

Український державний університет залізничного транспорту

Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Новіков Вадим Володимирович

УДК 625.031.32:625.17

ДИСЕРТАЦІЯ

ПІДВИЩЕННЯ СТРОКУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ РЕЙОК В КРИВИХ ДІЛЯНКАХ КОЛІЇ ЗІ СКРІПЛЕННЯМИ РОЗДІЛЬНОГО ТИПУ

05.22.06 – Залізнична колія

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



В.В. Новіков

Науковий керівник:

Скорик Олексій Олексійович

кандидат технічних наук,

доцент

Харків – 2021 р.

АНОТАЦІЯ

Новіков В.В. Підвищення строку експлуатації рейок в кривих ділянках колії зі скріпленнями роздільного типу. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.06 – Залізнична колія (27-Транспорт). – Український державний університет залізничного транспорту, Харків.

Представлена робота присвячена вирішенню науково-технічної проблеми підвищення ресурсу роботи рейок безстикової колії з залізобетонною підрейковою основою та проміжними рейковими скріпленнями типів КБ-65, та СКД-65 в умовах експлуатації залізничних колій в кривих з радіусами 450 м та менше за рахунок встановлення науково обґрунтованої норми максимальної безпечної ширини рейкової колії. Актуальність теми дисертаційної роботи визначена високими фактичними значеннями інтенсивності бічного зносу рейок у безстиковій колії з залізобетонною підрейковою основою у кривих ділянках радіусом менше 450 м та скороченням через зменшення дозволеного «коридору» ширини рейкової колії (з 25 мм у прямих ділянках та кривих радіусом до 450 м, з 1520 мм до 1545 мм до 10 мм у кривих радіусом менше 450 м з 1535 мм до 1545 мм – максимальної ширини колії при якій можна рухатись рухомому складу зі встановленими швидкостями руху), через зростання у 2,5 рази кількості переукладань рейкових плітей, які ще не напрацювали допустиму величину бічного зносу головки рейки 15-18 мм, та видаляються достроково, що в умовах економічного ускладнення залізниць України вкрай недоцільно через те, що саме рейки є найдорожчим конструктивним елементом колії і повинні вичерпувати весь нормативний ресурс, закладений в нормативах їх використання. Крім того, існуюча та діюча в нормативних документах норма максимальної небезпечної ширини рейкової колії (1548 мм) не враховує ні матеріал підрейкової основи, ні пружні параметри проміжних рейкових скріплень, ні створені та введені в експлуатацію нові ремонтні профілі коліс рухомого складу, ні експлуатаційні фактори впливу на фізичний стан проміжних рейкових скріплень, ні вплив режимів гальмування локомотивних гальм на температурні деформації бандажів,

ні існуючи допуски на їх виготовлення, та впроваджена без урахування фізичних процесів розпору колії, але вважалась такою, що відповідає усім вимогам експлуатаційних умов, не зважаючи на перелічені недоліки.

Зміст дисертації. У вступі послідовно обґрунтована актуальність теми, її значимість у сучасних умовах впровадження нових конструкцій колії та рухомого складу через використання нових ремонтних профілів колес та досліджених факторів впливу на об'єкт та предмет досліджень, сформульовано мету та задачі досліджень, показано зв'язок роботи з науковими програмами, планами, тематикою, розглянуто наукову новизну, практичну значимість отриманих результатів, особистий вклад здобувача, апробація результатів дисертації та публікації автора.

У першому розділі роботи досліджено історичні етапи процесів формування сучасного профілю поверхні кочення коліс рухомого складу та основні принципи визначення максимального значення небезпечної ширини рейкової колії, яке мало нормативний статус у правилах технічної експлуатації залізничної колії та проаналізовано результати наукових досліджень провідних вчених в галузі визначення цієї важливої норми утримання сучасної конструкції – безстикової колії з залізобетонною підрейковою основою та з сучасними проміжними рейковими скріпленнями роздільного типу. На підставі аналізу багатьох наукових досліджень, не прив'язаних ні до колісних навантажень, ні до параметрів, що визначають рівень бічного впливу рухомого складу зроблено висновок, що практично не можливо спрогнозувати та визначити будь-який достовірний алгоритм вирішення задачі з визначення значення максимальної безпечної ширини рейкової колії, яку необхідно встановити або призначити з урахуванням усіх відомих факторів впливу, та виходячи з цього мати визначений науковий підхід до визначення подібних задач при впровадженні більш прогресивних пружних конструкціях проміжних рейкових скріплень в безстиковій колії з залізобетонною або полімерною основою в умовах застосування нових ремонтних та експлуатаційних профілів коліс рухомого складу з метою покращення умов взаємодії рухомого складу з залізничною колією. Проаналізовано сучасні підходи до визначення значення норми

небезпечної ширини рейкової колії та зроблено висновок про помилковість та алогічність використання плюсового допуску як додатка до небезпечного значення максимальної ширини колії, визначеного як критично максимальну величину при початку розпору колії. На підставі аналізу багатьох наукових досліджень встановлено, що при експлуатації проміжних скріплень роздільного типу не враховується їх фактичний стан, залежний від пропущеного по колії вантажопотоку (тоннажу), від якого в значній мірі залежать величини бічного відтиснення головки рейки та розширення колії під дією вертикальних та бічних сил. На підставі виконаного аналізу причин порушень безпеки руху в поїзній та маневровій роботі, допущених у колійному господарстві залізниць України, що пов'язані з розширенням колії, зроблено висновки, що головною причиною порушення безпеки є розширення колії та при наявності досконалих засобів контролю ширини рейкової колії неможливо попереджувати ці події профілактично без урахування експлуатаційних характеристик ділянок колії, де обертаються різноманітні локомотиви та одно типовий рухомий склад вагонного парку, саме конструкційні особливості рухомого складу та напрацювання перевезеного по колії тоннажу. На підставі аналізу теоретичних та експериментальних досліджень провідних вчених визначено фактори впливу на небезпечний максимальний розмір ширини колії зроблено висновок, що не можна регламентувати максимальну небезпечну ширину рейкової колії, як єдину постійну величину для усіх ділянок залізничної колії, незмінну в часі, тому що вона різна не тільки для різних типів екіпажів але й для різних умов руху. На підставі виконаних автором експериментальних досліджень вперше визначено величини горизонтальних люфтів в конструкції проміжного рейкового скріплення типу КБ зроблено висновок, що в розрахунках небезпечного значення ширини рейкової колії необхідно враховувати як вид рейкового скріплення, так і максимальні вірогідні значення сумарних люфтів з урахуванням їх розподілу вздовж рейкової колії.

У другому розділі дисертації викладено методику та результати експериментальних досліджень впливу вертикальних та бічних сил від коліс рухомого складу на бічні відтиснення головки рейки на залізобетонній

підрейковій основі, якою передбачено попереднє дослідження фактичного стану проміжних рейкових скріплень типу КБ-65, які вони мають перед наступним черговим плановим суцільним підкріпленням прикріплювачів в залежності від вантажонапруженості безстикової колії, що дозволило згрупувати вимоги до монтажних зусиль притиснення клемних та закладних болтів на дві групи по вантажонапруженості ділянок – до 40 млн.т.брутто/км.рік та більше 40млн.т.брутто/км.рік. Це було досягнуто при застосуванні результатів експериментальних досліджень у діючій колії з використанням динамометричного ключа конструкції НТКБ ЦП ЦНДІ МШС СРСР у 80-х роках минулого століття, та після обґрунтування функціональної залежності зусилля у болтах проміжних рейкових скріпленнях від крутильного моменту, докладеного за допомогою динамометричного ключа до гайок цих болтів. По розробленій та приведеній автором методиці експериментальних вимірювань пружних бічних відтиснень головки рейки рейкової нитки при одночасній дії вертикального та горизонтального навантажень виконані оригінальні дослідження, результати яких дозволяють аналітично розраховувати для колії зі скріпленнями типів КБ-65 та СКД-65 реальні бічні відтиснення при будь-яких значення вертикальних та бічних сил, які отримані для найгірших умов притиснення рейкової пліти до шпал, які визначені для двох діапазонів вантажонапруженості залізничної колії в межах реальних значень, та які виникають перед виконанням чергового планового підкріплення усіх болтів проміжних рейкових скріплень згідно вимог інструкції ЦП-0266(ЦП-0081).

В існуючій науково-технічній літературі відсутні дані про величину горизонтальних люфтів в конструкціях проміжних скріплень типу КБ-65. Для дослідження статистичних характеристик розподілу випадкової величини $\overline{\varepsilon}_L$ були виконані експериментальні вимірювання на виробничій базі КМС-39. Для дослідження були використані рейкові ланки, зняті з колії при напрацюванні міжремонтного тоннажу під час модернізації колії. Методикою досліджень передбачено вимірювання величини горизонтальних люфтів по обом рейковим ниткам рейкових ланок, що були в експлуатації у кривих ділянках колії, завдяки

застосуванню гідравлічного домкрата з зусиллям до 50 кН.

У **третьому розділі** наведено методику та результати дослідження умов розпору колії з проміжними рейковими скріпленнями роздільного типу та його впливу на визначення небезпечної ширини рейкової колії для найбільш небезпечних ремонтних профілів коліс сучасного рухомого складу залізниць України, які мають порівняно з типовими профілями більші кути нахилу поверхонь кочення до горизонту, менші значення товщини гребнів та менші відстані від зовнішньої площини колеса до перетину, де змінюється конічність поверхні кочення, а тому є більш небезпечними при розгляданні процесу розпору колії, який не розглядався ні теоретично ні експериментально та не має наукового обґрунтування в сучасній науковій літературі. Отримані результати розрахунків максимальної небезпечної ширини рейкової колії для ділянок руху рухомого складу для умов застосування службового або екстреного гальмування та окремо для умов руху до застосування службового або екстреного гальмування та окремо приведено сумарні величини пружних розширювань колії за рахунок відтиснень головок рейок під впливом бічної сили одночасно з силами розпору.

В **четвертому розділі** наведено методику та результати техніко-економічної оцінки використання нових норм безпечної ширини рейкової колії з проміжними рейковими скріпленнями типу КБ-65 в безстиківій колії на залізобетонних шпалах на залізницях України. В розрахунках автором розглянуто вплив можливості додаткового використання ресурсу найбільш коштовного елемента колії – рейок, відповідно до встановлених норм служби рейок, які існуюча норма небезпечної ширини рейкової колії не дозволяє використовувати через необґрунтовані обмеження. Розрахунками визначено економію матеріалу –старопридатних рейок та соціальний ефект від скорочення небезпечних умов праці при виконанні робіт з не закріпленими рейковими плітьми в умовах не прогнозованої зміни температури старопридатних, але не пройшовших реновацію рейкових плітей, які перекладають зі зміною робочого канту. Для умов Південної залізниці при середньому річному обсязі заміни рейкових плітей-13 км, річна економія коштів, якщо порівняти з укладанням у

колію нових рейок, з урахуванням того, що остаточна вартість старопродатної рейки складає 10 % від вартості нових рейок, становитиме 90 % вартості нових рейок і дорівнює 21932352 гривень/рік.

Ключові слова: небезпечна максимальна ширина колії, максимальна безпечна ширина колії, проміжні рейкові скріплення, вертикальні сили, бічні відтиснення головки рейки, зусилля притиснення болтів, фактори впливу ,горизонтальні люфти , статичні сили, динамічні сили, експериментальні дослідження, порушення безпеки руху , службове гальмування, інтенсивність бічного зносу головки рейки, взаємодія коліс з рейками, радіуси кривих, розпор рейкової колії, залізобетонна підрейкова основа, скріплення типу КБ-65, скріплення типу СКД-65, заміна рейкових плітей.

ABSTRACT

Novikov V.V. Longer service life of rails with separate intermediate fastenings in curves. As a manuscript.

Thesis for Academic Degree of Candidate of Engineering Sciences (PhD) in Speciality 05-22-06 – Railway Track (27 – Transport). – Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, 2021.

The study deals with the solution to a longer operational life of continuous welded rails with the КБ-65 and СКД-65 intermediate rail fastenings on concrete foundation in curves with radii up to 450 m. It is achieved through scientifically substantiated requirements for the maximum safe track gauge. Especially, it is of great significance for sections with intensive side wear of continuous welded rails on concrete foundation in the curves with radii less than 450 m. The allowable track gauge range for these sections is rather small. Thus, for straight sections and curves with radii up to 450 m this range is 25 mm (from 1520 mm to 1545 mm) and for curves with radii less than 450 m this range is 10 mm (from 1535 mm to 1545 mm) out of the maximum gauge; it guarantees the motion of the rolling stock at set traffic speeds. It is the result of track re-laying for the rails which have not reached the allowable side wear of the rail head (15 mm); and such track re-laying has increased 2.5 times. For Ukrainian railways, being squeezed financially, it makes no economic sense, as rail is

the most expensive constructive element of the track, and its whole service life potential, as set by standards, should be fully utilized. Besides, the maximum permissible track gauge of 1548 mm, as prescribed by the existing standards, disregards rail foundation material, elastic parameters of intermediate rail fastening, new re-profiled wheels put into operation, operational factors impacting the physical state of intermediate rail fastenings, effect from braking modes of a locomotive regarding temperature deformations of wheel treads, excising tolerances taken during their production, lateral pressure of the track, etc. Nevertheless, this track gauge value has been taken as one which meets all operational requirements despite all the above-mentioned limitations.

Content of the thesis. Introduction section scientifically substantiates the relevance of the subject matter and its value for introduction of modern structures of track and rolling stock with implementation of new re-profiled wheels. It deals with the factors which impact the object and the subject of the research, presents the objective and the tasks of the research, shows connection with research programs, plans, subject matters, describes the academic novelty, the practical value of the results obtained, and approbation of the results together with personal contribution of the applicant and his publications.

Section 1 deals with the historical stages in formation of the modern rolling profile surface and basic principles for determination of the maximum safe rail track gauge regulated by technical requirements for the rail track. It also analyzes the results of the scientific research by the well-known scientists in the field who studied the stability of continuous welded rails on concrete foundation with modern intermediate rail fastenings. The analysis of many scientific studies, not related to wheel loads and parameters for determination of the lateral pressure to the rolling stock, demonstrates the impossibility to forecast and develop any reliable algorithm for determination of the maximum safe rail track gauge. This value should include all known impact factors. Therefore, it requires an accepted scientific approach to solution of similar problems during implementation of innovative resilient intermediate rail fastenings for continuous rail track with application of new re-profiled operational wheels for rolling stock. The section deals with modern approaches to determination of the allowable rail

track gauge and concludes that it is not reasonable to use a positive tolerance as an addition to a safe value for the maximum track gauge defined as critical maximum value at the beginning of lateral pressure process. The analysis of many scientific research demonstrated that they did not include the actual state of intermediate separate fastenings which depends on the track tonnage affecting the lateral displacements of the rail head and widening the track due to the vertical and lateral forces. The analysis of failures in safe operation of trains and shunting locomotives on Ukrainian railways made it possible to conclude that their basic reason is the widening of the track; even perfect track gauge control equipment could not forecast these failures without taking into account the operational characteristics of the track sections used by various locomotives and one-type rail cars, thus the structural features of the rolling stock and the rail track tonnage are of primary importance. On the basis of the analysis of theoretical and experimental research made by renowned scientists the author determined the impact factors for the maximum allowable track gauge and concluded that regulation of the maximum allowable track gauge, as a universal constant time-independent value for all track sections, is not possible due to its variable nature for different types of rail vehicles and traffic conditions. The section presents the experiments during which the horizontal gaps in the КБ intermediate rail fastening were determined for the first time. It was concluded that calculation of the allowable rail track gauge should include the type of rail fastening, and maximum potential values of all gaps with consideration of their distribution along the rail track.

Section 2 presents the technique and results of the experimental research into the impact of the vertical and lateral forces from the rolling stock wheels on the lateral displacements of the rail head for a rail track on concrete foundation. This technique includes a preliminary study of an actual condition of the КБ-65 intermediate rail fastening before the scheduled tightening of all fastenings according to the tonnage of continuous welded rails. Thus the requirements for installation clamping forces to terminal and insert bolts were divided into two groups by freight capacity of sections: up to 40 million ton-km per year and over 40 million ton-km per year. The results were obtained on the basis of the experimental research for the operating track with a torque wrench (manufactured in the Soviet Union in 1980s), and due to the substantiation of

functional dependency between the forces on the bolts and the torque moment from the torque wrench to the nuts of these bolts. The technique of experimental measurements of elastic lateral displacements of the rail head under simultaneous vertical and horizontal forces, developed by the author, was used for specific studies, the results of which make it possible to analytically calculate actual lateral displacements of the rail head at any vertical and lateral forces for a track with the КБ-65 and СКД-65 rail fastenings. These values were obtained for the worst application of rails to the sleepers for two groups of the track freight capacity within actual values before a scheduled tightening of all bolts in the rail fastenings with accordance to Technical requirements for laying, alignment, repair and maintenance of continuous welded rails on railways of Ukraine (ЦП-0266 (ЦП-0081)).

The existing scientific and technical literature does not provide information on the value of horizontal gaps in the КБ-65 intermediate rail fastening. Therefore, the statistic characteristics for distribution of the random value $\overline{\varepsilon}_n$ were researched experimentally on the track maintenance train KMC-39. The research was made on the rails with inter-repair tonnage, which were removed from rail sections during track modernization. The technique presented stipulates measurement of horizontal gaps of track rails used for curves with application of a hydraulic jack with capacity of 50kN.

Chapter 3 presents the technique and the results of the research into the lateral pressure to the track with intermediate rail fastenings, and the impact of this lateral pressure to determination of the allowable track gauge for the most unsafe re-profiled wheels of modern rolling stock used on Ukrainian railways. These profiles have wider angles of rolling surface in comparison with ones of typical profiles, smaller wheel flanges and smaller distances from the external wheel surface to the area where conicity changes. Therefore they are more hazardous in terms of lateral pressure which has been studied neither theoretically nor practically and does not have any scientific substantiation in scientific literature at present. The study presents the results of the research into the maximum allowable rail track for sections before and during application of the service and emergency braking, and the total values of elastic pressure of the track due to the displacements of the rail head due to lateral and pressure

forces.

Section 4 gives the feasibility study for new standards for a safe track gauge with the KB-65 intermediate rail fastening for continuous welded rails on concrete sleepers for Ukrainian railways. The authors considered the potential additional resource of rail as the most expensive element of the track according to the accepted service life; however this potential cannot be used owing to the limitations included in the existing requirements for the rail track. The author calculated a substantial saving of used rails, and the social effect from shortening repair periods needed for replacement of worn-out rail sections, when it is not possible to forecast a temperature change in used non-renewed rails being re-laid with changing their field and gauge sides. For the Southern Railway with its average annual 13-km rail replacement the annual cost saving may reach 90 % out of the new rails and account for 21,932,352 hrn per year; by comparison, the residual cost of used rails for the track is just 10% out of the new rails.

Keywords: maximum allowable rail track gauge, maximum safe track gauge, intermediate rail fastenings, vertical forces, lateral displacements of rail head, clamping force, impact factors, horizontal gaps, static forces, dynamic forces, experimental research, fail-safe motion, service braking, side wear intensity of rail head, wheel/ rail interaction, curve radii, lateral pressure to rail track, concrete rail foundation, rail KB-65 fastenings, rail CKД-65 fastenings, track re-laying.

Список публікацій здобувача:

1. Новіков В. В., Белорусов О. І. Визначення небезпечного максимального розміру ширини рейкової колії. *Зб. наук. праць*. Харків: УкрДАЗТ, 2006. Вип. 72. С. 137–141.

2. Новіков В. В., Белорусов О. І. Вплив конструктивних особливостей ходових частин рухомого складу на величину максимально небезпечної ширини рейкової колії. *Зб. наук. праць*. Харків: УкрДАЗТ, 2007. Вип. 80. С. 51–54.

3. Новіков В. В., Белорусов О. І. Дослідження факторів впливу на величину максимального небезпечного розміру ширини рейкової колії. *Тези доповідей 67-ої міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту»*. Дніпропетровськ: ДНУЗТ ім. академіка В. Лазаряна, 2007. С. 167–168.

4. Новіков В. В., Белорусов О. І. Дослідження факторів впливу на величину максимального небезпечного розміру ширини рейкової колії. *Вісник ДНУЗТ ім. академіка В. Лазаряна*. Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2008. Вип. 21. С. 78-79.

5. Новіков В. В., Белорусов О. І., Думчиков С. В., Залевський В. О. Експериментальні дослідження величин горизонтальних люфтів у конструкції проміжного рейкового скріплення типу КБ-65. *Зб. наук. праць*. Харків: УкрДАЗТ, 2008. Вип. 91. С. 136–140.

6. Новіков В. В., Белорусов О. І. До питання про величину максимального небезпечного розміру ширини рейкової колії. *Тези доповідей 69-ої міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту»*. Дніпропетровськ: ДНУЗТ ім. акад. В. Лазаряна, 2009. С. 142.

7. Новіков В. В., Скорик О. О. Визначення умов проведення експериментальних досліджень впливу вертикальних та бічних сил від коліс рухомого складу на бічні відтиснення головки рейки при підрейковій основі з залізобетонними шпалами. *Научные труды SWorld*. Иваново: Научный мир, 2015. Вып. №2(39), Т.1. С. 47–50.

8. Новіков В. В., Скорик О. О. Результати експериментальних вимірювань

пружних бічних відтискань головки рейкової нитки при взаємодії горизонтального та вертикального. *Зб. наук. праць*. Харків: УкрДАЗТ, 2015. Вип. 157. С. 35–39.

9. Новіков В. В. Напрямки практичного використання експериментально отриманих функціональних залежностей величин бічного відтискання головки рейки від колеса рухомого складу. *Тези доповідей 78-ої міжнародної науково-технічної конференції «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті»*. Харків: УкрДУЗТ, 2016. С. 71.

10. Новіков В. В., Скорик О. О. Дослідження умов розпору колії зі скріпленням типу КБ та його впливу на визначення небезпечної ширини рейкової колії. *Тези доповідей 6-ої міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті»*. Харків: УкрДУЗТ, 2017. С. 211–212.

11. Новіков В. В., Скорик А. А., Панченко С. В. Исследование условий распора колеи со скреплениями типа КБ и его влияние на определение опасной ширины рельсовой колеи. *Зб. наук. праць*. Харків: УкрДУЗТ, 2018. Вип. 178. С. 14–20.

12. Новіков В. В., Скорик О. О. Аналіз причин порушень безпеки руху в поїзній та маневровій роботі, що пов'язані з розширенням колії. *Тези доповідей 80-ої міжнародної науково-технічної конференції «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті»*. Харків: УкрДУЗТ, 2018. Вип. 177. С. 105–106.

13. Anatolii Shtompel, Oleksii Skoryk, Vadym Novikov, Yuliia Kravchenko, Yevhen Korostelov. Determination of the level of separate rail failure using the indicator of their reliability. *Transbud-2018 – MATEC Web of Conferences*, 2018. 230. 01016. URL: <https://doi.org/10.1051/matecconf/201823001016>

14. Новіков В.В., Скорик О.О., Кравченко Ю.М., Овчинніков О.О. Техніко-економічна оцінка використання нових норм небезпечної ширини рейкової колії з проміжними рейковими скріпленнями типу КБ-65 в безстиківій колії з залізобетонними шпалами на залізницях України. *Тези доповідей 7-ої міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми надійності та*

довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті». Харків: УкрДУЗТ, 2018. С. 65-66.

15. Новіков В. В., Штомпель А. М., Скорик О. О., Кравченко Ю. М., Коростельов Є. М. Визначення рівня поодинокого виходу рейок у дефектні за показником їх надійності. *Тези доповідей 7-ої міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті». Харків: УкрДУЗТ, 2018. С. 73-74.*

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ	2
ВСТУП.....	18
РОЗДІЛ 1 СУЧАСНІ НАУКОВІ ПІДХОДИ ДО ВИЗНАЧЕННЯ НАЙБІЛЬШОЇ БЕЗПЕЧНОЇ ШИРИНИ РЕЙКОВОЇ КОЛІЇ З ПРОМІЖНИМИ РЕЙКОВИМИ СКРІПЛЕННЯМИ РОЗДІЛЬНОГО ТИПУ НА ЗАЛІЗОБЕТОННІЙ ПІДРЕЙКОВІЙ ОСНОВІ.....	30
1.1 Огляд сучасного стану та коротка історична довідка досвіду попередніх дослідників з літературних джерел	30
1.2 Сучасні підходи до визначення значення норми небезпечної ширини рейкової колії.....	36
1.3 Аналіз причин порушень безпеки руху в поїзній та маневровій роботі, допущених в колійному господарстві залізниць України, що пов'язані з розширенням колії.....	39
1.4 Визначення факторів впливу на небезпечний розмір ширини рейкової колії.....	52
1.4.1 Визначення факторів впливу при традиційних профілях коліс рухомого складу.....	52
1.4.2 Дослідження факторів впливу на величину небезпечного розміру ширини рейкової колії.....	58
1.4.3 Дослідження впливу конструктивних особливостей ходових частин рухомого складу на величину максимальної небезпечної ширини колії.....	62
Висновки за розділом 1. Мета і задачі дослідження	64
РОЗДІЛ 2 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВЕРТИКАЛЬНИХ ТА БІЧНИХ СИЛ ВІД КОЛІС РУХОМОГО СКЛАДУ НА БІЧНІ ВІДТИСНЕННЯ ГОЛОВКИ РЕЙКИ НА ЗАЛІЗОБЕТОННІЙ ПІДРЕЙКОВІЙ ОСНОВІ.....	68
2.1 Дослідження величини горизонтальних люфтів в конструкції проміжного роздільного рейкового скріплення типу КБ	68
2.2 Методика та результати досліджень фактичного стану проміжних рейкових	

скріплення типу КБ-65, який вони мають перед наступним черговим плановим суцільним підкріпленням прикріплювачів в залежності від вантажонапруженості безстикової колії.....	74
2.3 Результати досліджень фактичного стану прикріплювачів проміжних рейкових скріплень типу КБ-65 у безстиковій колії перед наступним черговим суцільним підкріпленням	81
2.4 Методика та результати експериментальних вимірювань пружних бічних відтиснень головки рейкової нитки при одночасній дії на неї вертикального та горизонтального навантажень	82
2.4.1 Методика проведення експериментальних досліджень вимірювання пружних бічних відтиснень головки рейкової нитки при одночасній дії на неї вертикального та горизонтального навантажень.....	82
2.4.2 Результати експериментальних досліджень вимірювання пружних бічних відтискань головки рейкової нитки при одночасній дії на неї вертикального та горизонтального навантажень	89
2.4.3. Аналіз отриманих експериментальних даних на повторюваність із заданою довірчою вірогідністю	92
РОЗДІЛ 3 ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ РОЗПОРУ КОЛІЇ З ПРОМІЖНИМИ РЕЙКОВИМИ СКРІПЛЕННЯМИ РОЗДІЛЬНОГО ТИПУ ТА ЙОГО ВПЛИВУ НА ВИЗНАЧЕННЯ НЕБЕЗПЕЧНОЇ ШИРИНИ РЕЙКОВОЇ КОЛІЇ	97
3.1 Методика виконання досліджень умов розпору рейкової колії.....	97
3.2 Результати досліджень умов розпору рейкової колії	105
Висновки за розділом 3.....	115
РОЗДІЛ 4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ВИКОРИСТАННЯ НОВИХ НОРМ НЕБЕЗПЕЧНОЇ ШИРИНИ РЕЙКОВОЇ КОЛІЇ З ПРОМІЖНИМИ РЕЙКРОВИМИ СКРІПЛЕННЯМИ ТИПУ КБ-65 В БЕЗСТИКОВІЙ КОЛІЇ З ЗАЛІЗОБЕТОННИМИ ШПАЛАМИ НА ЗАЛІЗНИЦЯХ УКРАЇНИ.....	117
4.1 Методика проведення техніко-економічної оцінки використання нових норм небезпечної ширини рейкової колії з проміжними рейковими скріпленнями типу КБ-65.....	117
4.2 Результати проведення техніко-економічної оцінки.....	128

4.2.1 Термозміцнені рейкові пліті.....	128
4.2.2 Рейкові пліті без зміцнення.....	131
Висновки за розділом 4.....	134
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	136
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	139

ВСТУП

У сучасній економіці України залізничний транспорт продовжує здійснювати основні обсяги вантажних перевезень, приблизно 75 % загального вантажообігу, та пасажирських перевезень, більше ніж 40 % пасажирообігу від всіх транспортних перевезень країни. Через ускладнення економічних та політичних стосунків, обсяги транспортних сполучень з найбільшими Східними партнерами значно скоротилися як у вантажному, так і у пасажирському русі. В той же час, після підписання угоди про асоціацію з ЄС, Україна поширює економічні стосунки з країнами Євросоюзу. Оці нові обставини вимагають змін у стандартах інфраструктури залізниць, та наближення їх до загальноєвропейських нормативів.

