16	3/6		246		246		18	IV	60	60	2017
19	Скотарськ-Воловець	35	1648	745	1648	925	181	60	70	51	385	81	60	P65	9	3/6		345				18	IV	60	60	2008
20	Скотарськ-Воловець	36	1649	61	1649	215	189	55	60	74	420	74	55	P65	6	3/6		300				18	IV	60	60	2008
21	Скотарськ-Воловець	37	1649	808	1650	10	438	80	60	298	365	86	65	P65	7	3/6		407				18	IV	60	60	2008
22	ст. Воловець	39	1650	513	1650	750	238	75	90	73	300	67	65	P65		3/6		416				18	IV	50	50	2018
23	ст. Воловець	42	1652	100	1652	220	120	40	0	80	340	59	70	P65		3/6		486				34	IV	50	50	2018
24	Воловець-Вовчий	43	1652	401	1652	683	283	45	90	148	300	67	60	P65		3/6		524				34	IV	50	50	2006
25	Воловець-Вовчий	46	1653	137	1653	389	318	48	60	210	315	80	75	P65		3/6		486				34	IV	50	50	2018
26	Воловець-Вовчий	51	1655	107	1655	309	203	65	80	58	310	122	65	P65		д	10	408			408	34	IV	60	60	2007
27	Воловець-Вовчий	54	1656	15	1656	190	176	70	80	26	355	107	80	P65		3/6		352				34	IV	60	60	2018
28	Воловець-Вовчий	63	1660	60	1660	324	265	110	95	60	325	116	35	P65	20	3/6		530				34	IV	60	60	2008
29	Воловець-Вовчий	67	1661	439	1661	796	358	50	50	258	305	124	70	P65	5	д	25	716			716	34	IV	60	60	2008
30	Воловець-Вовчий	68	1661	931	1662	237	307	110	65	132	305	124	40	P65	11	д	25	614			614	34	IV	60	60	2008
31	Воловець-Вовчий	69	1662	396	1662	475	80	20	0	60	310	122	55	P65	10	д	25	160			160	34	IV	60	60	2008
32	Воловець-Вовчий		1662	476	1662	765	290	50	55	185	300	126	55	P65	11	д	20	580			580	34	IV	60	60	2008
33	Воловець-Вовчий	74	1664	413	1664	458	46	15	0	31	420	90	90	P65	17	д	25	92			92	34	IV	60	60	2008
34	Воловець-Вовчий	76	1666	26	1666	215	330	80	85	165	330	115	50	P65	8	3/6		660				34	IV	60	60	2008
35	Воловець-Вовчий	77	1666	407	1666	700	293	95	90	108	380	100	85	P65	8	3/6		586				34	IV	60	60	2008
36	ст. Вовчий	80	1667	483	1667	700	218	70	80	68	320	118	55	P65	5	3/6		436				34	IV	60	60	2008