На залізницях України щороку, починаючи з 60-х років минулого століття, постійно відбуваються значні зміни як у конструкції колії, так і у конструкції ходових частин рухомого складу, але через помилкові рішення у плануванні обсягів перевезень та осьових навантажень, які призвели до дуже значних матеріальних втрат та ще й до сучасного періоду не ліквідовані усі причини, що викликали ці втрати. При значному посиленні конструкції верхньої будови залізничної колії, шляхом введення в експлуатацію важких типів рейок (Р65, UIC 60) та значного поширення полігону безстикової колії з новими, більш досконалішими типами рейкових скріплень – СКД65, які дозволили збільшити полігон застосування залізобетонних шпал та безстикової колії у кривих ділянках радіусом менше 450 м. Протяжність кривих ділянок колії з радіусом 450 м та менше не перевищує 8% розгорнутої довжини головних та станційних колій магістральних залізниць України і складає загальну довжину 3514 км, з яких 811 км безстикової колії на залізобетонних шпалах та 981 км ланкової колії на залізобетонних шпалах. В тому числі 1259 км колії зі скріпленнями типу КБ та 286 км – СКД65-Б. Більш 80 % протяжності кривих з радіусом 450 м и менше знаходяться на ділянках з вантажонапруженістю до 15 млн. ткм бруто/км год. Майже на 70 %

протяжності таких кривих реалізуються швидкості руху до 60 км/год пасажирськими поїздами та до 40 км/год вантажними. Основним типом рухомого складу, який формує вантажонапруженість ділянок є 4-вісні вантажні вагони ЦНП-ХЗ-О з осьовими навантаженнями 210 кН. В нормах улаштування залізничної колії використовуються стандартні підходи до встановлення найбільшої допустимої ширини колії, які були справедливі для колії з дерев'яними шпалами та відсутні комплексні дослідження усіх змін в конструкції рухомого складу та у конструкції колії з урахуванням багатьох додаткових факторів впливу на зазначену характеристику колії, дотримання якої повинно забезпечити безпеку руху, не зважаючи на обсяги матеріальних витрат на утримання колії.

Завданням даної дисертаційної роботи є дослідження процесів взаємодії рухомого складу з сучасними ремонтними профілями та стандартними профілями коліс рухомого складу з рейковою колією, конструкція якої відповідає найбільш поширеній в Україні – безстикової колії з залізобетонними шпалами та роздільним проміжним клемно-болтовим скріпленням типу КБ (СКД65-Б) в кривих ділянках колії з метою встановлення найбільшої безпечної ширини колії, яку можна допустити за умов забезпечення безпеки руху через недопущення розширення колії, яке може привести до провалу колісних пар та забезпечити найбільший допустимий ресурс використання рейкових плітей на ділянках з інтенсивним боковим зносом рейок, з можливістю подальшого використання результатів дослідження для обґрунтування норм улаштування колії у кривих таких ділянках.

Актуальність теми. Існуючі на сьогодні норми найбільшої допустимої ширини колії отримані з урахуванням можливості провалу колеса рухомого складу в разі кочення перетином колеса, де змінюється конічність 1:20 на конічність 1:7 стандартного профілю колеса, по початку закруглення бічної робочої грані головки рейки $r = 15$ мм. У той час, як гребінь має найбільший знос, при якому його товщина дорівнює 25 мм, при мінімальній насадці коліс – 1437 мм, та конструкція скріплень не має жодних люфтів, та забезпечує бічне

відтиснення головки рейки під дією бічної сили від рухомого складу не більше 2 мм та зменшення ширини колісної пари за рахунок вигину вісі колісної пари – 2 мм. При цих умовах не враховано такі фактори:

- допуск на зменшення ширини колеса – 4 мм;
- максимальні бічні відтиснення головки рейки досягають значно більших величин – в окремих випадках до 6 – 10 мм [11];

- при застосуванні службового гальмування через нагрівання поверхні кочення коліс рухомого складу вагонів відбувається звуження ширини колісної пари до 10 мм [16, 17];

- відсутні експериментально отримані функціональні залежності величини бічного відтиснення головки рейки від вертикального та бічного навантажень одночасно на рейкову нитку;

- відсутні статистичні дані про люфти в елементах скріплень, що виникають через їх корозійні пошкодження, та зношення в процесі експлуатації колії;

- відсутні дані про фактичний стан зусиль притиснення прикріплювачами проміжних рейкових скріплень в залежності від існуючих норм виконання суцільних підкріплень та вантажонапруженості колії;

- відсутня методика урахування усіх зазначених факторів в процесі розпору колії, як і самого розрахунку процесу розпору колії;

- не врахована та обставина, що нові ремонтні профілі мають більш круту конічність поверхні кочення – 1:10, що переходить в 1:3,5;

- не враховано зменшення відстані від краю ободу до перетину зміни конічності поверхні кочення, у деяких ремонтних профілів.

В процесі експлуатації колії, в наслідок дії значних бічних сил невідворотні відтиснення рейки в вузлах рейкових скріплень та бічний знос голівки рейок, при чому темп розширення колії практично не залежить від початкової ширини колії. Фактична ширина постійно збільшується до максимально допустимої. Після цього виникає необхідність проведення робіт з повернення ширини колії до номінального значення, потім цикл повторюється.

В зв'язку зі зменшенням «коридору» що допускається в експлуатації ширини колії (з 25 мм: 1545-1520 мм до 10 мм: 1545-1535 мм) приблизно у 2,5 рази зростає кількість переукладань рейкових плітей зі зміною робочого канту з відповідним зростанням трудовитрат. Рейкові пліті не будуть вибирати допустимий бічний знос 15-18 мм і будуть видалятися достроково, що в умовах економічного ускладнення залізниць України дуже недоцільно через те, що рейки в залізничній колії є найдорожчим конструктивним елементом і мають вичерпувати весь нормативний ресурс, закладений в нормативах їх використання.

Значні втрати залізниць через наднормативний бічний знос рейок та гребенів коліс привели до необхідності залучення наукових кадрів по програмі «колесо-рейка» до розробки пропозиції, спрямованих на подолання проблем взаємодії рухомого складу та колії, в результаті яких було розроблено та впроваджено кілька нових ремонтних профілів коліс вагонів, локомотивів та моторвагонного рухомого складу, які мають нові, раніше ніколи не застосовані в розрахунках небезпечної ширини колії розміри поперечного перерізу, що значно впливають на кінцеві результати. Додатково, деякі з нових ремонтних профілів, як довели експериментальні дослідження мають більші бічні навантаження на рейки, ніж стандартні профілі, що теж необхідно враховувати.

Автором розроблено алгоритм розрахунків небезпечної ширини рейкової колії, який базується на результатах виконаних їм власноруч експериментальних дослідженнях одночасного впливу вертикальних та бічних сил на бічні відтиснення головки рейкової нитки при детермінованих зусиллях притиснення клемних та закладних болтів, які було визначено на цій підставі вивчення фактичного зменшення зусиль натягу у процесі експлуатації колії з урахуванням нормативних термінів проведення суцільних підкріплень на ділянках з різними вантажонапруженостями, що дозволяє врахувати фактичний стан скріплень при визначенні бічних відтиснень голівки рейки. Вперше в даній роботі автором реалізована методика розрахунків розширення колії під час саме розпирання рейкової колії через одночасне бічне відтиснення обох

рейкових ниток, на що звертали увагу Г.М. Шахунянц, М.А. Чернишов, В.І. Тихомиров ще на початку впровадження залізобетонних шпал та безстикової колії, але перші спроби розв'язати проблему розпирання колії з залізобетонними шпалами та проміжними скріпленнями клемно-болтового типу здійснив В.С. Лисюк, та ці спроби не враховували велику частину вище перелічених не врахованих факторів впливу, які виявлено автором даної дисертаційної роботи та не були ніяким чином враховані у нормах устрою та утримання залізничної колії.

Згідно до європейських норм, викладених в пам'ятці ОСЖД 786-7, яка набрала чинності 16 листопада 2001 року та має рекомендаційний характер для усіх країн, які приймали участь у їх розробці та є учасниками ОСЖД у «Рекомендаціях по єдиній методиці оцінки рівня силової завантаженості колії та колійних конструкцій при їх проектуванні та експлуатації» у пункті 3.2 пропонується використовувати наступні критерії стійкості рейкової колії: деформації рейкових ниток – $\Delta\epsilon$ та зміни ширини колії – ΔS , які можливо застосувати лише при визначенні найбільшої допустимої безпечної величини ширини колії, яка для конструкції з роздільними проміжними рейковими скріпленнями на залізобетонних шпалах ніколи не визначалась та яку передбачено визначити в даній роботі.

Для визначення найгірших умов взаємодії коліс рухомого складу та рейкової колії розглянуто бічна дія найбільш масових одиниць рухомого складу по відомих складових графіків-паспортів бічної дії при найбільших допустимих значеннях непогашеного прискорення на залізницях України, на підставі яких з урахуванням вантажонапруженості ділянок зроблено загальні висновки щодо небезпечних значень ширини колії при заміні точкового контакту фактичним плямам у вигляді еліпсу.

Для визначення статистичних значень величини люфтів на ланко-збиральній базі КМС-39 були проведені експериментальні роботи по вимірюванню люфтових відтиснень підошви рейок, знятих з колії при модернізації, за допомогою віджимання рейок спеціальним гідравлічним

домкратом та наступною статистичною обробкою отриманих значень, необхідних для урахування при визначенні небезпечного значення ширини рейкової колії.

Наведене вище вказує на актуальність розробки обґрунтованих норм безпечної максимальної ширини рейкової колії зі скріпленнями проміжними рейковими скріпленнями типу КБ-65 та СКД65-Б. Цим питанням і присвячена дисертаційна робота.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тема дисертаційної роботи та її зміст пов'язані із виконанням науково-дослідних робіт кафедри «Коля та колійне господарство» та «Будівельні, колійні та вантажно-розвантажувальні машини» Українського державного університету залізничного транспорту, що спрямовані на удосконалення конструкції колії метрополітену, її утримання, ремонту та ресурсозбереження відповідно до заходів, визначених Програмами розвитку Харківського метрополітену державного та регіонального рівнів, а саме: Постановою Кабінету Міністрів України від 07.03.06 р. №257 «Про затвердження Державної програми будівництва та розвитку мережі метрополітенів на 2006-2010 роки».

Автор дисертаційної роботи приймав участь у науково-дослідних роботах, що виконувались на замовлення КП (Харківський метрополітен) за такими темами:

- «Розробка технічних вказівок на використання староприсадатних рейок довжиною 12,5 та 25 м в коліях КП «Харківський метрополітен», державний обліковий номер ДРН№0216U006885, Харків, УкрДУЗТ, 2014-2016 рр.

- «Дослідження впливу параметрів фінішного рейкошліфування на розвиток домінуючих дефектів рейок метрополітену», державний обліковий номер ДРН№0216U009010, Харків, УкрДУЗТ, 2015-2016 рр.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є підвищення строку експлуатації рейок в складних умовах плану та профілю за рахунок визначення нормативів максимальної ширини рейкової колії, в тому числі, в прямих ділянках колії та кривих малих радіусів з проміжними рейковими

скріпленнями роздільного типу за умови обов'язкового забезпечення схеми нормально-примусового вписування екіпажів (возиків) рухомого складу. Нормативи максимальної ширини рейкової колії повинні відповідати не лише вимогам забезпечення безпеки руху поїздів до реалізації найбільш допустимого зносу головки рейки, а й враховувати вплив на формування ширини колії такого фактору, як обрис ремонтних профілів коліс, а також фактичний стан колії, що визначається конструкцією прикріплювачів, їх мінімальними поточними зусиллями притиснення та їх впливом на горизонтальні пружні бічні відтиснення при колісних навантаженнях.

У відповідності з поставленою метою в дисертаційній роботі поставлені та розв'язані **наступні задачі досліджень**:

1) провести аналіз існуючої методики визначення максимальної ширини рейкової колії та визначити напрями її удосконалення;

2) провести аналіз причин порушень безпеки руху в поїзній та маневровій роботі, допущених в колійному господарстві залізниць України, що пов'язані з розширенням колії;

3) провести дослідження факторів впливу на величину максимального розміру ширини рейкової колії;

4) виконати експериментальні дослідження величини горизонтальних люфтів в конструкції проміжного рейкового скріплення типу КБ-65;

5) виконати дослідження фактичного стану проміжних рейкових скріплень роздільного типу, який вони мають перед наступним черговим плановим суцільним підкріпленням прикріплювачів в залежності від вантажонапруженості безстикової колії;

6) провести експериментальні вимірювання пружних бічних відтиснень головки рейкової нитки при одночасній дії на неї вертикального та горизонтального навантажень;

7) виконати дослідження умов розпору колії з проміжними рейковими скріпленнями роздільного типу та його впливу на визначення максимальної ширини рейкової колії.

Об'єкт досліджень – процес взаємодії залізничної колії та рухомого складу з новими ремонтними профілями в кривих ділянках безстикової колії із залізобетонними шпалами та проміжними рейковими скріпленнями роздільного типу.

Предмет досліджень – процедура визначення максимальної ширини безстикової рейкової колії з проміжними рейковими скріпленнями роздільного типу (КБ-65, СКД65-Б).

Робоча гіпотеза досліджень – полягає в тому, що існуючі підходи щодо визначення небезпечного значення ширини рейкової колії некоректно застосовувати до колії з залізобетонною підрейковою основою.

Методи досліджень. В дисертаційній роботі використано комплексний метод досліджень, який включає аналітичну та експериментальну частини. Для аналітичних методів застосовано метод математичного моделювання. Обробку експериментальних досліджень горизонтальних люфтів проведено із застосуванням методів математичної статистики. Для експериментальних досліджень була розроблена та створена установка для відтворення одночасної дії вертикальних та бічних навантажень на головку рейкової нитки.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у наступному:

1. Вперше отримано найбільш ймовірну величину горизонтальних люфтів або відбоїв рейкових ниток в проміжних рейкових скріпленнях роздільного типу при напрацюванні нормативного міжремонтного тоннажу по обом рейковим ниткам, що дозволило врахувати, додатково до відомих, ще один з найбільш впливових факторів у визначенні максимальної небезпечної ширини рейкової колії.

2. На основі визначення фактичних залежностей зміни монтажних зусиль натягіння клемних та закладних болтів в діючій залізничній колії вперше отримано розрахункові значення фактичних мінімальних зусиль притиснення рейок до шпал, за умови виконання вимог діючих нормативів поточного утримання залізничної колії. Отримані результати використані для встановлення емпіричних залежностей величин бічних горизонтальних

відтискань головки рейкової нитки при одночасній дії вертикальних та горизонтальних сил від коліс рухомого складу. Це дозволило врахувати вплив конструкції підрейкової основи на визначення максимальної допустимої ширини рейкової колії.

3. Вперше запропоновано новий метод визначення максимальної допустимої ширини рейкової колії з урахуванням найбільш впливових факторів конструкції рейкової колії та рухомого складу, що дозволив запропонувати диференціацію норм максимальної допустимої безпечної ширини рейкової колії в залежності від умов експлуатації, таких як складний план та поздовжній профіль в прямих ділянках колії та кривих малих радіусів.

Практичне значення отриманих результатів полягає у наступному:

1. Отримані в дисертації висновки та результати дозволять скоротити матеріальні витрати на поточному утриманні безстикової колії с проміжними рейковими скріпленнями роздільного типу.

2. Запропонований новий метод розрахунку визначення максимальної допустимої ширини рейкової колії, що базується на комплексному врахуванні конструкції колії та експлуатаційних факторів, умов взаємодії рухомого складу та елементів залізничної колії, може бути використаний при розробці нових нормативів ширини рейкової колії в прямих ділянках колії та кривих малих радіусів та впровадженні нових конструкцій рейкових скріплень.

3. Розроблені в дисертаційній роботі пропозиції щодо врахування геометричних характеристик поверхні кочення елементів ремонтних профілів коліс рухомого складу дозволять уникати виникнення небезпечного розпирання рейкової колії.

4. Одержані в дисертації результати використовуються під час викладання дисциплін «Улаштування та експлуатація залізниць», «Залізнична колія», «Організація і планування ремонтно-колійних робіт в умовах обмежених ресурсів» в курсовому та дипломному проектуванні при підготовці фахівців за освітньою програмою «Залізничні споруди та колійне господарство» в Українському державному університеті залізничного

транспорту.

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

Особистий внесок здобувача. Результати дисертаційної роботи, які виносяться на захист, отримані особисто автором. Особистий внесок здобувача в роботах, що опубліковані в співавторстві, полягає у наступному:

- аналіз існуючих досліджень, порівняння існуючих методик [6];
- розробка методики виконання досліджень умов розпору [1];
- підготовка експериментальної ділянки, виготовлення спеціального обладнання та проведення експериментальних досліджень [2];
- виконання експериментальних досліджень, статистична обробка отриманих результатів з визначення максимальної ймовірної величини горизонтальних люфтів [3];
- дослідження геометричних параметрів ободів та бандажів та термічного впливу гальмування на ширину колісної колії [4];
- дослідження факторів впливу на величину максимального розміру ширини рейкової колії [5];
- аналіз фактичних даних при відмові рейок безстикової колії [7];
- аналіз причин порушень безпеки руху на залізницях України [8];
- аналіз впливу ремонтних профілів на визначення максимальної ширини рейкової колії з урахуванням сил розпору [9];
- розробка процедури визначення максимальної ширини рейкової колії для умов складного плану та профілю [10];
- урахування досліджених факторів впливу в розробці процедури визначення максимальної ширини рейкової колії [11];
- дослідження впливу непогашених прискорень для певного рухомого складу на максимальну ширину рейкової колії [12];
- аналіз фактичного стану проміжних рейкових скріплень в залежності від вантажонапруженості ділянок колії [13].

Апробація результатів дисертації.

Основні положення та результати дисертаційних досліджень доповідались на наступних міжнародних науково-практичних конференціях:

- 67-й Міжнародній науково-практичній конференції Дніпропетровського інституту інженерів транспорту «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (м. Дніпропетровськ, 24.05-25.05.2007 р.);

-69-й Міжнародній науково-практичній конференції Дніпропетровського інституту інженерів транспорту «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (м. Дніпропетровськ, 21-22 травня 2009 р.);

- 78-й Міжнародній науково-технічній конференції «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті» (м. Харків, 26-28 жовтня 2016 р.);

- 6-й Міжнародній науково-технічній конференції Українського державного університету залізничного транспорту «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті» (м. Харків, 19-21 квітня 2017 р.);

- 80-й Міжнародній науково-технічній конференції «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті», (м. Харків, 24-26 квітня 2018);

- 7-й Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті» (м. Харків, 14-16 листопад 2018 р.).

Дисертаційна робота в повному обсязі доповідалась та обговорювалась на розширеному засіданні кафедри «Колія та колійне господарство» (ККГ) Українського державного університету залізничного транспорту (УкрДУЗТ) у січні 2021 р.

Публікації. Основний зміст дисертації, результати теоретичних, стендових та експериментальних досліджень в умовах експлуатації опубліковано в 6-ти друкованих наукових працях [1, 2, 4-7, 117], а також в 8-ми тезах доповідей на міжнародних науково-технічних та науково-практичних конференціях з яких 1 – у виданні, що індексується НМБД Scopus. Наукові праці [1, 2, 4, 5, 7, 117] опубліковано у виданнях України, які включено до переліку

фахових видань МОН України та 1 додаткова публікація.

Структура і обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, 4 розділів, основних висновків, списку використаних джерел із 131 найменувань на 14 сторінках, містить 153 сторінок основного тексту, 30 рисунків, 26 таблиць, 4 додатків.

До основного тексту дисертації відносять такі структурні частини дисертації: титульний аркуш, анотації, зміст, огляд літератури, основна частина, висновки, без урахування сторінок, що повністю зайняті рисунками, схемами або таблицями.

РОЗДІЛ 1

СУЧАСНІ НАУКОВІ ПІДХОДИ ДО ВИЗНАЧЕННЯ НАЙБІЛЬШОЇ БЕЗПЕЧНОЇ ШИРИНИ РЕЙКОВОЇ КОЛІЇ З ПРОМІЖНИМИ РЕЙКОВИМИ СКРІПЛЕННЯМИ РОЗДІЛЬНОГО ТИПУ НА ЗАЛІЗОБЕТОННІЙ ПІДРЕЙКОВІЙ ОСНОВІ

1.1 Огляд сучасного стану та коротка історична довідка досвіду попередніх дослідників з літературних джерел

Передумови до початку історії розвитку залізничного транспорту почалася ще за довго до появи рейок та залізничних коліс рухомого складу, коли з'явилось перше колесо та перші возики, які використовували для перевезень корисних копалин або вантажів для подальшого розвитку видобувної промисловості та розвитку торгівлі і зміцненню обороноздатності державних утворень в ті та інші часи існування людства. Та лише, коли існуючи обсяги перевезень вантажів не задовольняли потреби суспільства, з'являлись нові, більш прогресивні транспортні засоби перевезень, у тому числі і залізниці, як такі, що мають найбільші можливості для забезпечення максимальних обсягів перевезень при мінімальних енергетичних витратах на здійснення перевезень спочатку за допомогою парової тяги, а далі тепловозної та електричної, яка є найбільш перспективною і у сучасному світі. Та безпеці руху завжди приділяли найбільше уваги розробники як нових конструкцій залізничної колії так і нових конструкцій рухомого складу, саме цей фактор є пріоритетним у розробках нових засобів пересування як на земної поверхні так і під земною поверхнею. Першими такими засобами безпеки руху були на залізничному транспорті з гужовою тягою гребені коліс, які утримували колеса у колії та максимально забезпечували її стабільне положення на рейках. Однак науково-технічний прогрес вимагав не лише збільшення обсягів перевезень, а й збільшення швидкості перевезень не лише вантажів, а ще й пасажирів, що

вимагало у свою чергу створити умови для подальшої стабілізації положення рухомого складу за рахунок впровадження нових, конічних профілів поверхні кочення залізничних коліс, з відповідних нахилом у бік вісі колії рейок, який назвали підуклонкою, які було введено у 1898 році, розміром $1/20$, на дорадчому з'їзді інженерів служб колії Росії, та величину якої на залізницях світу приймають різною – від $1/10$ до $1/40$, зважаючи на конструктивні особливості як залізничної колії та параметрів її укладання, так і на конструктивні особливості ходових частин рухомого складу, який дуже відрізняє з погляду на країни світу, та теж має багато особливостей та розбіжностей. Та довгий час на усіх залізницях світу вважали небезпечною саме таку ширину колії, яка дорівнювала відстані між робочими гранями рейок у розрахунковій площині саме відстані від робочої грані гребеня, притиснутого до однієї рейки до початку фаски на зовнішньому колесі з зовнішнього боку другої рейки. Таке положення існувало до появи стрілочних перетинів, які через переривання рейкової нитки в зоні перекочування колеса з вусовика на осердя хрестовини вимагали зміни конічності поверхні кочення для забезпечення мінімального динамічного впливу колеса на рейку через зміну траєкторії опорної поверхні кочення по головці рейки. Так з'явилося колесо, поверхня кочення якого має дві конічні зони кочення, кожна з яких має своє призначення, перша – забезпечити найбільш плавний рух з мінімальними коливаннями екіпажу у плані, друга – забезпечення плавності руху при перетині хрестовин стрілочних переводів в вертикальній площині. При першій конструкції колії з дерев'яними шпалами, коли конструкція рухомого складу мала такі ж розміри коліс та їх насадки на вісь як і у теперішні часи, в тодішньому СРСР, з 1935 р. по 1995 р. в усіх правилах технічної експлуатації залізниць була встановлена найбільша небезпечна ширина рейкової колії – 1546 мм.

При цьому, головним критерієм вважалось недопущення спирання на рейку колеса конусністю $1:7$ замість $1:20$ [1]. За рахунок допуску на розширення (+6 мм), схема визначення небезпечної ширини колії була такою:

$$S_{max}^{неб} = S_{max-пров} + 6 \text{ мм}, \quad (1.1)$$

де $S_{max-пров}$ – небезпечна ширина колії, при якій можливий провал колеса з допуском 5 мм розташування меж конусності 1:7 та 1:20 до початку бокового закруглення головки рейки ($r_g = 13$ мм або з 1975 р. – $r_g = 15$ мм, згідно з ГОСТ 8161-75).

Починаючи з 1997 р. в ПТЕ Залізниць України керуючись принципом визначеним в формулі (1.1) при зміні плюсового допуску з +6 мм на +8 мм подібно до прийнятого рішення МШС затверджена в якості максимальної небезпечної ширини рейкової колії – 1548 мм. Та обидва рішення (1546 мм та 1548 мм) були прийняті на підставі помилкових уявлень [2, 3] про можливість існування одночасно мінімальної товщини гребеню (25 мм) з відстанню від краю колеса до меж конусності 1:7 та 1:20 – 30 мм (для вагонних коліс). Це перша помилка.

Другою помилкою є припущення, що пружне відтискання головки рейки не перевищуватиме $\varepsilon_s = 2,0$ мм, а зменшення ширини колісної пари за рахунок її вигину не перевищуватиме $\varepsilon_q = 2,0$ мм. Це, не зважаючи на коментарі ([2] на с. 16) величина ε_q може бути в межах 2-4 мм, а ε_s до 4-6 мм в кривих ділянках колії. Експериментальні дослідження, результати яких приведені в [4], свідчать, що при навантаженні від колеса на головку рейки $P = 10500$ кг та при боковому навантаженні $H = 6300-8100$ кГс, величина бокового пружного розширення колії становить 6,04 мм.

Дослідження [5] свідчать, що при натисненні на рейку одночасно двох коліс возика вантажного вагону може привести до пружного розширення колії до 16-18 мм, а при набіганні лише першою віссю до 10 мм.

Та починаючи з початку 1950-х років наукові розробки вчених наближали до появи нової, більш прогресивної конструкції колії – безстикової, яка на перших дослідних ділянках була досліджена саме на дерев'яних шпалах і мала багато обмежень по умовах укладання та експлуатації через недостатню стійкість проти втрати проектного положення в плані через температурні

поздовжні сили, які призводили до так званих температурних викидів колійної решітки, які створювали чималу небезпеку руху. Саме цей фактор відіграв головну роль у появі залізобетонних шпал та принципово нових засобів кріплення рейок до шпал, які дозволили створити сучасну конструкцію безстикової колії зі скріпленнями роздільного типу, які, у свою чергу, вимагають обов'язкового дотримання регламентних робіт із суцільного підкріплення клемних та закладних болтів, та викликали необхідність створення технічних засобів для виконання таких робіт як при ремонті, так і при поточному утриманні безстикової колії. У свою чергу недоліки жорстких прикріплювачів, які було виявлено на протязі майже 50-річного терміну спостережень спричинили розробки більш ефективних – пружних безболтових скріплень, які на сучасному етапі їх експлуатаційної перевірки мають свої недоліки, що полягають у неможливості регулювання рівня рейок шляхом укладання регулювальних прокладок під рейку, як це дозволяють проміжні рейкові скріплення типу КБ, в умовах засмічення щебеневого баласту та відсутності на ходових частинах рухомого складу вантажних вагонів гасителів горизонтальних коливань, які є на пасажирських вагонах та локомотивах – двоступінчасте ресорне підвішування, що при великій бічній жорсткості скріплень анкерного типу (КПП-1, КПП-5) сприяє більш інтенсивному порушенню проектного положення рейко-шпальної решітки в плані. На залізницях України майже 95 % від усього обсягу укладання та експлуатації безстикової колії укладають саме скріплення роздільного типу КБ, але жодного разу в науковій та технічній літературі не було розглянуто особливості впливу конструкції колії та рухомого складу на правила визначення небезпечної ширини колії. Вперше на це звернув увагу В.С. Лисюк у роботі [16], який провів кілька унікальних експериментів, результати яких полягають у наступному.

По-перше, на ділянках з залізобетонними шпалами та скріпленнями КБ, беззаперечно вважалось, що сходження коліс з рейок не можливе через розпирання колії внаслідок неможливості відриву внутрішньої кромки подошви

рейки від підкладки та його нахилу (розконтуровання). На таких ділянках при перевищенні допустимого бічного тиску коліс на рейки вважалось за можливе лише сходження через зсув рейко-шпальної решітки колесами возика або витиснення порожнього вагону внаслідок вкочування гребеню на головку рейки. Це ствердження стосується існуючого нормативного значення найбільшої небезпечної ширини колії – 1548 мм [27].

По-друге, на ділянках з дерев'яними шпалами і типовим костильним скріпленням при мало завантажених вагонах ($P_{cm} \leq 100$ кН/вісь), особливо при порожніх вагонах, сходження коліс з рейок через розпирання колії відбувається внаслідок нахилу рейки гребенями (відтиснення підшви не перевищує 1-1,5 мм при відтисненні головки 50-60 мм). При цьому, розпирання колії відбувається при значно менших (у 1,5-2 рази) силах бічної дії коліс, ніж сходження через зсув колійної решітки на ділянках з залізобетонними шпалами та оголеними торцями шпал. Чим менше навантаження вагона, тим вірогідніше сходження через розпирання колії. При навантажених до повного вичерпання вантажомісткості, вагонах опір розпиранню значно більший. Але експериментально для колії з залізобетонними шпалами до цього часу це досліджено не було, а лише висловлювались подібні ствердження без будь-яких якісних оцінок процесу.

У той же час В.С. Лисюк стверджував [16], що небезпечною для сучасних нормативів утримання колісних пар вагонів, шириною рейкової колії є величина, яка отримана виходячи з умови, що при мінімальній товщині гребеня – 25 мм, мінімальній відстані між внутрішніми гранями коліс – 1437 мм, та мінімальній ширині обода – 126 мм (допуск на звуження – 4 мм), сума цих складових, що відповідає найгіршим можливим умовам, тобто в прямій ділянці, де відсутні бічні сили, а колесо спирається фаскою на закруглення бічної грані рейки, становить 1588 мм. При ширині колії 1520 мм для забезпечення провалювання колеса розширення повинне складати $1588 - 1520 = 68$ мм.

У кривій ділянці при ширині колії 1540 мм таке розширення повинно сягати $1588 - 1540 = 48$ мм. Але як досліджено у роботі [17] при тривалому

гальмуванні відстань між внутрішніми гранями коліс через нагрівання внаслідок тертя гальмових колодок може зменшуватись на 9-10 мм. При чому після тривалого гальмування час охолодження колеса до попередніх температур може тривати кілька десятків хвилин, що суттєво знижує безпеку руху вагонів особливо при слідуванні по кривих ділянках з значним бічним зносом головки рейки та по стрілочним переводам на станціях. Якщо врахувати цю обставину, та ще й те, що в кривих ділянках, при наявності бічного зносу допускається ширина колії 15 мм [27], та ще й те, що тимчасово допускається мінімальна товщина гребеню – 23 мм, то критичне відтиснення головки рейки, за наявності якого може провалитися колесо складає: в кривих – 31 мм, в прямих – 56 мм, та як стверджував В.С. Лисюк – на ділянках з залізобетонними шпалами та скріпленнями типу КБ розпирання колії на вказані величини є неможливим. Якщо враховувати існуючий норматив найбільшої допустимої небезпечної ширини колії, яка встановлена у сучасній нормативній базі [27], то з цим можна погодитись, якщо не врахувати, що сам процес розпирання колії з одночасною дією бічної сили по зовнішній рейці та додатковими бічними силами на обидві рейки, що виникають при спиранні на головку рейки конічної частини поверхні кочення, яка в новій нормативній базі, що була розроблена під час розробки заходів по подоланню наслідків над інтенсивного бічного зносу гребенів та головки рейок, так звані ремонтні профілі, та ще й наявність люфтів, що виникають у вузлах проміжних рейкових скріплень внаслідок зносу та корозійних пошкоджень. Але вказані фактори не враховувати не можна, та у останні 50 років в науковій літературі відсутні будь-які відомості про дослідження небезпечної величини ширини колії для безстикової колії з проміжними рейковими скріпленнями на залізобетонних шпалах, а в усіх нормативних документах Укрзалізниці та залізничних відомствах країн СНД існує лише єдиний норматив – 1548 мм, розроблений з багатьма принциповими помилками системного характеру для колії з дерев'яними шпалами через відсутність об'єктивного врахування усіх факторів впливу, які відомі з багаторічної практики експлуатації безстикової колії з залізобетонними

шпалами та проміжними рейковими скріпленнями роздільного типу.

Найбільші розбіжності в сучасній науковій літературі стосуються визначенню величин пружного бічного відтиснення головки рейки при дії бічних сил від рухомого складу. Так, наприклад, у підручнику М.А. Чернишова [12] вказано на величину – 2 мм, у підручнику Г.М. Шахунянца [11] це становить 2-6 мм та більше (не вказано скільки), в підручнику В.Я. Шульги [29] це 7-8 мм. У багаточисельних наукових працях теж приведено дуже відмінні дані, які не прив'язано ні до колісних навантажень, ні до параметрів, що визначають рівень бічних сил що діють на рейки [10-15, 29, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 46, 47, 49], через які важко спрогнозувати будь-яку поведінку колії при дії рухомого складу, та визначити будь-який достовірний алгоритм вирішення завдання з визначення достовірного значення небезпечної ширини рейкової колії, яку необхідно призначати з урахуванням усіх відомих факторів впливу, та виходячи з цього, мати визначений науковий підхід до вирішення подібних задач при більш прогресивних пружних конструкціях рейкових скріплень в безстиковій колії з залізобетонними або полімерними підрейковими основами в умовах застосування нових ремонтних та експлуатаційних профілів коліс рухомого складу, які з кожним роком з'являються на залізницях України з метою покращення умов взаємодії рухомого складу з залізничною колією.

1.2 Сучасні підходи до визначення значення норми небезпечної ширини рейкової колії

Існуюча норма величини максимальної небезпечної ширини рейкової колії, яка первісно була визначена для конструкції колії з костильним рейковим проміжним скріпленням на дерев'яних шпалах Г.М. Шахунянцем [11] становила 1540 мм без прийняття спеціальних заходів для запобігання провалу коліс, яка була визначена для локомотивної колісної пари при мінімальній товщині гребеню – 25 мм, мінімальній насадці коліс – 1437 мм, нормативній ширині ободу, та величині пружного зменшення ширини колісної колії за

рахунок вигину вісі – на 2 мм, та відтисканню головки рейки на 8 мм, при горизонтальній проекції закруглення робочої грані головки рейки – 12 мм (радіус = 15 мм), коли точка переходу конічності коліс 1/20 в 1/7 співпадає з початком закруглення головки рейки (радіусом 15 мм), а саме:

$$(S_{неб})_{лок} = 25 + 1437 + 140 - 40 - 12 - 8 - 2 = 1540 \text{ мм} \quad (1.2)$$

Для вагонів, при величині пружного зменшення ширини колісної колії за рахунок вигину вісі – на 4 мм та відтисненні головки рейки на 6 мм, відповідно

$$(S_{неб})_{ваг} = 25 + 1437 + 130 - 30 - 12 - 6 - 4 = 1541 \text{ мм} \quad (1.3)$$

Та, враховуючи величину допусків на розширення колії при поточному утриманні колії +6 мм (ПТЕ, до 1996 р) далі, без урахування попередження про обов'язкове застосування спеціальних заходів (контррейок та стягувачів) приймають в якості небезпечної ширини рейкової колії в якості експлуатаційної норми колію – 1546 мм, додавши ще 6 мм, замість їх видалення, на урахування саме плюсового допуску. Далі, після 1996 року було змінено норму плюсового допуску на улаштування та утримання ширини рейкової колії до 8 мм, що автоматично збільшило, без будь-яких спеціальних заходів небезпечну ширину рейкової колії до 1548 мм, яка стала нормою для усіх, без винятку, ділянок, не зважаючи на конструкцію скріплень та шпал. Крім того, не було враховано мінусовий допуск на виготовлення ширини ободу – 4 мм, та температурних деформацій коліс при службовому гальмуванні – до 10 мм в бік зменшення ширини колісної колії. Таким чином, в супереч самого сенсу плюсового допуску, було запроваджено існуючу на даний період часу норму небезпечної ширини рейкової колії.

В сучасній конструкції безстикової колії з проміжними рейковими скріпленнями роздільного типу з жорсткими клемами досліджено багатьма вченими та спеціалістами нормативно-дослідницькими станціями як часів СРСР, так і часів СНД явище фізичного зменшення початкових монтажних

зусиль натягіння клемних та закладних болтів, що викликає з часом послаблення притиснення рейки до шпал і до збільшення пружних бічних відтиснень головки рейки від дії бічних сил в кривих ділянках колії [42, 43, 44, 46, 47, 48, 58, 59, 60, 61, 63, 66, 68, 69]. Але через відсутність єдиної методики виконання контролю зусиль натягіння гайок клемних та закладних болтів, та визначення деталізації експлуатаційних умов на тих ділянках безстикової колії, де були виконані вимірювання за допомогою динамометричних приладів, отримані багатьма дослідниками результати мають дуже великі розбіжності і в багатьох випадках не можуть бути використані у наукових дослідженнях, особливо таких, де треба визначати найбільші несприятливі умови щодо розширення колії за рахунок таких бічних відтиснень, які можуть спостерігатись в процесі експлуатації колії, на якій виконують встановлені нормами терміни суцільно підкріплення гайок механізованими засобами (ручними гайковертами або машинами КМГ).

Тривалий час, провідні спеціалісти ВНДІЗТ, та вчені транспортних вузів, які проводили чисельні дослідження отримували надто завищені дані про поточний стан зусиль притиснення рейок до шпал через використання відомої залежності зусиль притиснення від крутного моменту, що прикладають до рукоятки ключа, яку Г.М. Шахунянц запропонував для визначення зусиль притиснення стикових болтів [51]. Як відомо, в стиках відсутні пружні елементи-прокладки в болтовому з'єднанні, тому запропонована методика використання такої залежності було виправдано, але у проміжних рейкових скріпленнях роздільного типу для зниження вертикальної та бічної жорсткості колії використовують пружні прокладки, тому необхідно це було враховувати. На це звернув увагу О.І. Белорусов у роботі [50], який теоретично та експериментально довів необхідність урахування зазначеної особливості проміжних скріплень згідно до методики В.М. Лященко [52], що знайшло підтвердження у роботах [53, 54]. Отримані на підставі запропонованої методики достовірні залежності поточних зусиль притиснення рейок клемними та закладними болтами стали підставою для дослідження автором

дисертаційної роботи таких їх значень, які мають місце перед виконанням наступного чергового суцільного підкріплення зусиль клемних та закладних болтів, тобто найбільш несприятливих з погляду на визначення найбільших бічних відтиснень головки рейкової нитки під впливом вертикальних та бічних сил.

Не зважаючи на відсутність достатньо обґрунтованих теоретичних підстав щодо визначення найбільшої небезпечної ширини рейкової колії для найбільш розповсюдженої сучасної конструкції безстикової колії з залізобетонними шпалами та роздільними проміжними рейковими скріпленнями типу КБ окрім тих, що стосуються конструкції колії на дерев'яних шпалах з костильним кріпленням, в сучасній науково-технічній та навчальній літературі [11, 12, 31] наголошується на ті ж умови, які притаманні саме застосуванню дерев'яних шпал – «у всіх випадках для запобігання спирання колеса на рейку конічністю $1/7$ замість $1/20$ ширина колії у кривій ділянці, без застосування спеціальних заходів не повинна бути більше 1546 мм (при плюсовому допуску +6 мм), а при впровадженні у 1995 році нового допуску +8 мм – 1548 мм. Таким чином, будь-яких принципових змін в правилах визначення найбільш небезпечної ширини рейкової колії за останні більш ніж 60 років, не зважаючи на суттєві зміни в конструкції залізничної колії та норм її утримання та улаштування, при впровадженні нових експлуатаційних та ремонтних профілів коліс рухомого складу, не відбулось.

1.3 Аналіз причин порушень безпеки руху в поїзній та маневровій роботі, допущених в колійному господарстві залізниць України, що пов'язані з розширенням колії

В залізничній колії, ще на початку її створення у сучасному вигляді було передбачено, що для забезпечення стабільності ширини колії необхідно розташовувати шпали поперек вісі колії та забезпечити їх достатнє притиснення до рейок. Лише після того, як виникли перші ознаки зміни ширини колії в

процесі її експлуатації, які відбувались через появу залишкових деформацій в елементах рейко-шпальної решітки, виникла необхідність в організації догляду за колією та створення бригад з поточного утримання колії, тобто виникла галузь, яка називається колійним господарством. Та коли трапились перші сходи коліс рухомого складу з колії були запроваджені перші нормативи утримання колії, серед яких були як допуски, так і норми з максимальної та мінімальної ширини колії, які з часом удосконалювались та були основою для визначення причин тих чи інших порушень безпеки руху поїздів.

Починаючи з 2000 року в Укрзалізниці видаються головним управлінням безпеки руху та екології тематичні збірки «Аналіз стану безпеки руху на залізницях України», в яких наведено ретельний аналіз по усіх господарствах, який детально проаналізовано по причинах та видах порушень. На підставі саме таких збірок виконано аналіз причин, що спричинили сходи рухомого складу через розширення колії та інші порушення, що мають тісний зв'язок з розширенням колії, а саме угон рейкових плітей та кушова гнилість шпал. Звичайно в колії із залізобетонними шпалами відбуваються не гнилісні процеси, а корозійні та зношувальні, які мають досить впливовий характер на появу люфтів та залишкових деформацій та в остаточному рахунку на ширину колії. Це дуже важливо через ту обставину, що на станційних коліях, як правило, використовують старопридатні матеріали верхньої будови колії, а допуски на розширення колії найбільші(+10 мм),що дещо протирічить динаміці взаємодії рухомого складу з колією, яка, як відомо, показує, що при малих швидкостях руху (до 50 км/год), особливо при гальмуванні, виникають найбільші поздовжні сили, які викликають і найбільші бічне відтиснення головки рейки. Саме через цю обставину на станційних коліях виникає найбільша кількість порушень безпеки руху в наслідок провалу колісних пар через розширення колії при маневрах, яка складає до 40 % від загальної кількості усіх порушень.

У 2004 році [19], при загальній кількості порушень у вантажному русі – 11, через причини, пов'язані з розширенням колії було скоєно – 5 випадків, або

45 %, з яких 4 випадки порушень сталися безпосередньо через розширення колії, а один – через кушову непридатність дерев'яних шпал.

Схід рухомого складу при маневрах через кушову непридатність дерев'яних шпал мав місце у 16 випадках, в той час, коли через розширення колії – 22 випадки, у тому числі на Донецькій, Одеській та Придніпровській залізницях відповідно – по 5 випадків, на Львівській – три, на Південній та Південно-Західній по 2 випадки.

У 2004 році почала збільшуватись кількість кілометрів безстикової колії, схильної до уgonу з 23 км у 2003 році до 56 км у 2004 році, що свідчить про недосконалість як самої системи контролю за станом рейкових плітей, так и про недосконалість самої системи призначення чергових суцільних підкріплень клемних та закладних болтів, яка не враховує чимало експлуатаційних факторів впливу. Якщо рейкові пліті погано закріплені, то це сприяє появі збільшених бічних відтиснень рейок під дію рухомого складу, які ніяким чином не враховуються сучасною методикою визначення небезпечного значення максимальної ширини рейкової колії.

У 2005 році [20] при загальній кількості порушень у вантажному русі – 9 випадків, через порушення, у тому числі, пов'язані з розширенням колії – одне, через кушову непридатність шпал – одне. Схід рухомого складу при маневрах усього – 35 випадків, у тому числі, через кушову непридатність шпал – 12 випадків, через розширення колії – 7 випадків, більшість з яких сталося на Львівській залізниці – три, а на інших (крім Південної) – по одному. Взагалі, через кушову непридатність дерев'яних шпал у 2005 році трапилось 25 транспортних подій, з них чотири – серйозні інциденти. Значно зросла сама кількість кущів непридатних шпал. У 2005 році значно зросла кількість кілометрів безстикової колії, схильної до уgonу з 56 км до 768 км. Найбільша протяжність такої колії (50 %) на Південно-Західній залізниці.

У 2006 році [21] при загальній кількості порушень у вантажному русі – 13 випадків, через порушення, у тому числі, пов'язані з розширенням колії – два, через кушову непридатність шпал – одне. Схід рухомого складу при маневрах

усього – 40 випадків, у тому числі, через кушову непридатність шпал – 7 випадків, більшість з яких трапилась на Донецькій залізниці – 3 випадки, та по одному на інших залізницях, окрім Південної. Через розширення колії сталося 12 випадків сходу рухомого складу вантажних вагонів. Крім того, через розширення колії було закриття колії – 3 випадки, з яких два мали місце на Придніпровській залізниці та один – на Львівській. Майже 640 км безстикової колії експлуатується з ознаками угону рейкових плітей.

У 2007 році [22] при загальній кількості порушень у вантажному русі – 14 випадків, через порушення, у тому числі, пов'язані з розширенням колії – 5 випадків. З яких два випадки з розкатування рейки сталося через кушову непридатність шпал. Через розширення колії сталося 32 випадки сходу вантажних вагонів при маневрах, при загальній кількості – 56 сходів (61 %), у тому числі, через кушову непридатність шпал – 16 випадків (з урахуванням випадку розкатування). Крім того, мали місце 3 закриття колії через розширення колії, один на Львівській залізниці та два на Південно-Західній залізниці.

Значно збільшено кількість кілометрів з кушовою непридатністю шпал – 4067 км.

Ознаки угону рейкових плітей з'явилися на цілих напрямках руху поїздів: Фастів-Миронівка, Фастів-Козятин, Козятин-Шепетівка Південно-Західної залізниці; Дебальцево-Довжанська, Донецьк-Маріуполь Донецької залізниці; Красне-Тернопіль Львівської залізниці; Помічна-Волинська, Знам'янка-П'ятихатки Одеської залізниці.

У 2008 році [23] при загальній кількості порушень у вантажному русі – 10 випадків, через порушення, у тому числі, пов'язаних з розширенням колії – 2 випадки. При маневрах через розширення колії сталося 22 випадки з загальної кількості – 36 (61 %). Крім того, мав місце один випадок з закриття колії через розширення на Придніпровській залізниці.

З кушовою непридатністю експлуатувалося 2155 км колії, а кількість серйозних інцидентів, що допущено через це – 2 випадки у вантажних поїздах.

З угоном рейкових плітей експлуатувалася безстикова колія на перегонах Байрак-Горлівка, Штерівка-Фащівка Донецької залізниці; Раухівка-Сербка, Сербка-Буялик Одеської залізниці; Вишневе-Боярка, Боярка-Васильків Південно-Західної залізниці.

У 2009 році [24] при загальній кількості порушень у вантажному русі – 7 випадків, через розширення колії сталося два випадки. При маневрах, при загальній кількості порушень – 37, через розширення колії сталося 27 випадків (73 %), у тому числі через кушову непридатність шпал – 10 випадків. Загальна протяжність ділянок з кушовою непридатністю шпал складала – 3019 км.

З угоном рейкових плітей експлуатувалася безстикова колія на перегонах Штерівка-Петровеньки, Петровеньки-Фащівка Донецької залізниці; Ширець-Миколаїв, Глибочок Великий-Озерна, Озерна-Зборів Львівської залізниці; Олександрія-Королівка, Шастаківка-Плетений Ташлик, Слобідка-Борщі, Раухівка-Сербка, Сербка-Буялик Одеської залізниці; Потоки-Кременчук, Старовірівка-Прокопівка Південної залізниці; Письменна-Роздори Придніпровської залізниці.

За 9 місяців 2010 року [25] при загальній кількості сходів у вантажних поїздах – 4, лише через розширення колії та окантування рейок сталося два випадки, по одному на Донецькій та Південно-Західній залізницях. При маневрах з 18 випадків сходів (39 % від загальної кількості) лише через розширення колії сталося – 5 випадків та через розкантування рейок – один, та закриття колії ПС (інц), через розширення до 1549 мм – один випадок на Південно-Західній залізниці.

У 2011 році [26] при загальній кількості сходів рухомого складу у пасажирському русі – два випадки, обидва сталися через розширення колії, а у вантажному русі – 8 випадків (крім тих, що сталися під час виконання маневрів), серед яких три сталися через розширення колії. При виконанні маневрів загальна кількість сходів вантажних поїздів склала – 34 випадки (41 % від загальної кількості сходів), з яких через кушову непридатність сталося 8 випадків (6 – на Одеській залізниці), а через розширення колії – 5 випадків (усі

на Донецькій залізниці).

Саме у 2011 році вперше на полігоні безстикової колії зі скріпленнями типу КПП-5 через погіршення контролю за якістю продукції стався угон рейкових плітей на перегонах Байрак-Горлівка, Асланове-Сартана Донецької залізниці; Канатове-Трепівка, Горожене-Янкіне, Згода-Новоданилівка, Чорноліське-Цибулеве, Райгород-Шевченко Одеської залізниці.

У 2012 році допущено 92 транспортних події, що на 20 подій менше, ніж у 2011 році. Збільшено їх кількість на Львівській залізниці з 10 до 11 та на ДП УЦМКР з 1 до 2. Допущено 6 серйозних інцидентів-сходжень рухомого складу у вантажних і пасажирських поїздах. У господарстві збільшено з 34 до 37 (40 % від загальної кількості) сходжень рухомого складу при маневрах. Їх кількість збільшено на Донецькій залізниці з 8 до 14, Львівській – з 3 до 4, Південній – з 1 до 2 і Придніпровській – з 2 до 5 випадків. 26 сходжень рухомого складу, або 70 % допущено через незадовільне утримання кривих ділянок колії.

Найбільше сходжень рухомого складу при маневрах допущено на станціях ім. Кашпарова Донецької залізниці і Знам'янка Одеської залізниці, де колійне господарстві у незадовільному стані. Головною причиною сходжень при маневрах є розпирання колії – 11. Майже 67 % транспортних подій у господарстві або 62 випадки допущено через незадовільне поточне утримання колії. У порівнянні з 2011 роком погіршився стан із забезпеченням безпеки руху поїздів у колійному господарстві Львівської залізниці. На цій залізниці збільшено загальну кількість транспортних подій з 10 до 11, сходження рухомого складу при маневрах з 3 до 4. На всій протяжності залізниць начальниками колієвимірювальних вагонів було виявлено 63 відступи від норм утримання, через які швидкість руху поїздів було обмежено до 15 км/год. і 36 відступів, через які рух було закрито. Головною причиною сходжень при маневрах є розпирання колії – 11.

На всій протяжності залізниць начальниками колієвимірювальних вагонів було виявлено 63 відступи від норм утримання, через які швидкість руху

поїздів було обмежено до 15 км/год. і 36 відступів, через які рух було закрито. Найбільше відступів – 55 виявлено через перекоси, просідання та відхилення у плані. 20 відступів виявлено через понаднормативний ухил відводу підвищення у перехідних кривих і 21 відступ – через розширення та звуження колії. Найбільше таких відступів – 57, або 59 % виявлено на Придніпровській залізниці. На Південно-Західній та Одеській залізницях виявлено відповідно 18 та 12 таких відступів.

У 2013 році [96] допущено 84 транспортних події, що на 8 подій менше, ніж у 2012 році. Збільшено їх кількість на Донецькій залізниці з 21 до 22 та на ДП УПП з 1 до 2. Найбільше інцидентів допущено через сходження рухомого складу при маневрах – 30 або 35 %. Головною причиною сходжень при маневрах є розпирання колії – 17. Майже 80 % транспортних подій у господарстві або 68 випадків допущено через незадовільне поточне утримання колії. У порівнянні з 2012 роком погіршився стан із забезпеченням безпеки руху поїздів у колійному господарстві Донецької залізниці. На цій залізниці збільшена загальна кількість транспортних подій з 21 до 22, кількість сходжень рухомого складу при маневрах з 14 до 15.