Продовження табл. В.1

37	ст. Вовчий	81	1668	128	1668	301	173	80	70	23	375	101	40	P65		з/б		346				34	IV	60	60	2008
38	Вовчий-Свалява	85	1670	642	1670	751	109	85	0	24	405	93	80	P65		з/б		208				34	IV	60	60	2018
39	Вовчий-Свалява	86	1671	10	1671	419	410	80	90	240	305	124	80	P65		з/б		820				34	IV	60	60	2018
40	Вовчий-Свалява	87	1671	601	1672	965	365	115	120	130	345	110	85	P65		з/б		730				34	IV	60	60	2018
41	Свалява-Кольчино	108	1687	573	1688	10	438	125	100	213	385	81	80	P65		з/б		876				34	III	60	60	2000
42	Свалява-Кольчино	115	1692	376	1692	870	495	105	115	275	405	93	70	P65		з/б		984				34	III	80	80	2000
43	ст. Баркасово	153	1722	230	1722	310	300	10	15	275	300	17	20	P65		з/б		600				21	III	80	70	2000
44	ст. Баркасово	154	1722	311	1722	430	115	20	50	45	440	18	20	P65		з/б		230				21	III	80	70	2000
Лавочне-Мукачево парна колія 300-450 м																										
1	Лавочне-Бескид	3	1634	818	1634	868	50	15	0	35	315	63	80	P65	6	з/б		100		100		18	IV	60	60	2017
2	ст. Бескид	4	1635	79	1635	536	457	75	75	307	300	67	85	P65	9	з/б		914		914		18	IV	60	60	2018
3	Бескид-Скотарськ	7	1638	142	1638	365	223	90	70	63	370	54	80	P65		з/б		446		446		34	IV	60	50	2018
4	Бескид-Скотарськ	8	1638	371	1638	672	301	71	66	164	400	50	80	P65		з/б		602		602		34	IV	60	50	2018
5	Бескид-Скотарськ	10	1639	198	1639	513	315	35	0	280	300	67	70	P65	2	з/б		630		630		34	IV	60	50	2017
6	Бескид-Скотарськ	11	1639	669	1640	158	489	110	100	279	300	67	70	P65	за мі не но	з/б		978		978		34	IV	60	50	2017
7	Бескид-Скотарськ	17	1642	634	1642	835	201	65	61	75	315	99	70	P65		з/б		402		402		34	IV	60	50	2017
8	Бескид-Скотарськ	19	1643	349	1643	520	172	45	67	60	410	76	60	P65	12	з/б		344		344		34	IV	60	60	2017
9	Бескид-Скотарськ	20	1643	527	1643	798	272	53	59	160	350	89	60	P65	16	з/б		544		544		34	IV	60	60	2017
10	Бескид-Скотарськ	21	1643	812	1644	39	223	61	78	84	425	74	60	P65	19	з/б		446		446		34	IV	60	60	2017
11	ст. Скотарськ	23	1644	442	1644	622	180	53	55	72	335	93	60	P65	13	з/б		360		360		34	IV	60	60	2017
12	ст. Скотарськ	24	1644	728	1644	878	150	67	48	35	330	95	60	P65		з/б		300		300		34	IV	60	60	2009
13	Скотарськ-Воловець	27	1645	623	1645	915	293	102	86	105	380	82	80	P65	6	з/б		586		586		34	IV	60	60	2012
14	Скотарськ-Воловець	37	1649	816	1650	37	212	102	52	58	360	87	60	P65	15	з/б		422				34	IV	60	60	2009
15	Скотарськ-Воловець	38	1650	43	1650	350	308	63	94	151	300	104	100	P65	8	д	10	618	618			34	IV	60	60	2009
16	Скотарськ-Воловець	39	1650	524	1650	775	252	70	82	100	340	92	85	P65		д	10	524			524	34	IV	60	60	2009