У поточному році на залізницях допущено 4336 км з незадовільною баловою оцінкою, з них 812 км з повторенням такої оцінки по 2 і більше місяців підряд. Найбільше кілометрів з незадовільною баловою оцінкою допущено на Донецькій залізниці – 1314 км та Придніпровській залізниці – 1003 км. Крім цього, допущено 7754 випадків обмежень швидкості руху поїздів за заявками начальників колієвимірвальних вагонів, з них 28 випадків до 15 км/год. Збільшено кількість обмежень швидкостей руху поїздів на Донецькій залізниці з 2264 до 2464. У господарстві збільшена з 401 до 404 випадки повторень обмежень швидкостей руху за заявками начальників колієвимірвальних вагонів. Їх кількість збільшено на Львівській залізниці з 12 до 15, Придніпровській – з 74 до 129. На всій протяжності залізниць начальниками колієвимірвальних вагонів було виявлено 28 відступів від норм утримання, через які швидкість руху поїздів було обмежено до 15 км/год. і 4 відступи,

через які рух було закрито. Найбільше відступів виявлено на Південно-Західній залізниці – 12 та Донецькій – 9. 05 березня 2013 року на станції Оброшин Львівської залізниці на стрілочному з'їзді між стрілочними переводами № 1 і № 3 допущено серйозний інцидент – сходження з рейок вагона у вантажному поїзді. Причина сходження - перекочування гребеня колеса через головку рейки у місці відхилення колії у плані.

У найгіршому стані безстикова колія на перегонах Перехрестове-Затишшя, Роздільна-Єрмеївка, Кремидівка-Чорноморська, Кремидівка-Куліндорове Одеської залізниці, Ківерці-Олика, Ківерці-Луцьк, Любомиль-Ягодин, Есень-Батьове Львівської залізниці, Занки-Шебелинка, Радьківські Піски-Переддонбасівська Південної залізниці, Рахни-Ярошенка Південно-Західної залізниці, Прольотна-Острякльве, Єфремівна-Елеваторна, Острякове-Євпаторія Придніпровської залізниці. У 2013 р. сходження рухомого складу з рейок у вантажній поїзній роботі (серйозний інцидент) через розпирання рейок – 1 (Південно-західна залізниця). Сходження з рейок рухомого складу при маневровій роботі через розпирання колії – 17 (Донецька залізниця – 12, Львівська залізниця – 3, Одеська залізниця – 1, Південно-західна залізниця – 1).

По даним Укрзалізниці у 2014 році [97] у колійному господарстві експлуатується 7382,7 км колії з простроченим терміном модернізації та капітального ремонту, що становить майже 25 % від усієї довжини головних колій на Укрзалізниці. У 2014 році допущено 89 транспортних подій, що на 5 подій більше, ніж у 2013 році. Збільшено їх кількість на Донецькій залізниці з 22 до 29, Одеській залізниці з 14 до 22.

У 2014 році чимало інцидентів допущено через сходження рухомого складу при маневрах – 16 або 18 % від загальної кількості. Найбільше сходжень допущено на Львівській – 4, Одеській – 4 та Придніпровській – 3 залізницях. У 12 випадках причиною сходжень були відступи в утриманні кривих ділянок, що призвело до розпирання та провалу коліс в середину колії. Такі випадки було допущено на станціях Миколаїв, Канатове, Котовськ Одеської залізниці, Дніпропетровськ, Запоріжжя Придніпровської залізниці, Жмеринка Південно-

Західної залізниці. Це свідчить про неякісні огляди колії керівниками дистанцій колії.

Головною причиною сходжень рухомого складу при маневрах є розпирання колії – 9. Майже 47 % транспортних подій у господарстві або 42 випадки допущено через незадовільне поточне утримання колії. У господарстві збільшено з 5 до 9 кількість серйозних інцидентів – сходжень рухомого складу у пасажирських та вантажних поїздах. 09 листопада 2014 року на перегоні Ясиня-Рахів Львівської залізниці у кривій ділянці колії сталося сходження з рейок 2 вагонів пасажирського поїзда № 458 сполученням Рахів-Київ. Причина сходження – розпирання колії через непридатність дерев'яних шпал. Подібний випадок стався 30 жовтня 2014 року на перегоні Борщів-Іване-Пусте цієї ж залізниці, де через непридатність дерев'яних шпал допущено сходження вагона у дизель-поїзді. Через розпирання колії сходження рухомого складу у вантажних поїздах було допущено на станціях Луганськ та Донецьк – Північний Донецької залізниці.

По даним 2015 року [98] у колійному господарстві експлуатується 8311,3 км колії з простроченим терміном модернізації та капітального ремонту, що становить майже 26 % від усієї довжини головних колій на ПАТ «Українська залізниця». У господарстві допущено 16 сходжень рухомого складу при маневрах.

Найбільше сходжень допущено на регіональних філіях «Донецька залізниця» – 4, «Південно-Західна залізниця» – 3 та «Придніпровська залізниця» – 3. У 8 випадках причиною сходжень були відступи в утриманні кривих ділянок, що призвело до розпирання та провалу коліс в середину колії. Такі випадки було допущено на станціях Красний Лиман, Іловайськ регіональної філії «Донецька залізниця», Підгородня, Іллічівськ регіональної філії «Одеська залізниця», Київ-Петрівка регіональної філії «Південно-Західна залізниця». Майже 87 % транспортних подій у господарстві або 52 випадки допущено через незадовільне поточне утримання колії.

У найгіршому стані безстикова колія на перегонах Дубове-Близнюки,

Лозова-Близнюки, Дубове-Гаврилівка, Шидловська-Бантишеве, Дружківка-Кіндратівка, Камиш Зоря-Розівка, Розівка-Зачатівська, Зачатівська-Хлібодарівка регіональної філії «Донецька залізниця», Бердичів-Михайленки регіональної філії «Південно-Західна залізниця», Коробочкіне-Чугуїв, Старовірівка-Прокопівка регіональної філії «Південна залізниця», Плавні-Таврійськ регіональної філії «Придніпровська залізниця».

Керівниками господарства у 2015 році не вжито достатніх заходів щодо встановлення причин низької якості усунення відступів 4 та 5 ступенів, виявлених начальниками колієвимірювальних вагонів. Це призвело збільшення випадків обмежень швидкості руху поїздів за заявками начальників колієвимірювальних вагонів у одному і тому ж місці. За результатами аналізу цей недолік постійно має місце на Волноваській, Підзамчеській, Долинській, Купянськ Вузловій, Фастівській, Синельниковській дистанціях колії.

У 2016 році [99] найбільше інцидентів допущено через сходження рухомого складу при маневрах – 12 випадків або 26 %, не огороження місць робіт або невідача попереджень на поїзди – 9 або 19 % від загальної кількості. Головною причиною сходжень при маневрах було розпирання колії – 9, причина невідачі попереджень – незадовільна організація робіт. Найбільше сходжень допущено на регіональних філіях «Донецька залізниця» – 6, «Південно-Західна залізниця» – 3. У 9 випадках причиною сходжень були відступи в утриманні кривих ділянок, що призвело до розпирання та провалу коліс в середину колії. Такі випадки було допущено на станціях Красний Лиман, Кальчик регіональної філії «Донецька залізниця», Гречани, Київ-Пасажирський, Шепетівка регіональної філії «Південно-Західна залізниця».

У господарстві експлуатується 7311,66 км колії з простроченим терміном модернізації та капітального ремонту, що становить майже 25 % від усієї довжини головних колій на ПАТ «Українська залізниця». У найгіршому стані безстикова колія на перегонах Красноармійськ-Родинська, Селідівка-Красноармійськ, Курахівка-Цукуріха, Красноармійськ-Удачна регіональної філії «Донецька залізниця», Ківерці-Олика, Ківерці-Луцьк регіональної філії

«Львівська залізниця», Первомайськ-Південне-Гроза, Шевченкове-Південне-Гракове, Старовірівка-Гроза регіональної філії «Південна залізниця», Комарівці-Жмеринка, Острог-Могиляни, Разіне-Печанівка регіональної філії «Південно-Західна залізниця», Кудашівка-Божедарівка регіональної філії «Придніпровська залізниця, на напрямку Котовськ-Первомайськ регіональної філії «Одеська залізниця».

У 2017 році [100] найбільше інцидентів допущено через сходження рухомого складу при маневрах – 21 випадок або 52 % від загальної кількості. Головною причиною сходжень при маневрах було розпирання колії – 12.

Найбільше сходжень допущено на регіональних філіях «Одеська залізниця» – 6, «Придніпровська залізниця» – 5. У 12 випадках причиною сходжень були відступи в утриманні кривих ділянок, що призвело до розпирання та провалу коліс в середину колії. Сходження з цієї причини допущено на станціях Сахарна, Знам'янка, Жовтнева регіональної філії «Одеська залізниця», Дніпро, Нельгівка, Ніжньодніпровськ Вузол, Запоріжжя-1 регіональної філії «Придніпровська залізниця», Зернове, Війтівці, Дарниця регіональної філії «Південно-Західна залізниця», Любомль, Тернопіль регіональної філії «Львівська залізниця». Це свідчить про неякісні огляди колії керівниками дистанцій колії.

У господарстві допущено збільшення з 2 до 5 кількості серйозних інцидентів-сходжень рухомого складу у вантажних поїздах. Головна причина цього – вкочування гребенів коліс рухомого складу між притиснутим гостряком і рамною рейкою на стрілочних переводах. Такі випадки допущено на станціях Жмеринка регіональної філії «Південно-Західна залізниця» Синельникове-2 та Горяїнове регіональної філії «Придніпровська залізниця».

Гірше за інших забезпечували безпеку руху дистанції колії: Синельниківська, Дніпровська регіональної філії «Придніпровська залізниця», Жмеринська регіональної філії «Південно-Західна залізниця», Волноваська регіональної філії «Донецька залізниця», де допущено серйозні інциденти-сходження рухомого складу у вантажних поїздах та Краснолиманська

регіональної філії «Донецька залізниця», Київська регіональної філії «Південно-Західна залізниця», Миколаївська, Знам'янська регіональної філії «Одеська залізниця», де допущено найбільшу кількість транспортних подій.

У господарстві експлуатується 8300 км колії з простроченим терміном модернізації та капітального ремонту, що становить майже 28 % від усієї довжини головних колій на ПАТ «Українська залізниця». У 2017 році відремонтовано 407 км або 4,9 % від усієї кількості кілометрів з простроченим терміном модернізації та капітального ремонту, що на 109,9 км менше, аніж у 2016 році.

У найгіршому стані безстикова колія на перегонах Есхар-Чугуїв, Радківські Піски-Рубці регіональної філії «Південна залізниця», Щирець-Миколаїв Ківерці-Олика, Ківерці-Луцьк, Турійськ-Люблінець регіональної філії «Львівська залізниця», Карапиші-Миронівка, Фастів-2-Устимівка, Роток-Сухоліси, Попільня-Кожанка, Гулівці-Голендри, Браїлів-Гнівани, Комарівці-Сербинівці регіональної філії «Південно-Західна залізниця», Кудашівка-Божедарівка, регіональної філії «Придніпровська залізниця, Користівка-Пантаївка, Кремидівка-Куліндорове, Мардарівка-Перехрестове регіональної філії «Одеська залізниця», Карань-Кальчик регіональної філії «Донецька залізниця».

У 2018 році [101] найбільше інцидентів допущено через сходження рухомого складу при маневрах – 17 випадків або 50 % від загальної кількості. Головною причиною сходжень при маневрах було розпирання колії – 6 випадків. Найбільше сходжень допущено на регіональних філіях «Одеська залізниця» – 4. У 7 випадках причиною сходжень були відступи в утриманні кривих ділянок, що призвело до розпирання рейкової колії та провалу коліс в середину колії. Сходження з цієї причини допущено на станціях Лавочне, Чоп, Ужгород регіональної філії «Львівська залізниця», Запоріжжя-Вантажне регіональної філії «Придніпровська залізниця», Знам'янка регіональної філії «Одеська залізниця», Шпичкине регіональної філії «Донецька залізниця».

У господарстві допущено збільшення з 5 до 6 кількість серйозних

інцидентів-сходжень рухомого складу у вантажних поїздах. Головна причина цього – розпирання колії. Такі випадки допущено на станціях Соля регіональної філії «Львівська залізниця, Лиман регіональної філії «Донецька залізниця», Пологи регіональної філії «Придніпровська залізниця», Березівка регіональної філії «Одеська залізниця». У господарстві експлуатується 8998 км колії з простроченим терміном модернізації та капітального ремонту, що становить майже 31 % від усієї довжини головних колій на АТ «Українська залізниця».

У найгіршому стані безстикова колія на перегонах Ківерці-Олика, Ківерці-Луцьк, Турійськ-Люблінєць, Коломия-Завалля, Люблінєць-Ягодин, Підволочиськ-Максимівка, Мілячі-Удрицьк, Стрільськ-Дубровиця, Більче-Стрий регіональної філії «Львівська залізниця», Карапиші-Миронівка, Фастів-2-Устимівка, Роток-Сухоліси, Попільня-Кожанка, Гулівці-Голендри, Браїлів-Гнівіль, Комарівці-Сербинівці регіональної філії «Південно-Західна залізниця», Кривий Ріг-Кривий Ріг Західний регіональної філії «Придніпровська залізниця, Перехрестове-Затишшя, Жерабкове-Заплази, Турлузи-Калініндорф, Чорноморськ-Кремидівка, Сербка-Раухівка, Миронівка-Таганча регіональної філії «Одеська залізниця», Роя-Цукуріха, Зачатівська – роз'їзд 393 км, роз'їзд 393 км – Хлібодарівка регіональної філії «Донецька залізниця».

Таким чином, як показує огляд транспортних подій, щодо порушення безпеки руху, можна зробити висновок, що головною причиною є розширення колії та, при наявності досконалих засобів контролю ширини рейкової колії, неможливо попередити ці події профілактично або на різних за експлуатаційними характеристиками ділянках, де обертаються різноманітні локомотиви та однаковий рухомий склад з вагонного парку, треба індивідуально призначати небезпечні значення максимальної ширини рейкової колії, які повинні враховувати усі можливі індивідуальні експлуатаційні особливості ділянок залізничної колії, враховуючи також напрацювання перевезеного тоннажу.

1.4 Визначення факторів впливу на небезпечний розмір ширини рейкової колії

1.4.1 Визначення факторів впливу при традиційних профілях коліс рухомого складу

В науковій практиці через складність проведення експериментальних досліджень впливу вертикальних та горизонтальних навантажень на рейкову нитку на рівень бічних відтиснень головки рейкової нитки в різні часи було проведено поодинокі дослідження в колії на дерев'яних шпалах [40, 41], які автор даної роботи апроксимував у наступному вигляді аналітичної залежності, яка, на думку багатьох спеціалістів того часу (60-ті, 70-ті роки минулого століття), коли поширювалось розповсюдження безстикової колії на залізобетонних шпалах з різними варіантами проміжних рейкових скріплень (К-2, КБ, ЖБР), через відсутність достатньої інформації про їх роботу у колії, вважали, що суттєвої різниці у результатах для дерев'яних та залізобетонних шпал немає, тому вважали за доцільне використовувати їх як універсальні.

Дослідження [6] свідчать, що величина пружного відтискання головки рейки типу Р65 добре апроксимується залежністю, яку автор даної дисертаційної роботи визначив у наступному вигляді:

$$\varepsilon_s = \left(11.5 + 8.75 \cdot 10^{-4} \cdot P_{\sigma} \right) \cdot Y_{\sigma} / 20000 \quad (1.4)$$

де P_{σ} – вертикальне навантаження коліс на рейку, кгс; Y_{σ} – бокове навантаження на головку рейки, кгс.

Залежно від плану колії можуть виникати так звані критичні швидкості руху, коли бічні та вертикальні сили набувають критичних значень [110], які діють обмежено, вздовж колії не більше 1-2 % від її протяжності. Не зважаючи на це, було прийнято рішення про застосування єдиного критерія оцінки силового навантаження у бічному напрямку – нормовану допустиму величину

непогашеного прискорення $[\alpha_{\text{НП}}]$. Та якщо врахувати відому залежність бокової сили від величини непогашеного прискорення $[\alpha_{\text{НП}}]$, отриману О.П. Єршковим [72]

$$Y_{\delta} = a + b \cdot \alpha_{\text{НП}}, \quad (1.5)$$

де a та b – емпіричні коефіцієнти [72]

$\alpha_{\text{НП}}$ – величина непогашеного прискорення

можна записати:

$$\varepsilon_s = \left(11.5 - 8.75 \cdot 10^{-4} \cdot P_B \right) \cdot \frac{a + b \cdot (\alpha_{\text{НП}})}{20000} \quad (1.6)$$

або у загальному вигляді:

$$\varepsilon_s = (A_y - B_y \cdot P_B) \cdot Y_B, \quad (1.7)$$

де $A_2 = \frac{11,5}{20000} = 5,75 \cdot 10^{-4}$; $B_2 = \frac{8,75 \cdot 10^{-4}}{20000} = 4,375 \cdot 10^{-8}$.

Відомо [10], що для вантажних вагонів існує залежність зменшення ширини колісної пари від дії бокового навантаження на гребінь колеса у вигляді:

$$\varepsilon_q = \frac{Y_{\delta}}{2500} \quad (1.8)$$

де 2500 – жорсткість рейкової нитки на залізобетонній рейковій основі зі скріпленнями КБ65, кг/мм [10]

або

$$\varepsilon_q = \frac{a + b \cdot \alpha_{\text{НП}}}{2500} = a_1 + b_1 \cdot \alpha_{\text{НП}}, \quad (1.9)$$

де $a_1 = \frac{a}{2500}$; $b_1 = \frac{b}{2500}$.

Якщо врахувати, що перехід конусності з 1:7 до 1:20 здійснюється на максимальній відстані $c = 30$ мм від краю обода колеса, можливої при нових або обточених гребнях, то доцільно врахувати товщину гребеня обточеного колеса $h'_{\min} = 29$ мм. З урахуванням вищевикладеного, згідно з рисунком 1.1, отримаємо вираз для визначення небезпечної ширини колії:

$$S_{\max}^{\text{необ}} = h'_{\min} + \mu + T_{\min} + a - c - d - \varepsilon_s - \varepsilon_q - \varepsilon_l, \quad (1.10)$$

де $\mu = 1,0$ мм – додаткове збільшення ширини гребеня в перерізі визначення ширини насадки відносно розрахункового рівня визначення ширини колісної пари (для вагонних коліс); $T_{\min} = 1437$ мм – мінімальна допустима ширина насадки коліс; a – ширина колеса (для вагонних коліс – $a = 130$ мм; для локомотивних коліс – $a = 140$ мм); c – відстань від зовнішнього краю площини колеса до межі переходу конусності з 1:7 до 1:20 (для вагонних коліс $c = 30$ мм; для локомотивних коліс $c = 40$ мм); $d = 12$ мм – горизонтальна проекція закруглення головки рейки, яка виконана радіусом $r = 15$ мм згідно з ГОСТ 8161-75; ε_l – величина люфту або зазору між підшовою рейки та ребордою підкладки ($\varepsilon_l = 1,5-10$ мм) [4].

Якщо позначити постійну фіксовану величину S_{\max}^{ϕ} в (1.10) та визначити її, то отримаємо наступні результати:

для вагонів:

$$\begin{aligned} S_{\max}^{\phi} &= h'_{\min} + \mu + T_{\min} + a - c - d = 29 + \\ &+ 1,0 + 1437 + 130 - 30 - 12 = 1555 \text{ мм} \end{aligned} \quad (1.11)$$

для локомотивів при $\mu = 0$:

$$S_{\max}^{\phi} = 1554 \text{ мм}$$

Тоді вираз (1.10) матиме наступний вигляд:

$$S_{max}^{неб} = S_{max}^{\phi} - \varepsilon_s - \varepsilon_q - \varepsilon_l \quad (1.12)$$

Якщо врахувати додаткове навантаження на головку рейки за рахунок дії рамної сили та прогини ресор, за рахунок їх коливання (Z_{max}) [10], то для виразу (1.7) можна записати порядок визначення колісного навантаження:

$$P_B = P_{ст} + 0,75 \cdot P_{рес} + \frac{Y_p \cdot (r_k + r_u)}{S_l} \quad (1.13)$$

де r_k – радіус колеса по середньому кругу кочення коліс; r_u – радіус шейки вісі колеса; S_l – відстань між середніми центрами кругів кочення коліс (приймається 1600 мм) [122];

та

$$P_{рес} = \mathcal{K}_{рес} \cdot Z_{max} = \mathcal{K}_{рес} (A + BV^2), \quad (1.14)$$

де $\mathcal{K}_{рес}$ – жорсткість ресорного комплекту, відносно до колеса; A та B – коефіцієнти, які приймаються для конкретних конструкцій вагонів та возиків; Z_{max} – максимальний прогин ресор, за рахунок їх коливання, мм.

На теперішній час українськими вченими внесені деякі доповнення і уточнення в методику професора О.П. Єршкова, в тому числі, щодо змін величини коефіцієнтів тертя при різних схемах вписування екіпажів. Визначені поперечні сили від нових типів рухомого складу [103, 104]. Як показують результати розрахунків, у кривих ділянках залізничної колії з малими радіусами бічна та рамна сила збільшується на величину до 25 %.

Величина рамної сили визначається графіками-паспортами [10].

$$Y_p = a_4 + b_4 \cdot \alpha_{III} \quad (1.15)$$

де a_4, b_4 – емпіричні коефіцієнти згідно з графіків-паспортів для визначення рамної сили.

З урахуванням (1.14) та (1.15) вираз (1.13) буде мати вигляд:

$$P_B = P_{cm} + 0,75 \cdot P_{pec} (A + B \cdot V^2) + \frac{(a_4 + b_4 \cdot \alpha_{HII}) \cdot (r_K + r_u)}{S_1} \quad (1.16)$$

З урахуванням окремих перетворень, вираз (1.6) буде мати наступний вигляд:

$$\varepsilon_s = a_2 + E + F + V^2 + G + \alpha_{HII} \cdot (\mu + b_2 + b_3) \quad (1.17)$$

де

$$b_3 = -B_2 \cdot b$$

Позначення E, F, G, a_2, b_2 наведені в таблиці 1.1

Таблиця 1.1

Позначення до формули (1.17)

Позначення	Формула для визначення позначених величин
a_2	$5.75 \cdot a \cdot 10^{-4}$
a_3	$4.375 \cdot a \cdot 10^{-8}$
E	$a_3 \cdot [P_{CT} + 0.75 \cdot \mathcal{J}_{pec} \cdot A]$
F	$0.75 \cdot a_3 \cdot \mathcal{J}_{pec} \cdot B$
G	$\frac{a_3 \cdot a_4 \cdot (r_K + r_u)}{S_1}$
b_2	$5.75043 \cdot b \cdot 10^{-4}$

З урахуванням отриманих виразів (1.9), (1.17) вираз (1.12) буде мати наступний вигляд:

$$S_{\max}^{неб} = S_{\max}^{\phi} - a_2 - E - F \cdot V^2 - G - \alpha_{HII} \cdot (\mu + b_2) - a_1 - b_1 \cdot \alpha_{HII} - \varepsilon_L \quad (1.18)$$

Або, зробивши деякі позначення постійних величин, наведених в таблиці 1.2, отримаємо у спрощеному вигляді остаточний вираз для визначення небезпечної ширини колії:

$$S_{\max}^{неб} = W - F \cdot V^2 - \alpha_{HII} \cdot J \quad (1.19)$$

Позначення до формули (1.19)

Позначення	Формула для визначення позначених величин
W	$D-E-G$
J	$M+C$
a_1	$\frac{a}{2500}$
M	$\frac{b_4 \cdot (r_k + r_{ш})}{S_1}$
b_1	$\frac{b}{2500}$
C	$b_1 + b_2 + b_3$

Наприклад, для дозволеної величини $[\alpha_{нп}]^{вант} = +0,3 \text{ м/с}^2$ [27] при люфті $\varepsilon_l = 1,5 \text{ мм}$, при швидкості руху $V_{вант} = 80 \text{ км/год}$ отримаємо для умов руху 6-вісного вагону на возиках УВЗ-9м ($P_{ст} = 10580 \text{ кг}$):

$$S_{\max}^{неб} = 1542 \text{ мм}$$

Для швидкості руху до 40 км/год при $[\alpha_{нп}]^{вант} = -0,3 \text{ м/с}^2$ [27] та люфту $\varepsilon_l = 1,5 \text{ мм}$ отримаємо $S_{\max}^{неб} = 1546 \text{ мм}$.

Визначення небезпечної ширини колії необхідно проводити з урахуванням типів рухомого складу, швидкостей руху, технічного стану колії (люфтів) та здійснювати визначення цієї важливої величини, яка повинна забезпечити достатній рівень безпеки руху поїздів за допомогою формули (1.19). Отриманий результат не можна вважати достовірним для колії з залізобетонною підрейковою основою і кріпленнями типу КБ, так як в його основі було закладено припущення, що горизонтальна деформація рейкових ниток при підрейковій основі на дерев'яних та залізобетонних шпалах будуть однакові. Проте автором даної дисертаційної роботи це припущення було

піддано сумніву, так як не знайшло підтвердження в існуючих наукових працях, що і стало причиною для експериментальної перевірки на колії з залізобетонною підрейковою основою.

1.4.2 Дослідження факторів впливу на величину небезпечного розміру ширини рейкової колії

Автором роботи встановлено, що максимальне небезпечне значення ширини рейкової колії залежить від наступних факторів:

- конструкції ходових частин рухомого складу, яка оцінюється за допомогою графіків-паспортів бічного впливу коліс на головку рейки;
- величини вертикального колісного навантаження;
- конструкції колії (дерев'яні або залізобетонні шпали, конструкції рейкових скріплень);
- величини та напряму непогашених прискорень, які залежать від улаштування колії в кривих ділянках та стану колії;
- особливостей деформації колісних пар під навантаженням;
- початкових люфтів, які залежать від конструкції скріплень, матеріалу шпал та допусків, які застосовуються при виготовленні частин елементів рейкового скріплення. Наприклад, для нової рейки Р-65, враховуючи допуски по подошві ($150_{-1,5}^{+1,0}$) допуски по пазу підкладки (151^{+2}) та допуск по отворам підкладки ($30_{-0,5}^{+1,5}$) можна казати про початкові люфти при виготовленні до 3,5 мм [2];
- пропущеного тоннажу по колії, від якого залежить величина люфтів, які виникають за рахунок зносу всіх елементів рейкових скріплень та зносу подошви рейки.