Продовження табл. В.1

17	ст. Воловець	42	1652	90	1652	319	229	44	0	185	325	96	90	P65		д	10	360				18	IV	60	60	2006
18	ст. Воловець	43	1652	417	1652	456	41	36	0	5	350	57	70	P65	15	д	10	90			90	18	IV	60	60	2006
19	ст. Воловець		1652	549	1652	669	121	40	72	9	400	13	70	P65	3	д	10	226			226	18	IV	60	60	2006
20	Воловець-Вовчий	46	1653	164	1653	396	223	77	56	90	325	24	70	P65	6	з/б		434		434		18	IV	60	60	2008
21	Воловець-Вовчий	51	1655	86	1655	308	223	69	99	55	320	48	60	P65		д	10	404			404	18	IV	60	60	2008
22	Воловець-Вовчий	54	1655	999	1656	175	177	54	85	38	355	56	65	P65	2	з/б		354				18	IV	60	60	2018
23	Воловець-Вовчий	61	1658	494	1658	570	77	77	0	0	380	100	80	P65	2	з/б		154				18	IV	60	50	2018
24	Воловець-Вовчий		1658	754	1658	784	137	14	0	123	320	118	80	P65	2	з/б		274				18	IV	60	50	2018
25	Воловець-Вовчий	63	1660	26	1660	282	257	90	110	57	310	122	85	P65	2	з/б		514				18	IV	60	50	2018
26	Воловець-Вовчий	67	1661	379	1661	460	82	82	0	0	315	120	110	P65	2	з/б		164				18	IV	60	50	2018
27	Воловець-Вовчий		1661	545	1661	665	121	43	0	78	350	108	110	P65	2	з/б		242				18	IV	60	50	2018
28	Воловець-Вовчий		1661	666	1661	686	21	21	0	0	330	115	110	P65	2	з/б		42				18	IV	60	50	2018
29	Воловець-Вовчий	68	1661	837	1661	981	145	55	0	90	310	122	85	P65	2	з/б		290				18	IV	60	50	2018
30	Воловець-Вовчий	69	1662	182	1662	394	213	96	0	117	305	124	90	P65	2	з/б		426				18	IV	60	50	2018
31	Воловець-Вовчий	80	1667	439	1667	672	234	98	99	37	315	120	80	P65	2	з/б		468				18	IV	60	60	2018
32	ст. Вовчий	81	1668	114	1668	160	47	34	0	13	400	95	60	P65	8	з/б		94				18	IV	60	60	2018
33	ст. Вовчий		1668	161	1668	254	94	1	60	33	375	101	60	P65	8	д		150			150	18	IV	60	60	2018
34	Вовчий-Свалява	84	1670	241	1670	330	90	23	63	4	355	107	90	P65	11	д		180			180	18	IV	60	60	2006
35	Вовчий-Свалява	85	1670	680	1670	754	75	30		45	300	126	100	P65	13	д		150			150	18	IV	60	60	2006
36	Вовчий-Свалява	86	1671	2	1671	398	397	65	92	240	300	126	90	P65	8	д		794			794	18	IV	60	60	2006
37	Вовчий-Свалява	87	1671	590	1671	936	347	106	99	142	360	105	125	P65		д		1015				18	IV	60	60	2006
38	Свалява-Кольчино	104	1686	457	1686	720	264	104	92	68	450	84	60	P65		з/б	2	5				18	IV	80	60	2016
39	Свалява-Кольчино	105	1686	795	1687	262	468	145	91	232	445	85	80	P65		з/б	1	2				18	IV	80	60	2016
40	Свалява-Кольчино	106	1687	531	1687	982	452	120	101	231	410	92	90	P65		з/б	1	2				18	IV	80	60	2013
41	Свалява-Кольчино	112	1692	366	1692	854	489	89	101	299	420	146	75	P65		з/б		978				18	IV	60	60	2010
42	ст. Баркасово	132	1721	997	1722	35	39	16	15	8	340	23	10	P65		з/б		78		78		10	VI	60	60	2004
43	ст. Баркасово	133	1722	70	1722	153	84	27	39	18	380	21	15	P65		з/б		168		168		10	VI	50	50	2010
44	ст. Баркасово	134	1722	172	1722	231	60	9	35	16	300	26	20	P65		з/б		120				10	VI	50	50	2010
45	ст. Баркасово	139	1723	962	1724	24	63	24	21	18	340	23	10	P65		з/б		126		126		10	VI	50	50	2004

ДОДАТОК Г. ДОВІДКИ ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

«ЗАТВЕРДЖУЮ»



Проректор

з науково-педагогічної роботи

Національного університету

«Львівська політехніка»

к.т.н., доцент **Олег ДАВИДЧАК**

АКТ

про використання результатів дисертаційної роботи
на здобуття освітньо-наукового ступеня кандидата технічних наук

МАКАРОВА Юрія Олександровича

«Покращення взаємодії рухомого складу та залізничної колії в умовах
складного плану і профілю»

у навчальному процесі кафедри залізничного транспорту (ЗТ)

Національного університету «Львівська політехніка»

Комісія в складі: голови – директора Інституту механічної інженерії та транспорту Національного університету «Львівська політехніка», д.т.н., професора Олексія Ланця та членів – завідувача кафедрою ЗТ, к.т.н., доцента Олени Баль, заступника завідувача кафедрою ЗТ, д.т.н., професора, наукового керівника НДЛ-126 «Ризики та безпека на залізничному транспорті» Віталія Ковальчука підтверджує впровадження науково-прикладних результатів за дисертаційною роботою на здобуття освітньо-наукового ступеня кандидата технічних наук здобувача Макарова Юрія Олександровича «Покращення взаємодії рухомого складу та залізничної колії в умовах складного плану і профілю» у навчальний процес кафедри ЗТ і констатує що:

- результати досліджень впроваджено в курс дисципліни «Залізнична колія, частина 3» для здобувачів першого освітнього рівня бакалавр ОПП «Залізничні споруди та колійне господарство» спеціальності 273 «Залізничний транспорт». А саме, в курсі лекцій враховано результати дисертаційної роботи Юрія

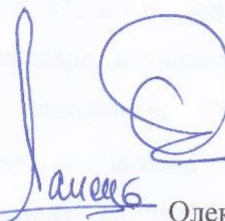
Олександровича Макарова щодо нових конструкцій та технічних рішень для покращення взаємодії рухомого складу з залізничною колією в умовах складного плану та профілю, що є актуальним для підготовки здобувачів в межах Львівської залізниці. В цьому предметі також охоплюються питання щодо аналізу та оптимізації конструкцій рейкової колії, з врахуванням необхідних типів скріплень та шпал, вивчення впливу температурних умов на експлуатаційні характеристики.