В роботі [1] була отримана узагальнююча формула для визначення величини максимального небезпечного значення ширини рейкової колії з урахуванням усіх перелічених факторів:

$$S_{\max}^{неб} = W - F \cdot V^2 - \alpha_{\text{ПП}} \cdot J, \quad (1.20)$$

де

$$W = D - E - G,$$

$$D = S_{\max}^{\phi} - a_2 - a_1 - \varepsilon_{\text{л}}$$

$$E = a_3 \cdot [P_{\text{СТ}} + 0.75 \cdot \mathcal{K}_{\text{рес}} \cdot A]$$

$$G = \frac{a_3 \cdot a_4 \cdot (r_{\text{к}} + r_{\text{ш}})}{S_1}$$

$$F = 0.75 \cdot a_3 \cdot \mathcal{K}_{\text{рес}} \cdot B$$

$$J = M + C$$

Параметри, які залежать від конструкції рухомого складу (a , b , a_2 , b_2 , a_3 , b_3 , a_4 , b_4) та приймаються по графікам-паспортам дій бічних сил (a , b) та рамних сил (a_4 , b_4) [120,121,122], а інші (a_2 , b_2 , a_3 , b_3), або визначаються за формулами:

$$a_2 = 5.75 \cdot a \cdot 10^{-4} \quad (1.21)$$

$$b_2 = 5.75 \cdot b \cdot 10^{-4} \quad (1.22)$$

$$a_3 = 4.375 \cdot a \cdot 10^{-3} \quad (1.23)$$

$$b_3 = 1.225 \cdot 10^{-4} \quad (1.24)$$

де S_{\max}^{ϕ} – постійна складова, яка залежить від типу рухомого складу (для локомотивів $S_{\max}^{\phi} = 1554$ мм; для вагонів $S_{\max}^{\phi} = 1555$ мм); A та B – коефіцієнти для визначення величини прогину ресор екіпажів з одноступінчастим ресорним підвішуванням; $\mathcal{K}_{\text{рес}}$ — приведена до одного колеса жорсткість ресорного комплексу, кг/мм; $r_{\text{к}}$ – радіус колеса, виміряний по середньому колу кочення, м;

$r_{ш}$ – радіус шийки вісі, м; S_l – відстань між вісями рейок ($S_1 = 1.585$ м); M та C – похідні коефіцієнти, які визначаються за формулами.

Формула отримана згідно розрахункової схеми, яка наведена на рисунку 1.1.

Результати розрахунків наведені у таблиці 1.3.

Таблиця 1.3

Результати розрахунків небезпечної ширини колії без урахування люфтів

Тип локомотива вагона	$S_{\max}^{неб}$, мм (при V_{\max})	$S_{\min}^{неб}$, мм (при V_{\min})
4-х вісний вантажний вагон на возиках (ЦНИИ-Х-3)	1547,19	1546,83
4-ти вісний вантажний вагон на возиках (ЦНИИ-Х-3-0)	1546,61	1546,33
6-ти вісний вантажний вагон без розбігу вісей (КВЗ-1М)	1548,14	1547,85
6-ти вісний вантажний вагон з розбігом вісей (УВЗ-9-М)	1544,81	1543,33
пасажирський вагон (ЦМВ)	1550,88	1549,48
пасажирський вагон на возиках (КВЗ-ЦНИИ)	1550,73	1549,33
ВЛ-80	1547,40	1546,35
ВЛ-60	1547,90	1546,80
ТЕП-60	1548,92	1548,37

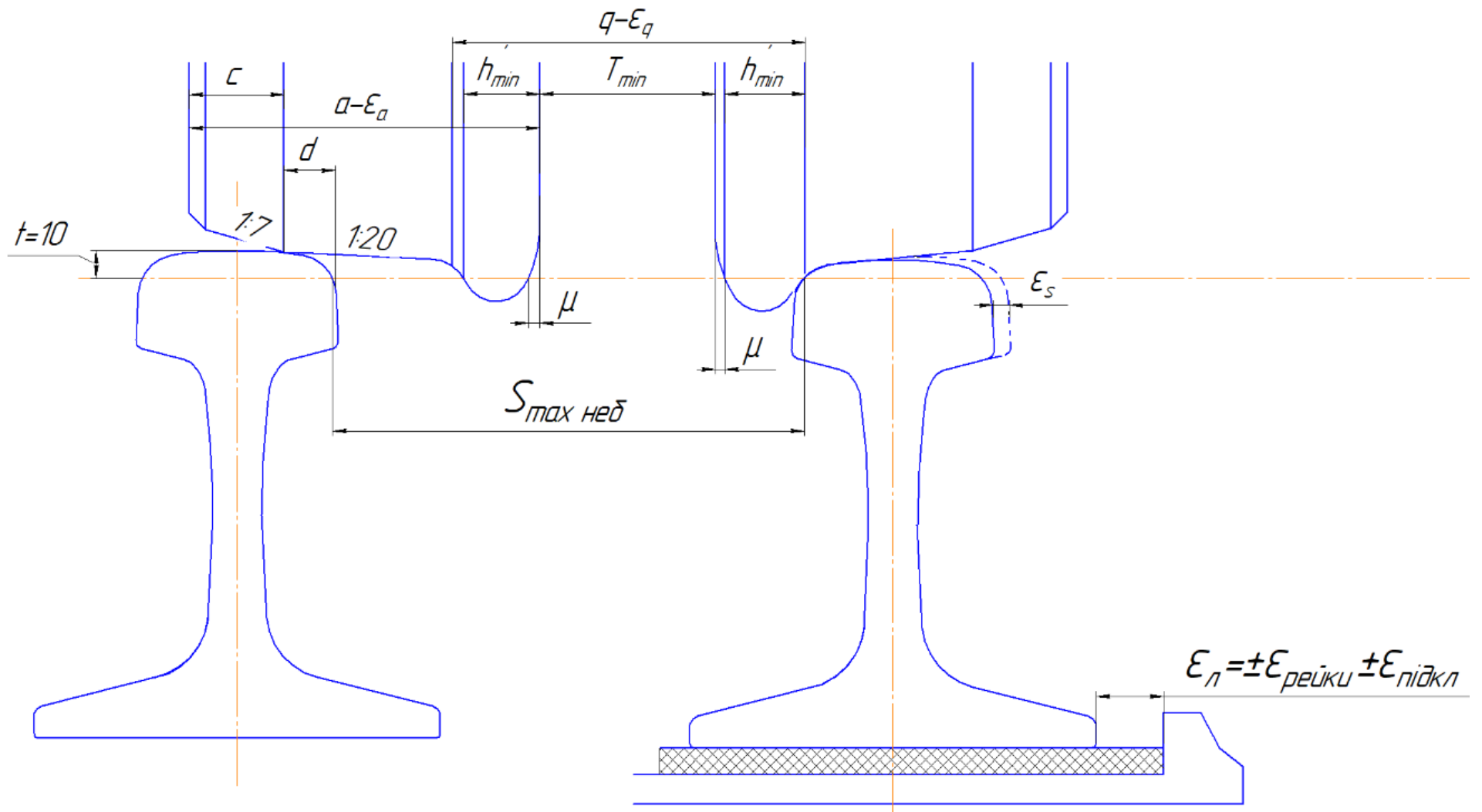


Рис. 1.1. Розрахункова схема для визначення максимальної небезпечної ширини рейкової колії

Для остаточного визначення прогнозної оцінки максимальної небезпечної величини ширини рейкової колії необхідно визначити закони розподілу випадкової величини люфту при напрацюванні пропущеного тонажу від початку експлуатації конструкції ($T = 0$) до нормативного значення ($T = T_{\text{норм}}$).

Таким чином, очікуємо отримати дві прогнозні оцінки для $T_1 = 0.5 \cdot T_{\text{норм}}$ та $T_2 = T_{\text{норм}}$, тобто, для першої половини терміну експлуатації та другої половини, залежно від конструкції колії та рухомого складу, який експлуатується на даній ділянці.

Враховуючи складність теоретичного визначення впливу одночасно вертикальних та бічних сил та дослідження найгірших умов притиснення рейок до шпал, необхідно провести дослідження в діючій колії зі скріпленнями роздільного типу КБ на залізобетонних шпалах.

Крім того, необхідно урахувати вже добре досліджене явище звуження ширини колісної пари на 10 мм через нагрівання ободу при службову гальмуванні [17] та мінусовий допуск на ширину ободу коліс при їх виготовленні – 4 мм. Та враховуючи появу в експлуатації ремонтних профілів коліс з конічністю 1:10 та 1:3.5 необхідно визначити їх вплив на процес розпирання колії додатковими горизонтальними бічними силами при спіранні конічністю 1:7 або 1:3.5 на бокове закруглення головки рейки. Саме цим питанням присвячений наступний розділ даної дисертаційної роботи.

1.4.3 Дослідження впливу конструктивних особливостей ходових частин рухомого складу на величину максимальної небезпечної ширини колії

У роботі [1] було доведено, що при рішенні задач по визначенню величини максимально небезпечної ширини рейкової колії необхідно враховувати тип рухомого складу, швидкість руху та конструктивні особливості ходових частин рухомого складу.

Розрахункові характеристики ходових частин рухомого складу (екіпажа)

наведені в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4

Розрахункові характеристики ходових частин рухомого складу

Рухомий склад	A , мм	B , $\frac{\text{мм} \cdot \text{ч}^2}{\text{км}^2}$	a , кГс	$\frac{b}{\text{м}}$, $\frac{\text{кГс} \cdot \text{сек}^2}{\text{м}}$	a_4 , кГс	$\frac{b_4}{\text{м}}$, $\frac{\text{кГс} \cdot \text{сек}^2}{\text{м}}$	$J_{рес}$, кГс/мм	$P_{ст}$, кГс
4-х вісний вантажний вагон на візках (ЦНИИ-Х-3)	10.0	$16 \cdot 10^{-4}$	5050	2450	2800	2600	200	10500
4-х вісний вантажний вагон на візках (ЦНИИ-Х-3-О)	1.2	$19 \cdot 10^{-4}$	5400	2500	3150	2600	200	10500
6-ти вісний вантажний вагон без розбігу вісей (КВЗ-1М)	4.6	$23 \cdot 10^{-4}$	6700	2800	4800	3100	195	10500
6-ти вісний вантажний вагон з розбігом вісей (УВЗ-9-М)	6.0	$16 \cdot 10^{-4}$	4500	3000	2200	3500	195	10500
пасажирський вагон (ЦМВ)	при $V < 100 \text{ км/год}$ 20.0 при $V > 100 \text{ км/год}$ 25.0	-	3400	1750	1600	1950	76	8100
пасажирський вагон на візках (КВЗ-ЦНИИ)	при $V < 100 \text{ км/год}$ 20.0 при $V > 100 \text{ км/год}$ 25.0	-	3650	1450	2100	1700	57	7120
ВЛ-80	10.9	$9.6 \cdot 10^{-4}$	5100	2250	2500	2500	116	11500
ВЛ-60	10.9	$9.6 \cdot 10^{-4}$	4800	2600	2200	2300	142	11500
ТЕП-60	7.9	$8 \cdot 10^{-4}$	4250	3500	1790	3500	99	10500

де A , B , a , b , a_4 , b_4 – емпіричні коефіцієнти до формул, поданих в [1-10]; $J_{рес}$ – жорсткість ресорного комплексу; $P_{ст}$ – статичне навантаження від колеса на рейку.

Розрахунки зроблені для максимальних і мінімальних швидкостей руху по формулах, що подані у роботі [1].

За результатами виконаних розрахунків в даній роботі, на основі методики, запропонованої авторами в роботі [1], можна зробити висновок про те, що не можна регламентувати максимальну небезпечну ширину рейкової колії, як єдину величину постійну для всіх ділянок залізниці, незмінну в часі, тому що вона різна не тільки для різних типів екіпажів (таблиця 1.3), але і для різних умов руху.

Спираючись на розрахунки, наведені в роботі [1], для остаточного з'ясування структури небезпечних значень максимальної ширини колії, крім перерахованих вище складових, є ще одна – величина люфту рейкових скріплень, що залежить від величини пропущеного тону, типу рейкового скріплення і вимагає подальшого ретельного дослідження з урахуванням розподілу досліджуваної характеристики уздовж колії, як випадкової величини й оцінки її впливу на розрахункове значення люфту та становить суттєву загрозу для забезпечення безпеки рухомого складу [112].

Висновки за розділом 1. Мета і задачі дослідження

Дослідження існуючих та відомих, на даний час, факторів впливу, які визначають максимальну небезпечну ширину рейкової колії з залізобетонними шпалами та роздільними проміжними рейковими скріпленнями роздільного типу та урахування сучасних нових ремонтних профілів коліс рухомого складу українських залізниць та додаткове вивчення залежностей бічного відтиснення головки рейкової нитки при одночасній дії вертикальних та бічних горизонтальних сил від коліс рухомого складу в кінцевому рахунку може привести до максимального забезпечення безпеки руху та максимального використання ресурсу рейок, що в свою чергу приведе до зростання економічного ефекту використання безстикової колії та підвищенню її експлуатаційної надійності.

Проведений аналіз розвитку та сучасного стану норми утримання залізничної колії по максимальній допустимій ширині в кривих ділянках, а також теоретичних і експериментальних досліджень у напрямку вивчення роботи залізничної колії, дає можливість зробити висновки та встановити цілі та завдання подальших досліджень.

Існуюча методика визначення максимального небезпечного розміру ширини рейкової колії навіть з урахуванням відомих факторів впливу, без розглядання нових ремонтних профілів, але навіть з урахуванням експериментально досліджених значень люфтів в рейкових скріпленнях, які виникають вже на початку збирання колійної решітки та зростають у процесі експлуатації колії, та без уточнення деформаційних процесів відтиснення головки рейки внаслідок сукупної дії вертикальних та бічних сил, дає суттєво занижені результати, що свідчить про наявність недосконалості існуючої норми небезпечної ширини рейкової колії;

Урахування в розрахунках особливостей динамічних характеристик рухомого складу свідчить про те, що єдиної норми недостатньо, необхідно враховувати на кожному напрямку не лише різноманітність рухомого складу, а й напрацювання тоннажу, від якого залежить величина люфтів;

Як показали попередні розрахунки при визначенні величини бічного відтиснення головки рейкової нитки слід враховувати додатковий вплив рамної сили, яка є впливовим фактором у розрахунках;

Суттєвим фактором впливу на величину небезпечної ширини рейкової колії є режим руху, який визначається не лише улаштуванням колії та швидкістю руху, а ще направленням дії непогашеного прискорення при їх максимальних допустимих величинах як в пасажирському, так і в вантажному русі.

Для визначення фактичного стану скріплення необхідно визначити усі фактори, які необхідно детермінувати як такі, за яких відтиснення голови рейкової нитки будуть мати й більші величини, тобто при поточних найменших зусиллях притиснення клемними та закладними болтами рейки до шпали, за

умов дотримання нормативних термінів виконання суцільного підкріплення гайок в процесі поточного утримання безстикової колії;

Аналіз впливу гальмівних процесів, а нагрівання ободів коліс вимагає обов'язкове врахування зменшення до 10 мм ширини колісної колії, або ширини колісної пари.

Впровадження ремонтних профілів коліс з конічністю до 1:3,5 вимагає перевірки можливості розпирання колії при коченням цією поверхнею по викружці бокової робочої грані рейки, як найнебезпечнішого положення колеса на рейці.

Проаналізовані результати показують, що основна частина сходів коліс рухомого складу мають місце на станціях при виконанні маневрових робіт, та безпосередньо пов'язана з тим, що на станційних коліях як правило використовують старопридатну колійну решітку, в якій існують значні люфти, та на якій на виконують своєчасно обов'язкові регламентні роботи з утримання проміжних рейкових скріплень, та мають місце інші порушення, пов'язані з відсутністю вхідного контролю за старопридатними матеріалами верхньої будови колії. Крім того, мають місце випадки розпирання колії на перегонах, де спостерігається угон рейкових плітей, що свідчить на систематичні порушення правил поточного утримання безстикової колії через або відсутність достатнього парку КМГ, або не надання необхідної кількості «технологічних вікон» для своєчасного відновлення монтажних притиснень прикріплювачів згідно нормативних термінів, в залежності від вантажонапруженості ділянок. Виходячи з викладеного вище, подальші дослідження проводяться у таких напрямках:

- теоретичне визначення необхідних умов проведення експериментальних досліджень впливу вертикальних та бічних сил від коліс рухомого складу на величину бічних відтиснень головки рейки при проміжних роздільних скріпленнях типу КБ на залізобетонних шпалах;

- проведення експериментальних досліджень – пружних бічних відтискань головки рейкової нитки при взаємодії вертикального та

горизонтального навантаження;

- виконання дослідження умов розпору колії зі скріпленнями типу КБ, та його впливу на визначення небезпечної ширини рейкової колії при урахуванні нових ремонтних профілів коліс рухомого складу.

РОЗДІЛ 2

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВЕРТИКАЛЬНИХ ТА БІЧНИХ СИЛ ВІД КОЛІС РУХОМОГО СКЛАДУ НА БІЧНІ ВІДТИСНЕННЯ ГОЛОВКИ РЕЙКИ НА ЗАЛІЗОБЕТОННІЙ ПІДРЕЙКОВІЙ ОСНОВІ

2.1 Дослідження величини горизонтальних люфтів в конструкції проміжного роздільного рейкового скріплення типу КБ

Згідно результатів теоретичних досліджень величини небезпечної ширини рейкової колії, в склад основного вираження для визначення $S_{\max}^{неб}$ включено величину горизонтальних люфтів, яка є випадковою величиною.

$$S_{\max}^{неб} = h'_{\min} + \mu + T_{\min} + a - c - d - \varepsilon_s - \varepsilon_q - \varepsilon_l - \varepsilon_a \quad (2.1)$$

де h'_{\min} – товщина гребеня обточеного колеса; μ – додаткове збільшення ширини гребеня колеса; T_{\min} – мінімальна допустима ширина насадки коліс; a – ширина колеса; c – відстань від краю обода колеса до точки переходу конусності з 1:7 на 1:20; d – горизонтальна проекція закруглення головки рейки; ε_s – величина відтискання головки рейки за рахунок бокової сили; ε_q – зменшення ширини колісної пари за рахунок її вигину; ε_l – величина горизонтального люфту між подошвою рейки та ребордою підкладки; ε_a – допуск на виготовлення бандажу колеса по ширині (4 мм) [16].

Для визначення максимально вірогідних значень випадкової величини горизонтального люфту, яка розподіляється за нормальним законом, існує відома методика [71], яка передбачає визначення середніх значень \bar{x} або математичних очікувань m_0 та середньоквадратичних відхилень $S_{\varepsilon l}$ та при відомому рівню надійності, який найчастіше в інженерних розрахунках

приймається $P = 0,994$ [71], дозволяє визначити шукану величину

$$\varepsilon_{\lambda_{\max}}^{\text{вер}} = \overline{\varepsilon_l} + \lambda_p \cdot S_{\varepsilon_l}, \quad (2.2)$$

де $\overline{\varepsilon_l}$ – середньоарифметичне значення люфту; λ_p – нормуючий множник ($\lambda_p = 2.5$); S_{ε_l} – середньоквадратичне відхилення.

В існуючій науково-технічній літературі відсутні дані про величину горизонтальних люфтів в конструкціях проміжних скріплень типу КБ-65. Для дослідження статистичних характеристик розподілу випадкової величини $\overline{\varepsilon_l}$ були виконані експериментальні вимірювання на виробничій базі КМС-39. Для дослідження були використані рейкові ланки, зняті з колії при напрацюванні міжремонтного тоннажу під час модернізації колії. Методикою досліджень передбачено вимірювання величини горизонтальних люфтів по обом рейковим ниткам рейкових ланок, що були в експлуатації у кривих ділянках колії, завдяки застосуванню гідравлічного домкрата з зусиллям до 50 кН. Переміщення вимірювалось за допомогою металевої лінійки з точністю, яка визначена розрахунками. На рис. 2.1 показано устаткування для виконання досліджень.



Рис 2.1. Устаткування для вимірювання горизонтальних люфтів

Необхідність вимірювання величин горизонтальних люфтів обґрунтовано наступним: в процесі експлуатації рейкової колії відбувається падіння початкових монтажних натиснень клем на підшову рейок за рахунок зносу усіх контактуючих пар вузлів прикріплення. Це, при існуючій нормативній періодичності проведення суцільних підкріплень гайок проміжних рейкових скріплень типу КБ, приводить до зміщень за рахунок люфтів рейкової підшови до внутрішніх реборд підкладок при низьких температурах рейкових плітей, тобто $t_p < t_3$. У цьому випадку сумарна величина люфтів буде дорівнювати величині люфту між підшовою рейки зовнішньої рейкової нитки та зовнішньою ребордою підкладки. Таким чином, виникає необхідність урахування люфтів по обом рейкам ланки. Результати вимірювання наведені таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Результати вимірювання горизонтальних люфтів

Показники вимірювань	Статистичні характеристики		Загальні результати вимірювань
	Зовнішня рейка	Внутрішня рейка	
Загальна кількість вимірювань, n	85	112	197
Середньоарифметичне значення, $\bar{\varepsilon}_l$, мм	1,48	2,09	3,57
Середньоквадратичне відхилення, S_{ε_l} , мм	0,715	0,928	1,643
Максимально вірогідне значення люфту	3,27	4,41	7,68

На рис. 2.2 показано виробітку зовнішньої реборди підкладок скріплення типу КБ, а також корозійні ураження отворів підкладок для закладних болтів (рис. 2.3), які сприяють збільшенню величини люфтів на окремих шпалах.



Рис. 2.2. Виробтка зовнішньої реборди підкладок



Рис. 2.3. Корозійне ушкодження отвору підкладки



Рис. 2.4. Механічне руйнування ізолюючої втулки через зміщення вздовж та поперек колії їх через повне послаблення закладних болтів ,що приводить до зміщення підкладки як вздовж так і поперек колії

2.2 Методика та результати досліджень фактичного стану проміжних рейкових скріплень типу КБ-65, який вони мають перед наступним черговим плановим суцільним підкріпленням прикріплювачів в залежності від вантажонапруженості безстикової колії

При виборі умов проведення експерименту, тобто при мінімальному натягненні клемних болтів, були використані умови інструкції ЦП-0081 через те, що умови цієї інструкції дозволяють з достатньою, апробованою багаторічним досвідом експлуатації безстикової залізничної колії, забезпечити планування робіт з поточного утримання прикріплювачів проміжних рейкових скріплень роздільного типу з урахуванням вантажонапруженості ділянок для рейкових плітей стандартної довжини, а згідно інструкції ЦП-0266 (п.7.4.3) – для довгих рейкових плітей. За рекомендаціями інструкції ЦП-0266 на сьогоднішній день всі дистанції колії Укрзалізниці виконують планування робіт з періодичним суцільним підкріпленням закладних гайок і клемних болтів. В роботі [66] експериментальним шляхом були отримані залежності фактичних зусиль натягу клемних і закладних болтів у скріпленнях роздільного типу від пропущеного по колії тоннажу. При цьому були визначені межі довірчих інтервалів ймовірності експериментальних значень. Мінімумально ймовірні значення зусиль натягу болтів позначені пунктирною лінією на рис. 2.4.

Для цього на ділянці з вантажонапруженістю $G_0 = 57$ млн. ткм брутто/км год були виконані контрольні заміри зусиль натягу клемних та закладних болтів.

Отримати залежність монтажних зусиль від пропущеного тоннажу можна лише за оцінкою крутильного моменту, значення якого отримані після вимірювання натягу гайок динамометричним ключем. Для отримання зусиль натягу болтів необхідно знати вид їх залежності від величини крутного моменту на гайках.

При закріпленні болта в його стрижні виникають напруження від дії осьової сили Q , для визначення якої користуються формулою [51]:

$$Q = \frac{2\pi M_{кр}}{h + \pi\varphi(2r_1 + 2r_2)}, \quad (2.3)$$

де h – шаг винтової нарізки; r_1 – радіус середнього круга перерізу болта, виміряного між гвинтовими нарізками; r_2 – радіус середнього круга тертя гайки о накладки та шайбу; φ – коефіцієнт тертя сталі по сталі.

Аналогічна формула приведена [52]. Нею можна користуються лише при розрахунку зусиль в болтах стикового з'єднання і проміжних рейкових скріплень, через те, що формула (2.1) справедлива при наявності лише таких умов:

а) в різьбовому з'єднанні гайка і болт жорстко контактують зі з'єднувальними елементами (під гайкою і головкою болта відсутні пружні елементи, наприклад, пружні прокладки, пружинні шайби), між якими також є жорсткий зв'язок;

б) твердість металу болта, гайки і з'єднувального елемента є величиною одного порядку. При цьому одного порядку повинні бути і коефіцієнти шорсткості, і форми контактуючих поверхонь.

У конструкціях рейкових скріплень під гайки встановлюються елементи – пружинні шайби, а під рейки та підкладки – пружні прокладки-амортизатори. Отже, деформація подовження стрижня болта завжди буде менше переміщення гайки по болту при її повороті.

Друга умова не дозволяє використовувати формулу (2.3) з тієї причини, що твердість сталі 60С2, з якої виготовляються пружинні шайби, дорівнює 450-550 одиниць по Віккерсу (що у 5-6 разів вище твердості металу гайки). Це призводить до утворення надирів глибиною до 1,5-2,0 мм на кільцевій опорній частині гайки, що свідчить про значно більший коефіцієнт тертя в контакті «гайка-шайба», ніж в контакті «гайка-болт». Тому формула (2.3) при дотриманні першого і другого умов повинна мати дещо інший вигляд:

$$Q = \frac{2\pi M_{кр}}{h + 2\pi(\varphi_1 r_1 + \varphi_2 r_2)} \quad (2.4)$$

Коефіцієнт φ_2 може бути визначений експериментально.

При виконанні робіт по контролю зусиль затягування клемних і закладних болтів проміжних скріплень користуються динамометричними ключами. Сили натягу болтів визначають, користуючись емпіричними формулами. Так, дослідженнями [53] отримана залежність:

$$Q_{\sigma} = 136,5 M \quad (2.5)$$

яка відповідає лише такому стану різьбового з'єднання, коли на поверхні різьби відсутня корозія металу. Для цих умов відомо [50], що коефіцієнт тертя в контакті «гайка-болт» $\varphi_1 = 0,31$. При цьому має місце наступна залежність зусилля в стрижнях болта від величини зовнішнього крутного моменту:

$$Q_{\sigma} = 139,6 M \quad (2.6)$$

Необхідно зазначити, що величина коефіцієнта тертя в контакті «гайка-шайба» в основному залежить від механічних властивостей матеріалу гайки і шайби і незначною мірою – від корозії цих елементів. Якщо врахувати залежності (2.5), (2.6), можна вважати, що коефіцієнт тертя $\varphi_2 = 0,323$.