-результати досліджень впроваджено в курс дисципліни «Колійне господарство, частина 2» для здобувачів першого освітнього рівня бакалавр ОПП «Залізничні споруди та колійне господарство» спеціальності 273 «Залізничний транспорт». А саме, в курсі лекцій враховано результати дисертаційної роботи Юрія Олександровича Макарова щодо сучасних технологій та інновацій у залізничній галузі, зокрема використання нових матеріалів, конструкцій та методів для покращення ефективності та безпеки руху, що є основою для впровадження нових технологічних рішень у сфері залізничного транспорту.

Впровадження цих результатів в ОПП «Залізничні споруди та колійне господарство» першого бакалаврського рівня спеціальності 273 «Залізничний транспорт» допоможе студентам отримати поглиблене розуміння проблем та викликів, що виникають у залізничній галузі, а також підготує їх до вирішення практичних завдань у цій сфері.

Голова комісії:

Директор Інституту механічної
інженерії та транспорту, д.т.н., професор



Олексій ЛАНЕЦЬ

Члени комісії:

Завідувач кафедри ЗТ, к.т.н., доцент



Олена БАЛЬ

Заступник завідувача кафедри ЗТ,
д.т.н., професор



Віталій КОВАЛЬЧУК

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Заступник директора
«Науково-дослідний та
конструкторсько-технологічний
інститут залізничного транспорту»
АТ «Укрзалізниця»



Вячеслав ПЕТРЕНКО

**Акт
впровадження результатів дисертаційної роботи
Макарова Юрія Олександровича «Покращення взаємодії рухомого складу
та залізничної колії в умовах складного плану і профілю»**

Дисертацію Макарова Ю.О. присвячено вирішенню питань покращення взаємодії рухомого складу та залізничної колії в умовах складного плану і профілю та збільшення ресурсу коліс рухомого складу та рейок.

Результати роботи Макарова Ю.О. знайшли використання у наступних роботах інституту «Проблеми застосування стаціонарних рейкозмашувальних пристроїв на залізницях АТ «Укрзалізниця», що дозволило розробити пропозиції організації ефективного сервісного технічного обслуговування лубрикаторів на місцях експлуатації впродовж усього їх життєвого циклу та впровадження нових технологій лубрикації, з використанням сучасного устаткування й мастильних матеріалів. А також, «Вплив різних типів проміжних рейкових скріплень на інтенсивність зношування рейок на криволінійних ділянках колії», що надало змогу розширити критерії, оцінки впливу різноманітних факторів на знос гребенів коліс рухомого складу та рейок у складних умовах плану і профілю залізничної колії, а саме - вплив різноманітних скріплень на дерев'яних та залізобетонних шпалах, підвищення зовнішньої нитки кривої, ваги поїздів, режимів ведення поїздів, стану вагонів, лубрикації, ширини колії і надати рекомендації щодо вибору раціональних параметрів відповідних показників.

Впровадження результатів дисертаційних досліджень дасть змогу підвищити безпеку руку поїздів та зменшити витрати коштів на поточне утримання колії у складних умовах плану і профілю залізничної колії.

Заступник начальника «КТЦ»
філії «НДКТІ» АТ «Укрзалізниця»

Антон КУРГАН

Провідний інженер
«КТЦ» філії «НДКТІ» АТ
«Укрзалізниця»

Аркадій ТАТУРЕВИЧ

**Відгук
на автореферат
МАКАРОВА Юрія Олександровича
щодо впровадження результатів дисертаційної роботи
«Покращення взаємодії рухомого складу та залізничної колії в
умовах складного плану і профілю».**

Даним актом підтверджується, що результати дисертаційної роботи «Покращення взаємодії рухомого складу та залізничної колії в умовах складного плану і профілю», виконаної здобувачем Макаровим Ю.О. дозволяють поліпшити технічний стан рейкової колії в кривих зі складними умовами плану і профілю, сприяють скороченню витрат на поточне утримання та ремонти колії, покращують показники динамічної взаємодії між рухомим складом та залізничною колією, що є основою запорукою безпеки руху на залізничному транспорті.

Дослідження дисертаційної роботи дозволили встановити засоби поліпшення взаємодії рухомого складу з рейковою колією у складних умовах експлуатації, що досягається за рахунок вкладання довгих рейок по довжині кривої трьома частинами – перша перехідна – кругова – друга перехідна криві. Сформульоване визначення складних умов експлуатації. Окремо розглянуто вплив стику на розлади колії.