Вимірювання натягу клемних та закладних болтів здійснювалось за допомогою динамометричного ключа конструкції НКТБ ЦП МШС. При цьому зусилля, прикладене до рукоятки ключа, вимірювалось безпосередньо індикатором годинникового типу ИЧ-1 у кГс. Величина крутного моменту на гайках вираховувалось шляхом перемноження величин зусиль на довжину плеча дії сили на рукоятку. Величина зусилля натягу болтів була отримана за формулою (2.6). Результати вимірювань та обчислення величин зусиль натягу болтів наведено у таблиці 2.2.

Результати вимірювань зусиль натягу болтів в скріпленні типу КБ-65

Пропущений тонаж, млн. ткм бруто км год	Клемні болти		Закладні болти	
	Зусилля натягу болта $Q_{кл}$, кН	Середньоквадратичне відхилення $S_{кл}$, кН	Зусилля натягу болта $Q_{зб}$, кН	Середньоквадратичне відхилення $S_{зб}$, кН
0	28,0	0	23,0	0
0,6	18,98	5,22	20,8	3,47
1,8	17,42	4,92	19,25	4,28
2,7	16,23	4,88	18,71	4,60
3,7	15,41	4,76	18,12	4,21
5,6	14,36	5,6	17,14	4,78
8,2	13,24	5,2	16,49	5,26
10,8	12,48	5,98	15,92	5,66
14,5	11,49	6,14	15,38	5,68
16,9	10,88	5,77	14,96	5,42
21,4	10,12	6,32	14,28	6,02
26,2	9,64	6,74	13,47	6,18
31,4	8,89	6,88	12,78	5,98
38,0	7,97	6,57	11,80	6,36
43,4	7,18	6,88	11,12	6,42
52,2	5,82	6,74	10,32	6,34
58	4,90	6,98	9,52	6,78
66	3,74	6,84	8,74	6,85

Враховуючи те, що зусилля притиснення клемних болтів знижується набагато швидше ніж закладних, визначимо на графіку (рис. 2.4) тоннаж, який забезпечує розрахункову стійкість безстикової колії. Для цього необхідно підрахувати довільний інтервал з надійністю $P = 0,95$ при кількості болтів $n = 120$ при $P = 0,95$ знайдемо за допомогою таблиці для визначення коефіцієнта Стьюдента [12] $t = 1,658$. Середньоарифметичне значення середньоквадратичного відхилення для клемних болтів $\sigma_{кл} = 6,024$ кН, закладних болтів $\sigma_{зб} = 5,48$ кН. Визначимо довільний інтервал за формулою:

$$\varepsilon_{\gamma} = \frac{t\sigma_{\gamma}}{\sqrt{n}} \quad (2.7)$$

Отримаємо, для клемних болтів $\varepsilon_{кл} = 0,91$ кН, для закладних болтів $\varepsilon_{зб} = 0,83$ кН.

На графіку (рис. 2.4) нанесено пунктирні лінії мінімально-вірогідних значень зусиль натягу клемних та закладних болтів.

Для гальмових ділянок, де необхідно крім стійкості забезпечити відсутність угону рейкових плітей скористаємося допустимою величиною крутильного моменту для клемних болтів $M_{min} = 100$ Нм, згідно [2]. Для негальмових ділянок $M_{min} = 60$ Нм, згідно [9]. Відповідно мінімальне зусилля натягу становитимуть $[Q_{min-кл}]^c = 14,0$ кН та $[Q_{min-кл}]^{н2} = 8,4$ кН.

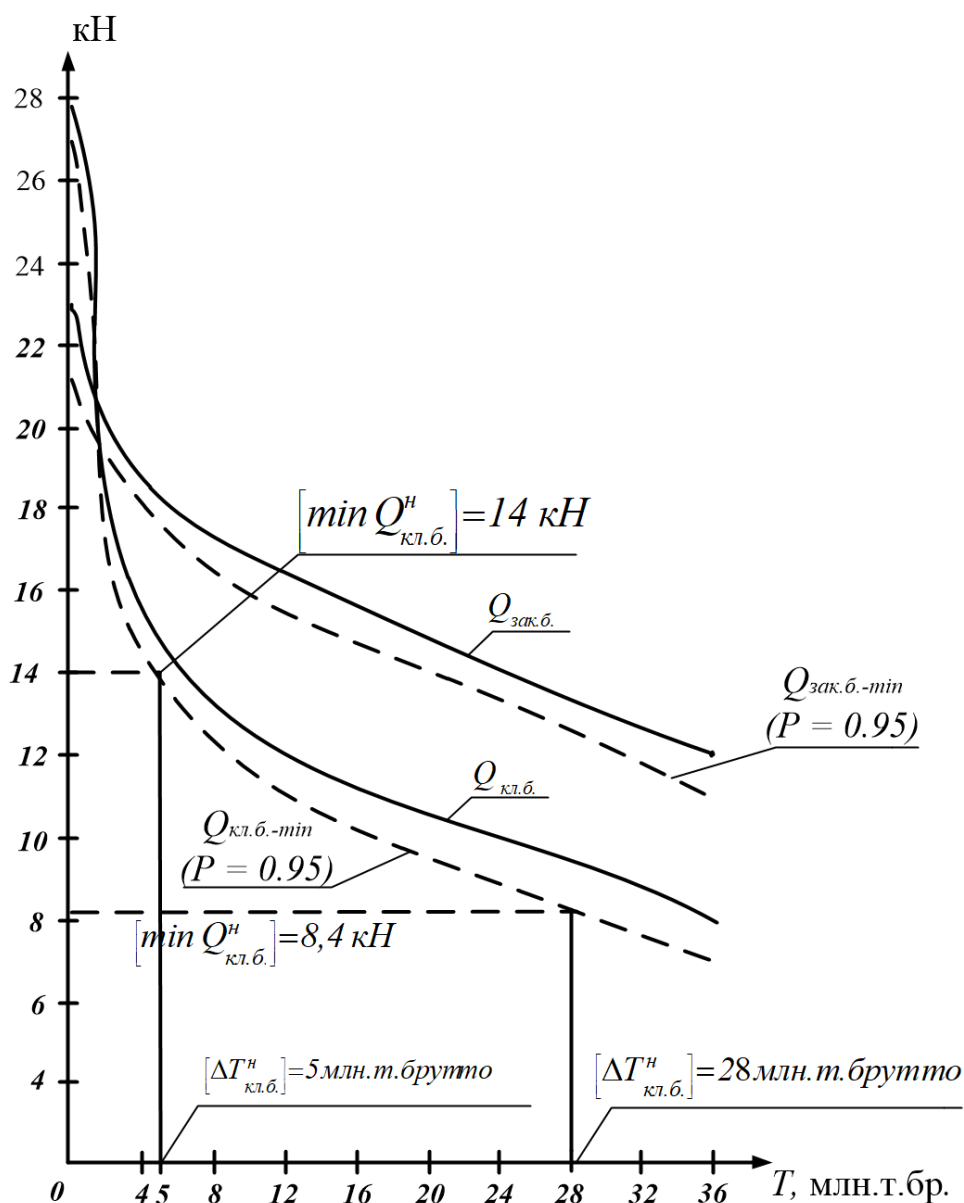


Рис. 2.4. Графік зміни зусиль у клемних та закладних болтах в залежності від пропущеного тоннажу

В дослідженнях [78], присвячених визначенню мінімальних допустимих зусиль натягу клемних болтів на ділянках, де не застосовується службове гальмування (приблизно 95 % протяжності безстикової колії), отримане значення мінімального зусилля натягу клемних болтів становить $\min Q_{кб(негальм.ділянка)} = 8,4$ кН, що відповідає мінімальному крутному моменту на гайках клемних болтів $\min M_{кб(негальм.ділянка)} = 60$ Нм. Для цих значень відповідно графіку (рис. 2.4) відповідає пропущений тоннаж від 28 млн. ткм брутто/км рік до 34 млн. ткм брутто/км рік. Тому, проведені експериментальні дослідження підтверджують те, що прийняті нормативи інструкції ЦП-0266 (п.7.4.3) як і попередньої інструкції ЦП-0081, які регламентують кількість суцільних підкріплювачів гайок клемних і закладних болтів, вимагають одне суцільне підкріплення при вантажнапруженості $\Gamma_0 < 25$ млн. ткм брутто/км рік. На рис. 2.5 та рис. 2.6 наведена графічна інтерпретація умов визначення напрацювання розрахункового тоннажу між суцільними підкріпленнями підкріплювачів проміжних рейкових скріплень роздільного типу.

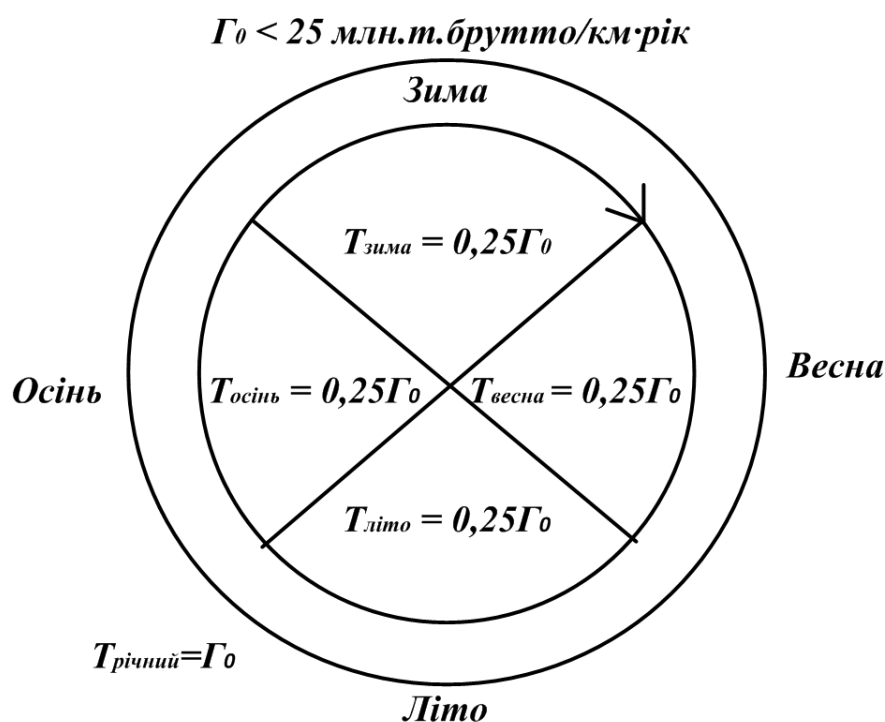


Рис. 2.5. Кільцевий графік напрацювання розрахункового тоннажу між суцільними підкріпленнями болтів проміжних рейкових скріплень роздільного типу

А на ділянках з вантажнапруженістю $\Gamma_0 > 25$ млн. т. брутто/км рік підтяжка клемних і закладних болтів повинна проводитися два рази на рік.

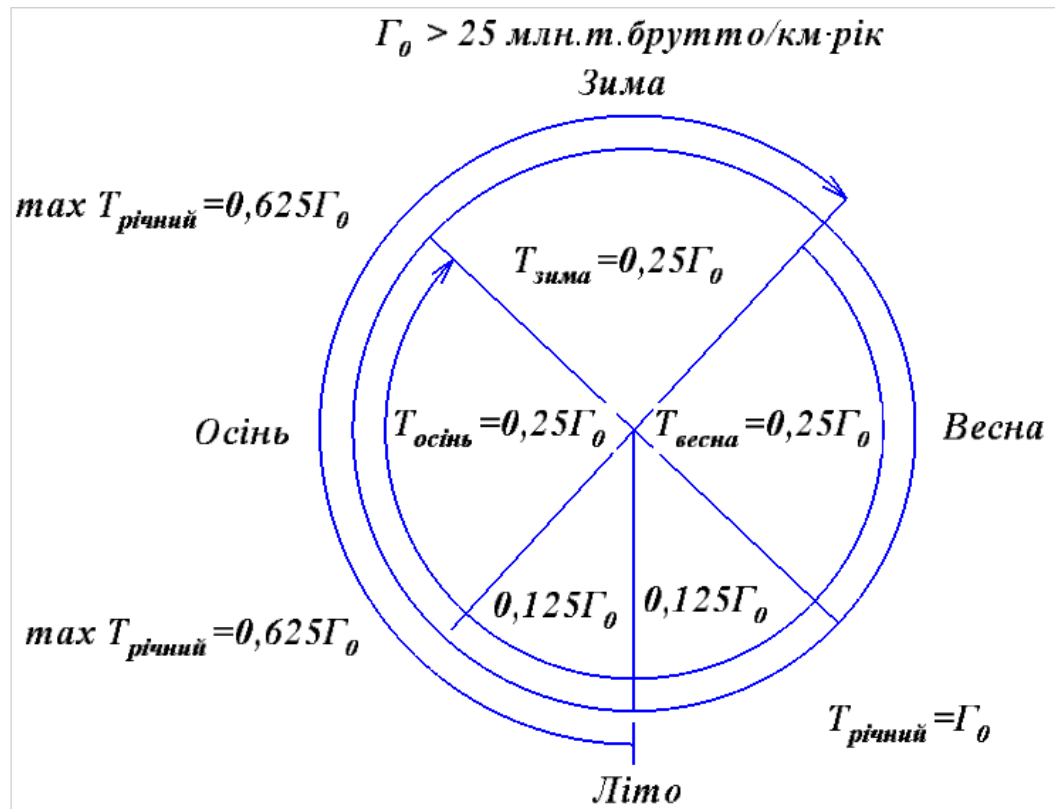


Рис. 2.6. Кільцевий графік напрацювання розрахункового тоннажу між суцільними підкріпленнями болтів проміжних рейкових скріплень роздільного типу

Результати експериментальних досліджень науково обґрунтовано та їх виконання одночасно забезпечує і умови, наведені в інструкції ЦП-0266 (п. 2.7.2) [27], в яких для запобігання угону середнє значення затяжки гайок клемних болтів повинні бути не менш ніж 100 Нм, а закладних болтів 70 Нм. На рис. 2.5 наведена графічна інтерпретація умов визначення напрацювання розрахункового тоннажу між суцільними підкріпленнями прикріплювачів проміжних рейкових скріплень роздільного типу.

2.3 Результати досліджень фактичного стану прикріплювачів проміжних рейкових скріплень типу КБ-65 у безстиковій колії перед наступним черговим суцільним підкріпленням

Виходячи з наведеного в розділі 2.2 матеріалу, був оцінений пропущений тоннаж до наступної підтяжки клемних болтів. Підкріплення один раз на рік (на ділянках з вантажонапруженістю $\Gamma_0 < 25$ млн. ткм брутто/км рік) річний тоннаж дорівнює вантажонапруженості. А при підкріпленні два рази на рік клемних болтів (на ділянках з вантажонапруженістю $\Gamma_0 > 25$ млн. ткм брутто/км рік): перша підтяжка – річний тоннаж $0,375\Gamma_0$, друга підтяжка клемних болтів – річний тоннаж $0,625\Gamma_0$. Потім $0,25\Gamma_0$ – очікування в зимовий час до чергової весняної підтяжки клемних болтів. Таким чином, до початку нової підтяжки від закінчення першої підтяжки пропущений тоннаж дорівнює $0,625\Gamma_0$, тобто до початку весняних колійних робіт. По раніше отриманому графіку зміни зусиль у клемних і закладних болтах (рис. 2.6), в залежності від пропущеного тоннажу, графоаналітично отримані значення зусиль натягу клемних і закладних болтів першого діапазону при вантажонапруженості менше 40 млн. ткм брутто/км рік, наведені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3

Розрахункові значення зусиль притиснення клемних та закладних болтів першого діапазону ($\Gamma_0 < 40$ млн. ткм брутто/км рік)

Γ_0 , млн.т.брутто/ км·рік	<5	6-10	11-15	16-20	21-25	26-30	31-35	36-40
T_p , млн.т.брутто	5	10	15	20	25	18,8	22,0	25
$\min Q_{кл}$, кН	14,0	12,0	10,5	9,5	8,8	9,5	9,2	8,8
$\min Q_{зб}$, кН	16,6	15,2	14,5	13,6	12,8	13,8	13,3	12,8
$\min M_{кл}$, Нм	100	86	75	68	69	68	66	63
$\min M_{зб}$, Нм	119	109	104	97	91	98	95	91
$\min P_{кл}$, кг	16	14	12	11	10	11	11	10
$\min P_{зб}$, кг	20	18	17	16	15	16	16	15
Діапазон	1							

А для другого діапазону, при вантажонапруженості більше 41 млн. ткм брутто/км рік, наведені в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4

Розрахункові значення зусиль притиснення клемних та закладних болтів другого діапазону ($G_0 > 40$ млн. ткм брутто/км рік)

G_0 , млн.т.брутто/ км·рік	41-45	46-50	51-55	56-60	61-65	66-70	71-75	76-80	41-45
T_p , млн.т.брутто	28	31,3	34,4	37,5	40,6	43,8	46,9	50	28
$\min Q_{кл}$, кН	8,4	8,0	7,5	7,2	6,7	6,3	5,8	5,4	8,4
$\min Q_{зб}$, кН	12,4	11,9	11,3	11,0	10,6	10,2	9,8	9,4	12,4
$\min M_{кл}$, Нм	60	57	54	51	48	45	41	39	60
$\min M_{зб}$, Нм	89	85	81	79	76	73	70	67	89
$\min P_{кл}$, кг	10	9	9	8	8	7	7	6	10
$\min P_{зб}$, кг	15	14	14	13	12	12	11	11	15
Діапазон	2								

2.4 Методика та результати експериментальних вимірювань пружних бічних відтиснень головки рейкової нитки при одночасній дії на неї вертикального та горизонтального навантажень

2.4.1 Методика проведення експериментальних досліджень вимірювання пружних бічних відтиснень головки рейкової нитки при одночасній дії на неї вертикального та горизонтального навантажень

Вченими Новосибірського інституту залізничного транспорту [40-41] були представлені експериментальні залежності пружних відтискань головки рейки Р65 (дерев'яні шпали, змішане костильне ДО скріплення) від сумарного впливу вертикального та бічного навантажень, які зображені на графіку (рис. 2.7).

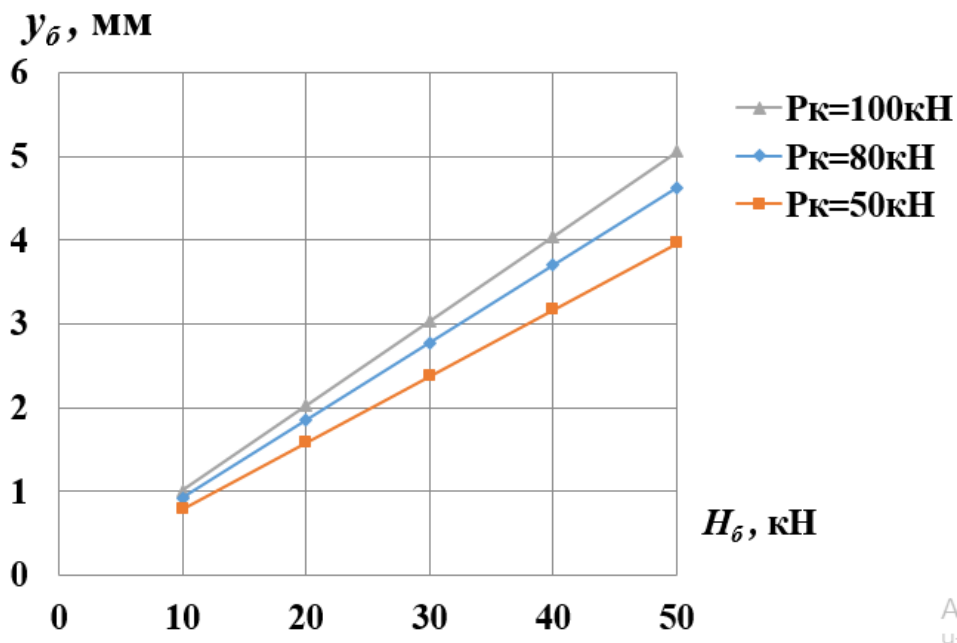


Рис. 2.7. Графічна залежність пружних бічних відтиснень головки рейки від сумарного впливу вертикального та бічного навантаження для залізничної колії з дерев'яними шпалами (ВНДІЗТ)

Ці графіки були рекомендовані вченими ВНДІЗТ у як для залізничної колії з дерев'яними шпалами, так і з залізобетонними. В дослідженнях [120-123, 125, 127, 128] при визначенні сил взаємодії екіпажа і колії використано характеристики «вертикальна жорсткість колії» та «горизонтальна жорсткість колії», які приймалися постійними, незалежними від сил взаємодії екіпажа і колії, а також незалежними від конструкції колії, плану лінії та сил притиснення рейок до підрейкової основи. Можливість застосування отриманих результатів для колії з залізобетонними шпалами стала однією із завдань експериментального дослідження автора даної роботи, незважаючи на те, що раніше вченими ВНДІЗТ [39, 40] доведено, що горизонтальні бічні відтискання головки рейки при будь-яких нерівностях шляху на дерев'яних шпалах завжди більше приблизно у два рази. Теоретичні дослідження бічної пружності рейкових ниток при спільній дії вертикальних та горизонтальних сил були досліджені для сучасної конструкції безстикової колії та сучасного рухомого складу залізниць України в роботах Е.І. Даниленко [102, 103, 107, 108, 126], але без урахування фактичного стану прикріплення рейок до

залізобетонних шпал при проміжних рейкових скріпленнях роздільного типу. При визначенні найбільшого небезпечного значення максимальної ширини рейкової колії необхідно враховувати найбільш несприятливі умови притиснення рейок до підрейкових опор, які виникають в процесі експлуатації колії через знос усіх контактуючих елементів різьбових з'єднань клемних та закладних болтів. Саме ці, найбільш несприятливі значення фактичного стану приведені в таблиці 2.3, які передбачено використати в експериментальних дослідженнях. Графічні залежності, наведені на графіку (рис. 2.7), були апроксимовані автором у наступному вигляді:

$$y_{\delta} = \left(5.75 \cdot 10^{-4} + 4.375 \cdot 10^{-8} \cdot P_{\kappa} \right) \cdot H_{\delta} \quad (2.8)$$

де y_{δ} – величина бічного пружного відтискання головки рейки, мм; P_{κ} – вертикальний тиск колеса на головку рейки, кН; H_{δ} – горизонтальний бічний тиск колеса на головку рейки, кН.

Це припущення було експериментально досліджено автором даної дисертаційної роботи. Для цього була створена експериментальна установка (рис. 2.8), завдяки якій одночасно створювалося вертикальна та горизонтальна дія на головку рейки.

Так як в лабораторії забезпечити такі умови практично неможливо, то для передачі вертикального зусилля на головку рейки було вирішено піддомкратити пасажирський вагон за допомогою мостового гідравлічного домкрата, що дозволяє створювати зусилля до 2000 кН, а для передачі горизонтального зусилля на головку рейки використовувати шляховий разгоночний пристрій з динамометром ДОСМ-5 для контролю прикладеної бічної сили.



Рис. 2.8. Місце проведення експериментальних робіт з встановленим силовим гідравлічним обладнанням



Рис. 2.9. Місце передачі бічного навантаження і контролю горизонтальних переміщень (вид збоку)

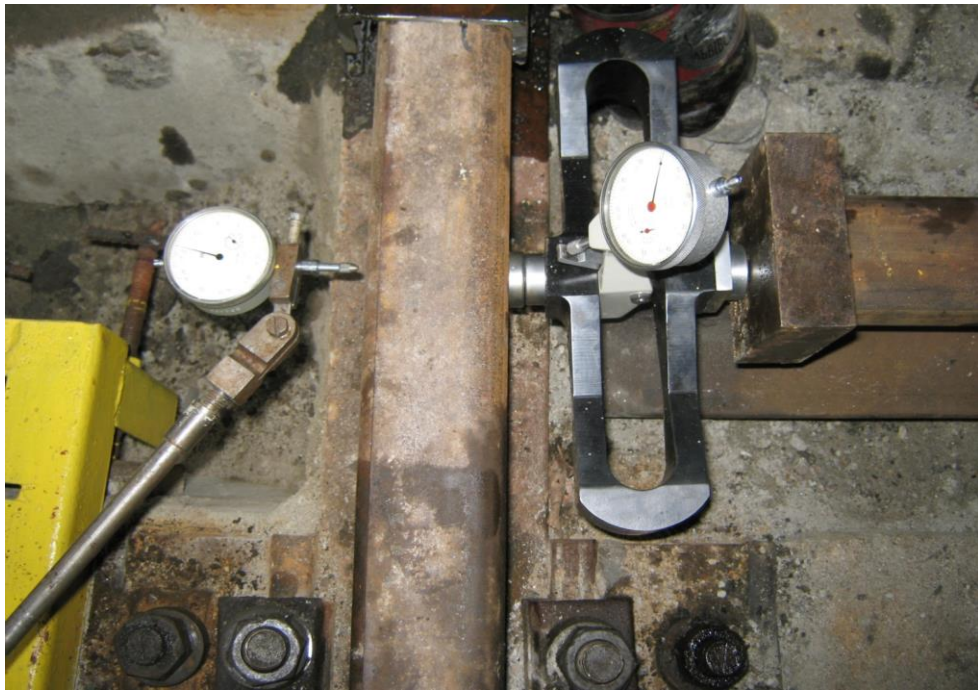


Рис. 2.10. Місце передачі бічного навантаження і контролю горизонтальних переміщень (вид зверху)



Рис. 2.11. Установка динамометра ДОСН-5 з індикатором годинникового типу ИЧ-1 для контролю переданих горизонтальних зусиль



Рис. 2.12. Встановлення розгінного пристрою для створення та контролювання розрахункових значень бічних навантажень на головку рейкової нитки



Рис. 2.13. Експериментальна установка для створення та контролювання одночасних розрахункових вертикальних та бічних навантажень з одночасним контролюванням горизонтальних бічних відтиснень головки рейкової нитки (вид зліва)



Рис. 2.14. Визначення та встановлення розрахункових зусиль клемних та закладних болтів за допомогою динамометричного ключа конструкції ЦНДІ МШС.



Рис. 2.15. Фіксація індикатора горизонтальних переміщень на спеціальній рамі, закріпленій на залізобетонній шпалі за допомогою струбцин (вид зверху)

2.4.2 Результати експериментальних досліджень вимірювання пружних бічних відтискань головки рейкової нитки при одночасній дії на неї вертикального та горизонтального навантажень

В результаті експериментальних досліджень були отримані залежності, які були згруповані для ділянок з вантажонапруженістю до 40 млн. ткм брутто/км рік та для ділянок з вантажонапруженістю більше 40 млн. ткм брутто/км рік.

В науковій літературі наводяться експериментальні дані про величини бічних відтискань головки рейкової нитки під дією коліс рухомого складу [35-40], результати яких дуже відрізняються через різноманітність умов взаємодії рухомого складу та колії (швидкість, план, ухили, режими тяги, тип рухомого складу та різноманітність конструкції колії). Такі результати можуть бути корисними лише у відповідності до мети тих чи інших досліджень, які немає сенсу узагальнювати для використання у дослідженні небезпечної ширини рейкової колії.

Дослідження небезпечної ширини рейкової колії вимагає необхідність встановлення функціональних залежностей величини бічного відтискання головки рейкової нитки від вертикального та бічного горизонтального навантажень, одночасно діючих на рейкову нитку при встановлених раніше найгірших умовах експлуатації проміжних скріплень в діапазонах до 40 млн. ткм брутто/км рік більше ніж 40 млн. ткм брутто/км рік (до 80 млн. ткм брутто/км рік).

Раніше автором були отримані наступні дані для першого діапазону (вантажонапруженість до 40 млн. ткм брутто/км рік) – крутильний момент для клемних болтів скріплення типу КБ $minM_{кл} = 63$ Нм, для закладних болтів $minM_{зб} = 91$ Нм. Для другого діапазону (вантажонапруженість від 41 млн. ткм брутто/км рік до 80 млн. ткм брутто/км рік) – крутильний момент для клемних болтів скріплення типу КБ $minM_{кл} = 39$ Нм, для закладних болтів $minM_{зб} = 67$ Нм. Такі значення крутильних моментів на дослідній ділянці колії з

рейками типу Р-50 на залізобетонних шпалах були встановлені за допомогою динамометричного ключа з індикатором годинникового типу ИЧ-1 для контролю зусилля, прикладеного до ручки ключа. Вертикальне навантаження створювалось мостовим гідравлічним домкратом з максимальним зусиллям 2000 кН поступово (50 кН, 80 кН, 100 кН), який передавав навантаження від рами пасажирського вагону, а бічне навантаження створювалось за допомогою гідравлічного розганяльного приладу (від 10 кН до 50 кН) з контролюванням зусилля пружним динамометром ДОСМ-5. Контролювання величини бічного відтиснення головки рейки здійснювалось індикатором годинникового типу ИЧ-1, який був жорстко закріплений на спеціальній металевій рамі, яка також жорстко була закріплена до кінця залізобетонної шпали.

Усі результати, отримані в ході виконання експериментальних досліджень були апроксимовані лінійними функціональними залежностями для двох діапазонів вантажнапруженості, а також відображені у графічному вигляді:

1-й діапазон – $\Gamma_0 < 40$ млн. ткм бруто/км рік (рис. 2.16; таблиця 2.5).

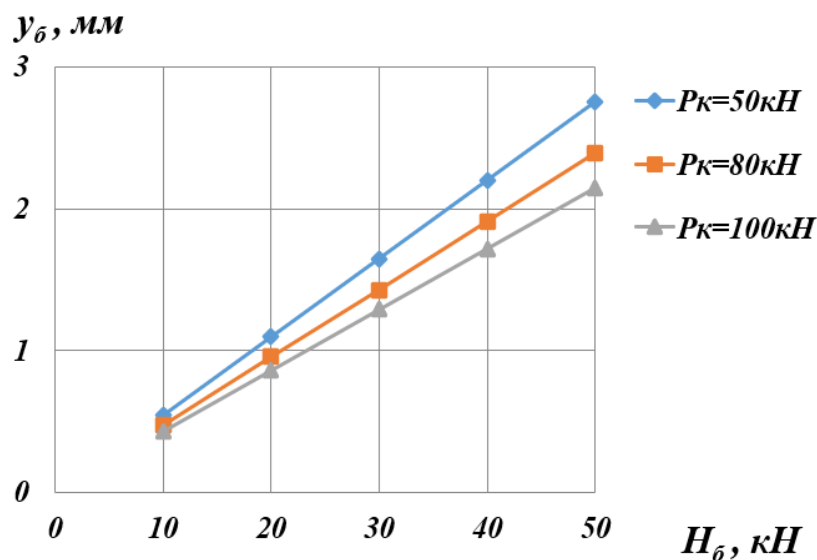


Рис. 2.16. Залежність пружних бічних відтиснень головки рейки від дії вертикального та бічного навантаження ($\Gamma_0 < 40$ млн. ткм бруто/км рік)

Таблиця 2.5

Значення пружних бічних відтиснень головки рейки від дії вертикального та бічного навантаження ($\Gamma_0 < 40$ млн. ткм брутто/км рік)

P_6 , кН	H_6 , кН				
	10	20	30	40	50
50	0,55	1,1	1,65	2,2	2,75
80	0,48	0,96	1,43	1,91	2,39
100	0,43	0,86	1,29	1,72	2,15

2-й діапазон – $\Gamma_0 > 40$ млн. ткм брутто/км рік (рис. 2.17; таблиця 2.6)

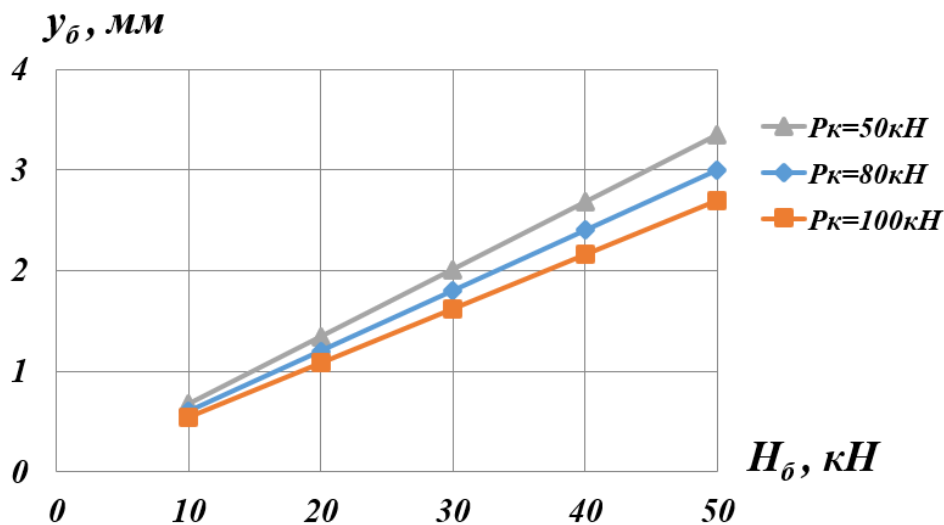


Рис. 2.17. Залежність пружних бічних відтиснень головки рейки від дії вертикального та бічного навантаження ($\Gamma_0 > 40$ млн. ткм брутто/км рік)

Таблиця 2.6

Значення пружних бічних відтиснень головки рейки від дії вертикального та бічного навантаження ($\Gamma_0 > 40$ млн. ткм брутто/км рік)

P_6 , кН	H_6 , кН				
	10	20	30	40	50
50	0,67	1,34	2,01	2,68	3,35
80	0,6	1,2	1,8	2,4	3,0
100	0,54	1,08	1,62	2,16	2,7

Отримані результати дозволять використовувати їх у загальному алгоритмі визначення небезпечної ширини рейкової колії з залізобетонними шпалами та найбільш розповсюдженим скріпленням (до 90 % загального обсягу) типу КБ-65.

Результати вимірювань, які приведені в таблиці 2.5 та таблиці 2.6 апроксимовані наступними функціональними залежностями:

- для діапазону вантажонапруженості до 40 млн. ткм бруто/км рік

$$y_{\bar{\sigma}} = (6,7 \cdot 10^{-2} - 0,024 \cdot 10^{-2} \cdot P_{\sigma}) \cdot H_{\bar{\sigma}} \quad (2.9)$$

- для діапазону вантажонапруженості більше 40 млн. ткм бруто/км рік

$$y_{\bar{\sigma}} = (8,4 \cdot 10^{-2} - 3 \cdot 10^{-4} \cdot P_{\sigma}) \cdot H_{\bar{\sigma}} \quad (2.10)$$

2.4.3. Аналіз отриманих експериментальних даних на повторюваність із заданою довірчою вірогідністю

В процесі проведення експериментальних досліджень було отримано статистичні ряди для двох діапазонів вантажонапруженості ділянок залізничної безстикової колії при $\Gamma \leq 40$ млн.бруто/км·рік та $\Gamma \geq 40$ млн.бруто/км·рік з многофакторними вимірюваннями:

P_{σ} – вертикальне навантаження на головку рейкової нитки;

$H_{\bar{\sigma}}$ – бічне навантаження на головку рейкової нитки;

$y_{\bar{\sigma}}$ – бічне пружне горизонтальне відтиснення головки рейкової нитки в місці дії вертикального та бічного навантаження.

Усі статистичні вимірювання необхідно математично обробити та піддати аналізу, щоб підібрати емпіричні формули та встановити їх достовірність. Для цього необхідно перевірити спланований експеримент на відтвореність результатів, тобто повторюваність в певних межах вимірювань с заданою довірчою вірогідністю.

В даному випадку маємо по три серії ($m=3$) паралельних експериментальних вимірювань для двох діапазонів вантажонапруженості, які характеризуються різними умовами зусиль притиснення рейок до підрейкової основи. В кожній серії виконано $n=5$ вимірювань. Для кожної серії вираховуємо

середньоарифметичні значення \bar{X}_i за формулою

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum x_i \quad (2.7)$$

Далі за формулою (2.8) вираховуємо дисперсію

$$D_i = \delta^2, \quad (2.8)$$

де

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})}{n-1}} \quad (2.9)$$

Для оцінки відтворюваності, розрахуємо критерій Кохрена (розрахунковий)

$$G_p = \frac{\max D_i}{\sum_m D_i}, \quad (2.10)$$

де $\max D_i$ - найбільше значення дисперсії з кількості розглянутих паралельних серій m ;

$\sum_m D_i$ – сума дисперсій m серій.

Експеримент вважається відтворювальним, якщо виконується наступна умова

$$G_p \leq G_m, \quad (2.11)$$

де G_m – табличне значення критерія Кохрена, відповідне довірчій вірогідності $p=0,95$, яке приймають в залежності від кількості паралельних серій m та кількості ступенів свободи $q = n-1$ (табл. 4.10 [118]), яке при $q = 5-1=4$, $m=3$ дорівнює $G_m = 0,746$.

Усі необхідні розрахунки зведені до таблиць 2.6 та 2.7, до яких додаємо результати розрахунків інших статистичних параметрів:

M – точність вимірювання;

μ_{cm} – довірчий інтервал;

δ_0 – середньоарифметичне значення середньоквадратичного відхилення.

Ці статистичні параметри розраховуються при малій кількості вимірювань $n < 30$ [118] згідно розподіленню Стюдента за наступними формулами:

$$\delta_0 = \frac{\delta}{\sqrt{n}} \quad (2.12)$$

$$M = \frac{\delta_0}{X} \quad (2.13)$$

$$\mu_{ст} = \delta_0 \cdot \alpha_{ст} \quad (2.14)$$

де $\alpha_{ст}$ – коефіцієнт Стьюдента, прийнятий по таблиці 4.2 [118], при $p=0,95$, $n=5$, $\alpha_{ст}=2,77$.

Таблиця 2.7

Результати розрахунків для ділянок з $\Gamma > 40$ млн.т.брутто/км·рік

Номер серій	Результати вимірювань в кожній серії, мм					\bar{X} , мм	δ^2 , мм ²	δ , мм	δ_0 , мм	M	$\mu_{ст}$, мм
	1-е	2-е	3-е	4-е	5-е						
1	0,67	1,34	2,01	2,65	3,35	2,004	1,112	1,054	0,497	0,248	1,376
2	0,60	1,20	1,80	2,40	3,00	1,80	0,20	0,447	0,089	0,049	0,246
3	0,54	1,08	1,62	2,16	2,70	1,62	0,531	0,728	0,237	0,146	0,656

Розрахункові значення критерія Кохрена для ділянок з $\Gamma > 40$ млн.т.брутто/км·рік

$$G_p = \frac{\max D_i}{\sum_1^3 D_i} = \frac{1.112}{1.112+0.20+0.531} = 0.603 < G_m = 0.746$$

Таблиця 2.8

Результати розрахунків для ділянок з $\Gamma < 40$ млн.т.брутто/км·рік

Номер серій	Результати вимірювань в кожній серії, мм					\bar{X} , мм	δ^2 , мм ²	δ , мм	δ_0 , мм	M	$\mu_{ст}$, мм
	1-е	2-е	3-е	4-е	5-е						
1	0,55	1,10	1,65	2,20	2,75	1,65	0,756	0,869	0,388	0,235	1,074
2	0,48	0,96	1,43	1,91	2,39	1,434	0,569	0,754	0,337	0,235	0,933
3	0,43	0,86	1,29	1,72	2,15	1,29	0,197	0,444	0,198	0,154	0,548

Розрахункові значення критерія Кохрена для ділянок з $\Gamma < 40$ млн.т.брутто/км·рік

$$G_p = \frac{\max D_i}{\sum_1^3 D_i} = \frac{0,756}{0,756+0,569+0,197} = 0.491 < G_m = 0.746$$

На підставі виконаної перевірки в обох розглянутих діапазонах вантажонапруженості ділянок залізничної колії доведено, що експериментальні дослідження відтворювальні при вірогідності $p=0,95$.

Висновки за розділом 2

На підставі виконаних експериментальних вимірювань досліджено максимально вірогідні значення горизонтальних поперечних люфтів проміжних рейкових скріплень типу КБ-65, при надійності $P=0,994$:

- спрямованих у напрямку від осі колії по зовнішній рейці кривої – 3,27 мм;
- спрямованих у напрямку від осі колії по внутрішній рейці кривої – 4,41 мм.

На підставі результатів, наведених у таблиці 2.3 та таблиці 2.4 можна зробити наступні висновки:

1. Отримані наступні результати для кожного з отриманих діапазонів:

- для першого діапазону (до 40 млн. ткм бруто/км рік) мінімальна величина крутного моменту на гайках клемних болтів – $M_{кл} = 63$ Нм, на гайках закладних болтів – $M_{зб} = 91$ Нм;
- для другого діапазону (більше ніж 40 млн. ткм бруто/км рік) мінімальна величина крутного моменту на гайках клемних болтів – $M_{кл} = 39$ Нм, на гайках закладних болтів – $M_{зб} = 67$ Нм.

2. Отримані значення визначають умови проведення експериментальних досліджень визначення впливу вертикальних та бічних навантажень від коліс рухомого складу на головку рейкової пліті на величину бічних відтиснень головки рейкової пліті, які повністю відтворюють реальні умови експлуатації безстикової колії.

На основі виконаних експериментальних досліджень вимірювання пружних бічних відтиснень головки рейкової нитки при одночасній дії на неї

вертикального та горизонтального навантажень можна зробити висновок про те, що отримані раніше залежності для залізничної колії на дерев'яних шпалах з костильними скріпленнями типу ДО непридатні до застосування для залізничної колії із залізобетонними шпалами з роздільними скріпленнями типу КБ-65. Для колії з залізобетонними шпалами з роздільними скріпленнями типу КБ-65 рекомендовані наступні залежності з урахуванням вантажонапруженості:

- для діапазону вантажонапруженості до 40 млн. ткм брутто/км рік

$$y_{\bar{o}} = (6,7 \cdot 10^{-2} - 0,024 \cdot 10^{-2} \cdot P_{\kappa}) \cdot H_{\bar{o}} \quad (2.11)$$

- для діапазону вантажонапруженості більше 40 млн. ткм брутто/км рік

$$y_{\bar{o}} = (8,4 \cdot 10^{-2} - 3 \cdot 10^{-4} \cdot P_{\kappa}) \cdot H_{\bar{o}} \quad (2.12)$$

Отримані експериментальним шляхом залежності, будуть використані при визначенні максимального безпечного значення ширини рейкової колії на залізобетонних шпалах з проміжними рельсовими кріпленнями роздільного типу для найбільш масового типу рухомого складу, що обертається на залізницях України з урахуванням вертикальних осьових навантажень і бічних сил, що виникають при максимальних швидкостях руху і максимальних значеннях непогашених прискорень.

РОЗДІЛ 3

ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ РОЗПОРУ КОЛІЇ З ПРОМІЖНИМИ РЕЙКОВИМИ СКРІПЛЕННЯМИ РОЗДІЛЬНОГО ТИПУ ТА ЙОГО ВПЛИВУ НА ВИЗНАЧЕННЯ НЕБЕЗПЕЧНОЇ ШИРИНИ РЕЙКОВОЇ КОЛІЇ

3.1 Методика виконання досліджень умов розпору рейкової колії

На сучасному етапі дослідження роботи залізничної колії зі скріпленнями типу КБ, які вже експлуатуються у колії більше 50 років переважає думка, яка стверджує, що небезпечне розпирання колії на залізобетонних шпалах з роздільними клемно-болтовим проміжним рейковим скріпленням неможливо. Діючи на цей час в Україні норми утримання ширини рейкової колії [27] не враховують конструкцію підрейкової основи, а регламентують одну для всіх типів підрейкової основи максимальну небезпечну величину ширини рейкової колії – 1548 мм, яка до зміни плюсового допуску на утримання ширини рейкової колії з +6 мм на +8 мм була також змінена з 1546 мм на 1548 мм без будь-якого обґрунтування науковими дослідженнями чи поясненнями впливу допусків на утримання ширини рейкової колії а також колісної колії ,які взагалі на той час були не в повній мірі досліджені а з урахуванням появи та розвитку нових наукових проблем, пов'язаних з виникненням над інтенсивного бічного зносу рейок та гребнів локомотивних та вагонних коліс рухомого складу, що позначилось на необхідності створення нових спеціальних ремонтних профілів коліс, які було введено в експлуатацію протягом останніх 20-ти років.

Сучасні уявлення про можливості розпирання колії з провалом колеса в колії з залізобетонною підрейковою основою базуються на твердженні, що для виникнення умов розпору колії потрібно, щоб критична величина відтискання головки рейки в кривих ділянках з максимальною шириною колії 1545 мм, при якій дозволяється рух із встановленими швидкостями, становила 31 мм [16].

Але це твердження не має під собою ніякого експериментального чи теоретичного наукового обґрунтування, крім одного дуже важливого явища – зменшення відстані між внутрішніми гранями коліс вантажних вагонів через перегрів ободів під час службового гальмування до 10 мм [17]. Але не опубліковано жодного дослідження, де враховуються умови виникнення розпору колії, особливо при введенні в експлуатацію спеціальних ремонтних профілів, які мають відмінні від існуючих багато років на залізницях СНД геометричні розрахункові параметри, які використовуються при визначенні небезпечного значення ширини колії існуючими методами розрахунків, на підставі яких було створено існуючі норми утримання рейкової колії на залізобетонних підрейкових основах.

Сучасний підхід та погляди на визначення небезпечного значення ширини рейкової колії не враховує безперечну небезпеку провалювання колеса у колії через можливість спіранні фаскою колеса на бічне заокруглення головки рейки. Якщо врахувати цю фаску ($\phi = 6 \text{ мм}$) та існуючий допуск на звуження ширини ободу ($\Delta a = 4 \text{ мм}$), то лише врахування цих двох незаперечних факторів дає більш реальні результати при визначенні небезпечної ширини рейкової колії, за якої провалювання колеса гарантовано, при врахуванні уточнення значень деяких відомих факторів впливу, які достатньо вивчені фахівцями в галузі колії та рухомого складу, без урахування наявності будь-яких люфтів в конструкції прикріплення рейок до шпал, а саме:

$$S_{\max}^{\text{неб}} = h_{\min} + \mu + T_{\min} + a - \varepsilon_q - \varepsilon_s - d - \phi - \Delta a \quad (3.1)$$

де h_{\min} – розрахункове значення товщини гребню, прийнято $h_{\min} = 25 \text{ мм}$, що не враховує той факт, що при повному зносі гребню відсутня, як правило, початкова геометрія окреслення поверхні кочення, що зовсім не спричиняє будь-якої небезпеки провалювання колеса у колію; μ – потовщення гребня колеса в перетині визначення ширини насадки коліс по відношенню до розрахункового рівня, для вагонних коліс прийнято $\mu = 1,0 \text{ мм}$, для

локомотивних коліс $\mu = 0$ мм; T_{\min} – мінімальне значення ширини насадки коліс, $T_{\min} = 1437$ мм; a – ширина ободу колеса, $a = 130$ мм для вагонних коліс, та $a = 140$ мм для локомотивних коліс; Δa – допуск на звуження ширини ободу коліс, $\Delta a = 4$ мм; ϕ – фаска колеса $\phi = 6$ мм; ε_q – зменшення ширини колісної пари(колісної колії) в розрахунковому перетині за рахунок вигину вісі колісної пари, прийнято $\varepsilon_q = 2$ мм, при максимальному значенні $\max \varepsilon_q = 4$ мм; ε_s – пружне розширення колії за рахунок бічного горизонтального відтиснення головки рейки (головок обох рейок) через дію бічних або розпірних сил, прийнято $\varepsilon_s = 2$ мм, без урахування конструкції рухомого складу та умов руху, які визначаються непогашеними прискореннями, що діють на рухомий склад при русі в кривих ділянках колії, та залежать від швидкості руху, радіуса кривої ділянки колії та встановленого підвищення зовнішньої рейкової нитки; d – горизонтальна проекція заокруглення бічної грані головки рейки в зоні контактування її з гребенем колеса, $\Delta a = 12$ мм (фактично по робочим кресленням рейки типу Р65), прийнято у розрахунках $d = 13$ мм.

Максимальна критична величина сумарного відтиснення головок обох рейок становитиме при максимальній величині ширини рейкової колії, за якої дозволяється рухатись зі встановленою швидкістю ($S = 1545$ мм) [27] становить:

$$\begin{aligned}
 [y_{\max}] &= S^{\text{неб}} - S_{\text{макс-практ}} - S_{\text{макс}} & (3.2) \\
 \text{або } [y_{\max}] &= 1576 - 6 - 4 - 1545 = 21 \text{ мм}
 \end{aligned}$$

Та будь-яка відома методика визначення величини бічного пружного відтиснення головки рейкової нитки не дає такого результату без урахування процесу розпирання рейкової колії, навіть якщо врахувати фактичну величину горизонтальної проекції заокруглення головки рейки радіусом $r = 15$ мм, замість старого державного стандарту $r = 13$ мм, що приведе до зміни проекції з 13 мм (було визначено помилково, бо при цьому радіусі проекція дорівнювала

10 мм замість 13 мм, як це було прийнято, при визначенні існуючої норми небезпечної ширини рейкової колії, то отримаємо сумарне допустиме розширення рейкової колії $[y_{\max}] = 22$ мм, якщо виходити з існуючої максимальної допустимої ширини колії, при якій допускаються встановлені максимальні швидкості руху рухомого складу $S_{\max} = 1545$ мм. Це свідчить про те, що є значний запас в бік збільшення існуючої норми максимальної небезпечної ширини рейкової колії.

На підставі виконаних автором досліджень [5-6] небезпечної ширини рейкової колії з проміжними рейковими скріпленнями роздільного типу залежно від вантажонапруженості ділянок, встановлено необхідність врахування нових факторів впливу на небезпечну ширину рейкової колії. Вони виникли протягом останніх 15-20 років, і пов'язані зі створенням нових ремонтних профілів коліс рухомого складу, а також з процесами зносу проміжних рейкових скріплень типу КБ і його елементів на появу пружних люфтів у вузлах скріплення в бічному напрямку від впливу направляючих коліс рухомого складу.

З урахуванням викладеного, вираз залежності небезпечної ширини рейкової колії, при якій колесо гарантовано провалиться в колію через розпір фаскою згідно рисунку 3.1, буде мати наступний вигляд:

$$S_{\max-практ}^{неб} = h_0 + \mu + T_{\min} + a - \Delta a - \phi - d - \varepsilon_{q(\Delta t)} - \max \varepsilon_q - \varepsilon_\lambda \quad (3.3)$$

де h_0 – товщина гребня ремонтного профілю, мм; $\varepsilon_{q(\Delta t)}$ – зменшення відстані між внутрішніми гранями коліс вантажних вагонів через перегрівання ободів під час виконання службового або екстреного гальмування, $\varepsilon_{q(\Delta t)} = 10$ мм, для локомотивів $\varepsilon_{q(\Delta t)} = 0$ мм.

Інші позначення мають такі самі значення, які було прийнято раніше у виразі (3.1).

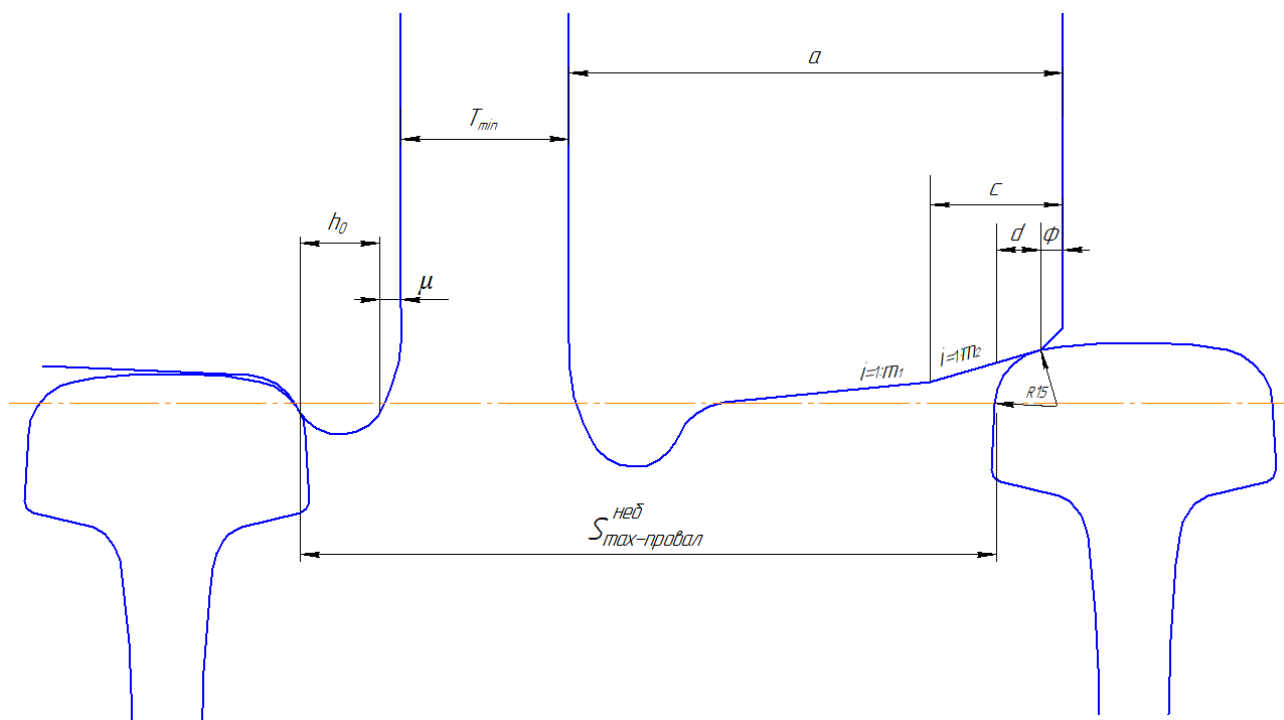


Рис. 3.1. Розрахункова схема для визначення максимальної небезпечної ширини рейкової колії

Умови виникнення розпору колії, визначаються виникненням додаткової бічної розпорної сили, через кочення конічною частиною колеса напрямної вісі візка (рис. 3.2), який катається по внутрішній рейковій нитці кривої ділянки колії по заокругленню головки рейки, яка діє на обидві рейки і визначається як горизонтальна складова вертикального навантаження в площині конічної частини колеса m_2 та визначається (при $tg\alpha_2 = \frac{1}{m_2}$, где $\frac{1}{m_2}$ – конічність) як:

$$Y_m = \frac{P_v}{m_2} \quad (3.4)$$

де m_2 – фактична конусність поверхні кочення колеса, яка більша за підуклонку рейки; P_v – вертикальне навантаження від колеса на головку рейки в зоні бокового заокруглення головки з бічною робочою гранню. З урахуванням коефіцієнта динамічного навантаження $K_d = 1,9$ при проходженні стикових з'єднань, з величиною крутного моменту на гайках стикових болтів $M_{кр} = 200$ Нм, мінімального допустимого зусилля за рекомендаціями С.І. Клінова та О.О. Кондратьєва (МІТ).