Обґрунтовано та запропоновано конструкцію для складного плану і профілю залізничної колії. Отримані розрахунки дають можливість стверджувати, що обрана конструкція має достатній запас міцності і стійкості та відповідає нормам улаштування залізничної колії. Впровадження результатів дисертаційних досліджень на магістральних залізницях дасть змогу підвищити безпеку руху поїздів та зменшити витрати коштів на поточне утримання колії.

Директор Департаменту колії
та споруд АТ «Укрзалізниця»

Олександр НАВОРА

Заступник директора
Департаменту колії та споруд
АТ «Укрзалізниця»

Володимир ЧЕМЕРИНСЬКИЙ



СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Основні праці:

1. Рибкін В.В., Настечик М.П., Арбузов М.А., Каленик К.Л., **Макаров Ю.О.**, Маркуль Р.В. / Дослідження впливу параметрів улаштування колії на інтенсивність бічного зношення головки рейки в кривих ділянках // Збірник наукових праць ДонІЗТ, 2013. – № 34. – С. – 155 – 162. – ISSN: 1993-5579 – *(Особисто здобувачем: проведено аналіз залежності величини бічного зносу рейок від пропущеного тоннажу у кривих ділянках колії з різними діапазонами радіусів)*
2. Говоруха В.В., **Макаров Ю.А.** / Исследования бокового износа рельсов при механическом взаимодействии пути и колес ходовой части вагонов на криволинейных участках пути // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. / ИГТМ НАН Украины. – Днепр, 2017. – № 134. – С. 125 – 140. – ISSN: 2309-6004 – *(Особисто здобувачем: представлені результати комплексних обстежень зносу рейок при взаємодії рухомого складу та залізничної колії в різних умовах експлуатації)*
3. Говоруха В.В., **Макаров Ю.А.**, Семидетная Л.П. / Повышение износостойкости и устойчивости пути криволинейных участков малых радиусов // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. / ИГТМ НАН Украины. – Днепр, 2018. – № 142. – С. 103–114. – ISSN: 1607-4556 – ISSN: 2309-6004 – DOI: 10.15407/geotm2018.142.103 – *(Особисто здобувачем: проведено дослідження впливу різних типів скріплення на дерев'яних та залізобетонних шпалах на інтенсивність зносу у парі «колесо-рейка»)*
4. **Макаров Ю.О.** / Проблеми наднормативного бокового зносу рейок на ділянках зі складними умовами експлуатації // «Залізничний транспорт України», 2019. – № 3. – С. – 39 – 45. – ISSN: 2311-4061 – DOI: 10.34029/2311-4061-2019-132-3-39-45 – (Google Scholar)
5. Говоруха В.В., **Макаров Ю.А.**, Кизилев В.К., Собко Т.П., Семидетная Л.П. / Исследование бокового износа головки рельса на криволинейных участках

- пути с особо малыми радиусами кривизны // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. / ИГТМ НАН Украины. – Днепр, 2019. – № 149, – С. 111–121. – ISSN: 1607-4556 – ISSN: 2309-6004 – DOI: 10.15407/geotm2019.149.111 – (Google Scholar) – *(Особисто здобувачем: проведено аналіз накопичення залишкових деформацій у стиковій зоні рейкової колії та їх вплив на інтенсивність бокового зносу рейок)*
6. Демченко С.М., **Макаров Ю.О.**, Татуревич А.А. / Проблеми застосування стаціонарних рейкозмашувальних пристроїв на залізницях АТ «Укрзалізниця» // «Залізничний транспорт України», 2020. – № 1. – С. – 25 – 34. – ISSN: 2311-4061 – DOI: 10.34029/2311-4061-2020-134-1-25-34 – (Google Scholar) – *(Особисто здобувачем: проаналізовано роботу різних конструкцій стаціонарних колійних рейкозмашувачів, що експлуатуються на АТ «Укрзалізниця» та надано пропозиції, щодо сфери застосування конструкції рейкозмашувачів в залежності від умов експлуатації)*
7. Мямлін С.В., **Макаров Ю.О.**, Залеський Р.Ю. / Зменшення зносу пари "колесо-рейка" шляхом удосконалення технології лубрикації // Залізничний транспорт України. – 2022. – № 4. – С. 27 – 38. – ISSN: 2311-4061 – DOI: 10.34029/2311-4061-2022-145-4-27-38 – (Google Scholar) – *(Особисто здобувачем: представлено експлуатаційні показники пересувних та стаціонарних рейкозмашувачів різних конструкцій)*
8. Демченко С.М., **Макаров Ю.О.**, Татуревич А.А. / Вплив різних типів проміжних рейкових скріплень на інтенсивність зношування рейок на криволінійних ділянках колії // «Залізничний транспорт України», 2023. – № 1. – С. 27 – 33. – ISSN: 2311-4061 – DOI: 10.34029/2311-4061-2023-146-1-27-33 – (Google Scholar) – *(Особисто здобувачем: представлено аналіз сучасних пружних проміжних рейкових скріплень, які застосовуються для регулювання ширини колії та запропоновано раціональні сфери норм утримання ширини колії для зменшення зносу у контактуючій парі «колесо-рейка»)*

9. **Makarov, Y.**, Zaleskyi, R., & Mykhalichenko, M. / Influence of different factors on the value of the rail wear rate // Acta Technica Jaurinensis, 2024. – 17(1), 45 – 58. – DOI: [10.14513/actatechjaur.00735](https://doi.org/10.14513/actatechjaur.00735) (Scopus, Google Scholar, DOAJ, Index Copernicus) – (*Особисто здобувачем:* розглянуто вплив різноманітних факторів на значення величини зносу коліс рухомого складу та рейок та надано рекомендації щодо зменшення зносу)

Додаткові праці:

10. Novorukha V., Novorukha A., **Makarov Y.** / Research on the dynamic processes of vehicles and an arbitrary configuration rail track, influencing the side wear of the rail head and wheel flange contact surfaces at different values of friction coefficient between them // Ser.: Earth and Environmental Science – C. 01 – 19. – ISSN: [1755-1307](https://doi.org/10.1088/1755-1307) – ISSN: [1755-1315](https://doi.org/10.1088/1755-1315) – DOI: [10.1088/1755-1315/970/1/012029](https://doi.org/10.1088/1755-1315/970/1/012029) – (*Особисто здобувачем:* проведено оброблення натурних показників рейкової колії для проведення математичного моделювання при застосуванні стандартних і довгих рейок, аналіз результатів математичного моделювання)
11. Ключко Б.Г., **Макаров Ю.О.** / Застосування нових конструкцій верхньої будови колії на напрямках швидкісного руху поїздів //Проблеми взаємодії колії та рухомого складу: праці Міжнародної науково–практичної конференції, яка присвячена 100-річчю професора Мойсея Абрамовича Фрішмана, 19–20.09.2013. – Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2013. – с. 85 – 86. – УДК 625.03 – (*Особисто здобувачем:* проведено огляд сучасних проміжних рейкових скріплень, які застосовують на коліях АТ «Укрзалізниця»)
12. **Макаров Ю.О.** / Безопасность движения поездов – ключевая задача обеспечения перевозочного процесса // «Українські залізниці», 2014. – №7 (13). – с. 52 – 55.
13. **Макаров Ю.О.**, Гусак М.А., Панченко І.В. / Застосування нових конструкцій верхньої будови колії на напрямках швидкісного руху поїздів // Тези доповідей на 74 Міжнародної науково–практична конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту», 15 –

16.05.2014 – Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2014. – 267–268 с. – УДК 656.2 – *(Особисто здобувачем: проведено порівняння економічного ефекту від застосування різних типів проміжних рейкових скріплень на напрямках швидкісного руху поїздів)*

14. **Макаров Ю.О.** / Восстановление наплавкой как эффективный метод продления жизненного цикла и повышения износостойкости элементов стрелочных переводов // «Українські залізниці», 2019. – №7 (73), – с. 7 – 11.

15. Говоруха В.В., **Макаров Ю.А.** / Повышение ресурса работы рельсового транспорта за счет уменьшения интенсивности бокового износа рельсов в кривых малых радиусов и стрелочных переводов // Сучасні технології розробки рудних родовищ. Екологоекономічні наслідки діяльності підприємств ГМК.36: IV Міжнародна науково-технічна конференція: 24 листопада 2017 р. – Кривий Ріг, 2017. – С. 63 – 64. – *(Особисто здобувачем: надано пропозиції щодо підвищення ресурсу рухомого складу та залізничної колії за рахунок зниження зносу гребенів коліс, рейок та елементів стрілочних переводів).*