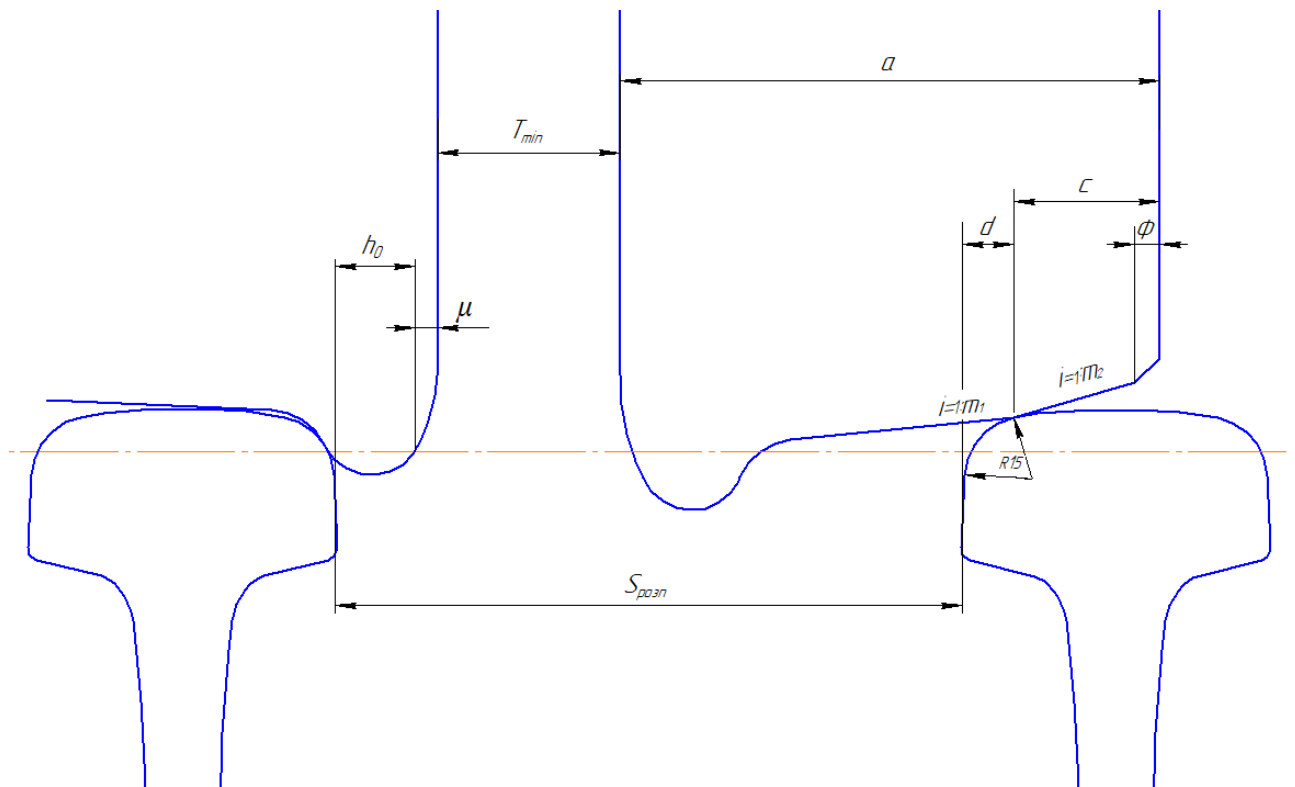


Рис. 3.2. Розрахункова схема для визначення ширини рейкової колії, при якій починається розпір рейкових ниток.

Але з аналізу отриманої автором цієї дисертаційної роботи емпіричної формули призначеної для визначення величини пружного бічного відтиснення головки рейкової нитки (2.7 та 2.8) випливає, що при статичному колісному навантаженні $P_0 = P_{ст}$ величина пружного бічного відтиснення головки рейкової нитки буде більша, ніж при динамічному навантаженні. Аналогічні рекомендації та висновки зробив проф. Корольов К.П. [51], який першим запропонував вираз для визначення величини пружного відтиснення головки рейки в залежності від величини вертикального (P_g) та бічного ($Y_{\bar{o}}$) навантаження:

$$y_{\bar{o}} = K \left(\alpha Y_{\bar{o}} + \frac{Y_{\bar{o}} - f P_g}{\beta} \right), \quad (3.5)$$

де K – коефіцієнт горизонтальної динаміки, дорівнює $K = 1 + \gamma V$, при $V \leq 10 \text{ км/год}$, $\gamma = 0,01$. Для перших вісей $K = 1,1$; α – коефіцієнт, що враховує зсув головки рейки від пружного стиснення шпали, прийнятий рівним

$\alpha = 0,000082$ мм/т; β – коефіцієнт, що характеризує бічну пружну податливість рейок, приймається в залежності від типу рейки, для Р65 – $\beta = 1350$ т/мм; f – коефіцієнт тертя підкладки про шпалу, прийнятий рівним 0,15; P_e – навантаження від направляючого колеса на рейку, приймається рівним величині статичного навантаження на рейку (найменш сприятливе навантаження).

Дослідженням бічного впливу рухомого складу присвячено чимало сучасних наукових праць [75-81], в яких було запропоновано використовувати в якості колісного вертикального навантаження як статичні, так і динамічні навантаження, при врахуванні усіх важелів впливу на перерозподіл цих сил під впливом коливань ресорних комплектів та нахилу кузову під впливом одночасної дії відцентрованих та центроспрямованих сил. Але невідомо які будуть остаточні результати при різних підходах для визначення сумарного розпору колії (*урозп*). Для цього врахуємо у першому варіанті коефіцієнти динаміки ($K_\delta = 1,9$ для вантажних вагонів та локомотивів, та $K_\delta = 1,3$ для пасажирських вагонів та рефрижераторних вагонів).

У другому варіанті $P_e = P_{ст}$ та $\varepsilon_q = 2$ мм. Результат розрахунків остаточних значень $S_{max-практ}^{неб}$ – практична величина небезпечної ширини колії, яка визначається як похідна від теоретичної величини за рахунок урахування половини найменшої вісі еліпсу контактної плями в разі ($a = 5$ мм) за формулами:

$$S_{max-практ}^{неб} = S_{неб}^т - \frac{a_{ел}}{2} \quad (3.6)$$

$$\text{та } S_{max-теор}^{неб} = S_{max-практ}^{неб} - Y_t \quad (3.7)$$

де $S_{max-практ}^{неб}$ – максимально небезпечна ширина рейкової колії, за якої колесо гарантовано провалиться у колію при спіранні конусною частиною фаски на заокруглення головки рейки; $S_{max-теор}^{неб}$ – теоретична(розрахункова) величина небезпечної ширини рейкової колії; $S_{max-практ}^{неб}$ – практична величина небезпечної ширини рейкової колії, за якої можна рухатися рухомому складу зі

встановленими швидкостями руху; $u_{розп}$ – сумарне розширення рейкової колії за рахунок дії розпирних сил з одночасною дією вертикальних та бічних сил.

За типовою, загальноприйнятою в наукових колах методикою Г. М. Шахунянца (МІТ) [51], визначення небезпечного значення ширини рейкової колії [3] досить визначити тільки початкове положення колеса на головці рейки, яке спирається на головку рейки перехідною зоною кочення (m_1) до (m_2) на відстані 5 мм до початку закруглення головки рейки (рис. 3.3).

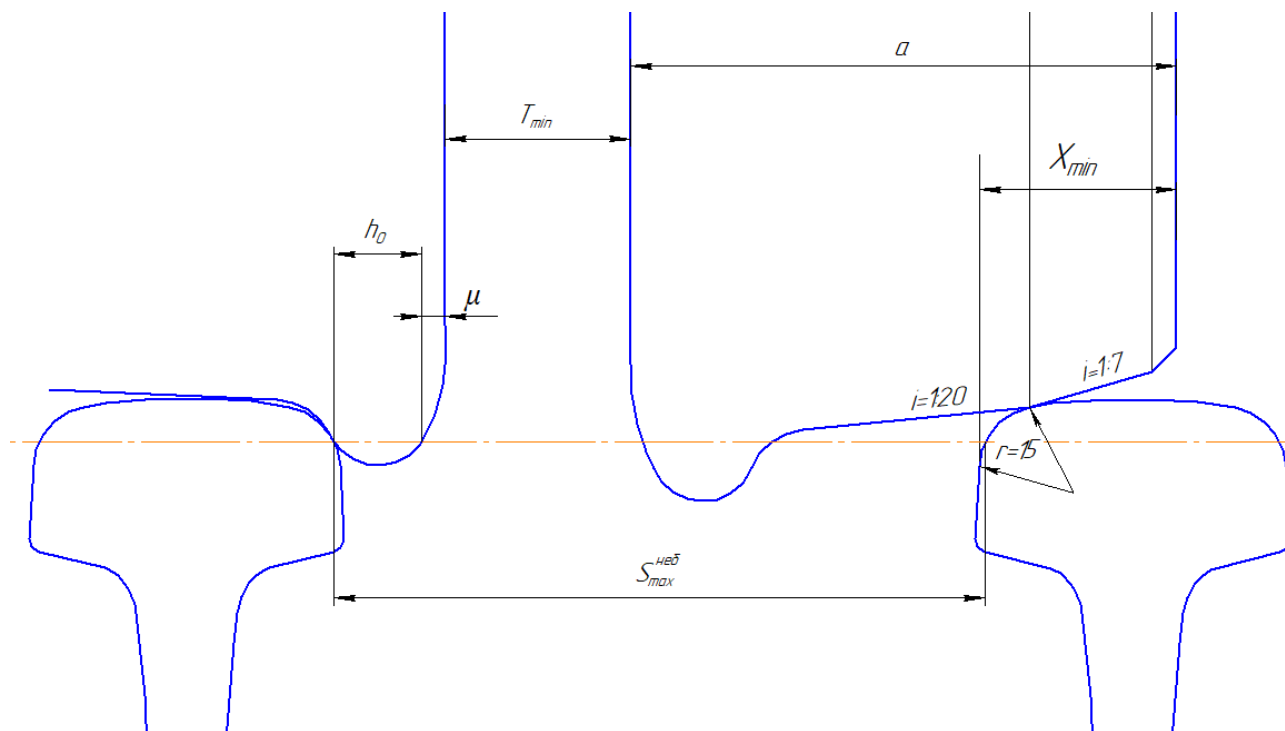


Рис. 3.3. Класична розрахункова схема визначення небезпечного значення ширини колії ($S_{max}^{неб}$) без урахування багатьох додаткових факторів впливу та явища розпору колії ($S_{max}^{неб} = h_0 + \mu + T_{min} + a - X_{min}$)

В якості додаткових факторів впливу на визначення небезпечного значення ширини рейкової колії, які досліджуються в даній роботі вперше прийняті наступні:

- допуск на зменшення ширини обода $\Delta a = 4$ мм [16];
- максимальне зменшення відстані між внутрішніми гранями коліс через вигин вісі колісної пари через буксові вузли $\varepsilon_m = 4$ мм [4];
- найбільше значення зменшення відстані між внутрішніми гранями вагонних коліс (рис. 3.4) внаслідок температурних деформацій ободів коліс

після проведення службового гальмування $\varepsilon_m(\Delta t) = 10$ мм [16, 17];

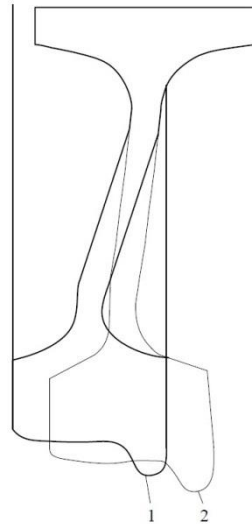


Рис. 3.4. Переміщення початкового профілю обода колеса (1) при максимальному нагріві (2) обода колеса притиснутими гальмівними колодками при виконанні службового або екстреного гальмування

- врахування нових ремонтних профілів з геометричними розмірами, наведеними в таблиці 3.1, за даними [73, 74];

- величина сумарного бічного тиску на головку рейкової нитки (H_{δ}) при одночасній дії вертикального $P_B = P_{стат} \cdot K_d$ і бічного навантаження (Y_{δ}) з урахуванням бічної розпірної сили (Y_m), визначалася за формулою:

$$H_{\delta} = Y_{\delta} + Y_m \quad (3.8)$$

3.2 Результати досліджень умов розпору рейкової колії

Величина сумарного бічного відтискання головки зовнішньої та внутрішньої рейок ($y_{розн}$) визначається за наступною емпіричною формулою, отриманої автором при проведенні експериментальних досліджень на реальній залізничній колії при одночасному впливі вертикальних сил (P_{δ}), бічної сили (H_{δ}) та розпірної сили Y_m :

$$\Sigma y_{\text{позн}} = (A + B \cdot P_{\text{в}}) H_{\text{б}} + (A + B \cdot P_{\text{в}}) Y_m = (A + B \cdot P_{\text{в}}) (H_{\text{б}} + 2Y_m), \quad (3.9)$$

де $A = 6.7 \cdot 10^{-2}$, $B = 0.024 \cdot 10^{-2}$ (емпіричні коефіцієнти) при вантажонапруженості ділянки колії $\Gamma \leq 40$ млн. ткм брутто/км рік або $A = 8.4 \cdot 10^{-2}$, $B = -3.0 \cdot 10^{-4}$ при вантажонапруженості ділянки колії $\Gamma \geq 41$ млн. ткм брутто/км рік (досліджено експериментально автором в роботі [6], при різних значеннях зусиль притиснення рейок до шпал); $P_{\text{в}}$ – вертикальне навантаження коліс на головку рейки; $H_{\text{б}}$ – горизонтальне навантаження на головку рейки.

З урахуванням нових факторів впливу, був запропоновано методику визначення небезпечного значення ширини рейкової колії, при якому можливий небезпечний розпір колії згідно з розрахунковою схемою (рис. 8)

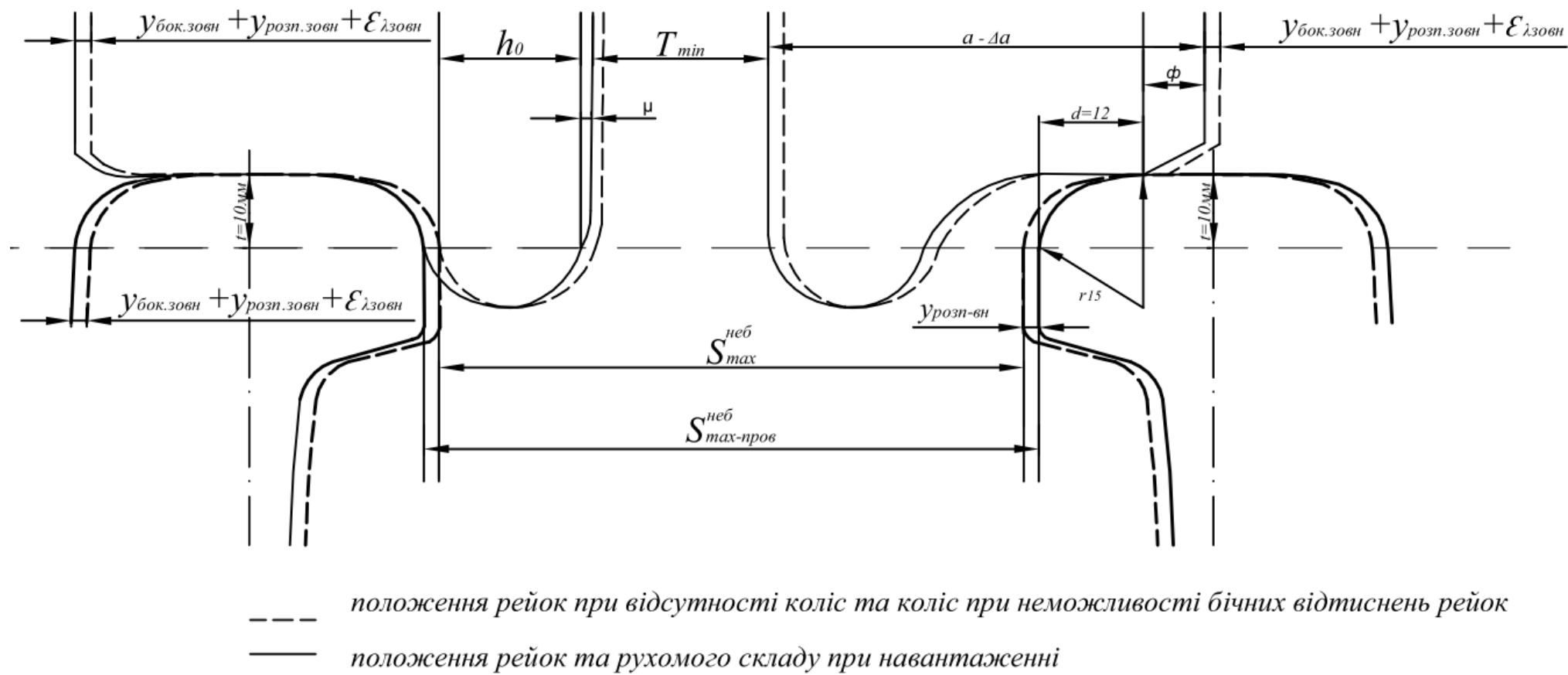


Рис. 8. Розрахункова схема для визначення максимальної небезпечної ширини рейкової колії

1. Максимальна ширина колії, за якою відбувається падіння (провалювання) колеса у колію, визначається за формулою:

$$S_{max-пров}^{неб} = q_{min} + a - \Delta a - \phi - d, \quad (3.10)$$

де q_{min} – мінімальна ширина колісної пари; a – ширина ободу по кресленням (наведено в таблиці 2); Δa – допуск на звуження ободу колеса при виготовленні (4 мм); ϕ – ширина фаски на ободі колеса (6 мм); d – горизонтальна проекція радіусу заокруглення бічної робочої грані головки рейки (12 мм).

Мінімальна ширина колісної пари q_{min} визначається за формулою:

$$q_{min} = h_0 + \mu + T_{min} - \varepsilon_q - \varepsilon_q(\Delta t),$$

де h_0 – товщина гребеня колеса, мм; μ – потовщення гребеня колеса; T_{min} – мінімальна ширина насадки коліс (1437 мм); ε_q – зміна ширини колісної пари за рахунок вигину вісі колісної пари (2 мм); $\varepsilon_q(\Delta t)$ – зміна ширини колісної пари за рахунок перегріву ободів коліс при службовому гальмуванні (10 мм).

2. Сила розпору визначається за формулою:

$$Y_m = \frac{P_\varepsilon}{m}, \quad (3.11)$$

де P_ε – вертикальне навантаження; m – конусність поверхні кочення колеса.

Твірна конусної поверхні кочення колеса створює кут α_m з площиною поверхні кочення головок рейок. Тоді $\operatorname{tg} \alpha_m = \frac{l}{m}$, та через подібність процесу розпору до процесу розклинення можна вважати, що сила розпору дорівнює $Y_m = P_\varepsilon \cdot \operatorname{tg} \alpha_m = \frac{P_\varepsilon}{m}$.

3. Величина бічної сили, що передається від колеса, що направляє:

$$H_\delta = (a_\delta + b_\delta \alpha_{mn}), \quad (3.12)$$

де a_δ , b_δ – коефіцієнти з графіків-паспортів та формули для визначення

бічної сили і приймається згідно рухомого складу.

4. Величина сумарного розпору обох рейкових ниток визначається за виразом:

$$\begin{aligned} \Sigma y_{розп} &= y_{бок-зовн} + y_{розп-зовн} + y_{розп-внутр} = (A+B \cdot P_{\epsilon}) H_{\epsilon} + (A+B \cdot P_{\epsilon}) Y_m + (A+B \cdot P_{\epsilon}) Y_m = \\ &= (A+B \cdot P_{\epsilon}) H_{\epsilon} + 2(A+B \cdot P_{\epsilon}) Y_m = (A+B \cdot P_{\epsilon})(H_{\epsilon} + 2Y_m), \end{aligned} \quad (3.13)$$

де A, B – емпіричні коефіцієнти для визначення бічних відтиснень головки рейки при одночасній дії вертикальних та бічних сил; H_{ϵ} – бічна сила; P_{ϵ} – вертикальне навантаження; Y_m – сила розпору.

5. Теоретична максимальна ширина рейкової колії:

$$S_{max-теор}^{неб} = S_{max-пров}^{неб} - \Sigma y_{розп} - \epsilon_{\lambda-зовн}; \quad (3.14)$$

6. Практична максимальна ширина рейкової колії:

$$S_{max-практ}^{неб} = S_{max-теор}^{неб} - \frac{b_{ел}}{2}. \quad (3.15)$$

Вихідні дані для виконання розрахунків небезпечної ширини рейкової колії згідно геометричних характеристик нових ремонтних профілів коліс, введених Укрзалізницею в Україні, наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Вихідні дані для виконання розрахунків небезпечної ширини рейкової колії

Ремонтні профілі (нормативна база)	Тип рух. складу	c , мм	a , мм	m_2	h_0 , мм	$P_{ст}$, кН	$\alpha_{нт}$, м/с ²	$\epsilon_{q(\Delta t)}$, мм	μ , мм
ДПТ-УЗ (ЦТ-ЦЛ-0062, рис. 5а)	вантажні вагони	20	130	3,5	33	105,0	0,3	10,0	1,0
	пасажирські вагони	20	130	3,5	33	71,25	0,7	0,0	1,0
ГОСТ 9036-38 (ЦТ-ЦЛ-0062, рис.5б)	вантажні вагони	30	130	10	33	105,0	0,3	10,0	1,0
	пасажирські вагони	30	130	10	33	81,0	0,7	0,0	1,0
Профіль вантажних і рефрижераторних вагонів (ЦТ-ЦЛ-0062, рис.5в)	вантажні вагони	30	130	10	30	105,0	0,3	10,0	1,0
	рефрижераторні вагони	30	130	10	30	81,0	0,7	0,0	1,0
ДСТУ ГОСТ 11018- 2005 шабл. РЛ 1 МУ 23311.3514.002 (ВНД-32.0:07.001-2001 рис. 6.16)	ЧС-4	40	140	3,5	33	102,5	0,7	0,0	0
	ТЕП-60	40	140	3,5	33	107,5	0,7	0,0	0

Кресл.4. ДСТУ ГОСТ 001ГУУ 23111.3534-002 (ВНД-32.0:07.001-2001 рис. 6.17)	вантажні вагони	30	130	3,5	32,318	81,0	0,7	0,0	1,0
	пасажирські вагони								
По кресленням 2 ГОСТ 9036 (ВНД- 32.0:07.001-2001 рис. 6.18)	вантажні вагони	30	130	10	32,318	105,0	0,3	10,0	1,0
	пасажирські вагони								

Геометричні характеристики нових ремонтних профілів коліс, введених Укрзалізницею в Україні, приведені на рисунках 3.5-3.8

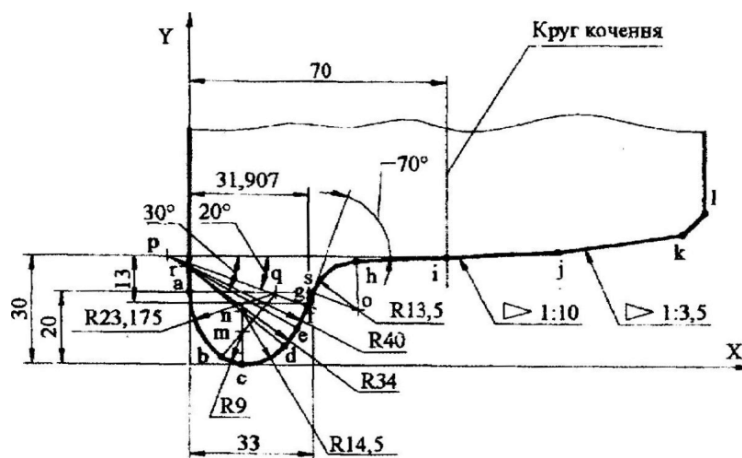


Рис. 3.5. Профіль бандажа колісної пари локомотива за кресленням

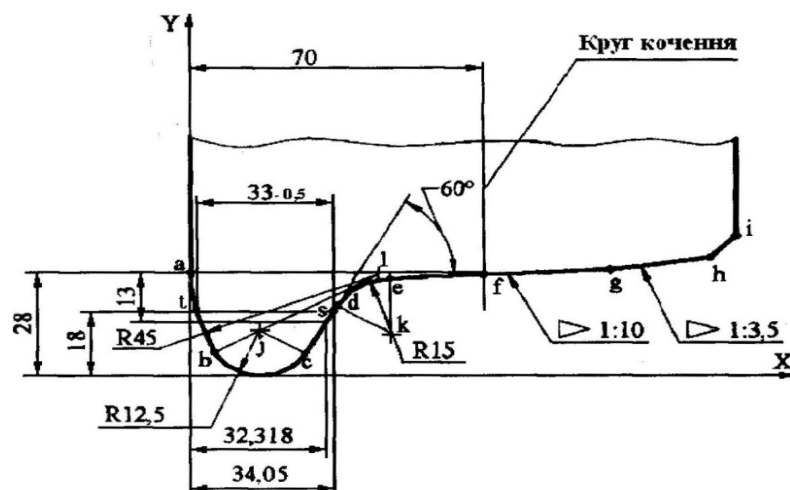


Рис. 3.6. Профіль бандажа колісної пари моторвагонного рухомого складу за кресленням

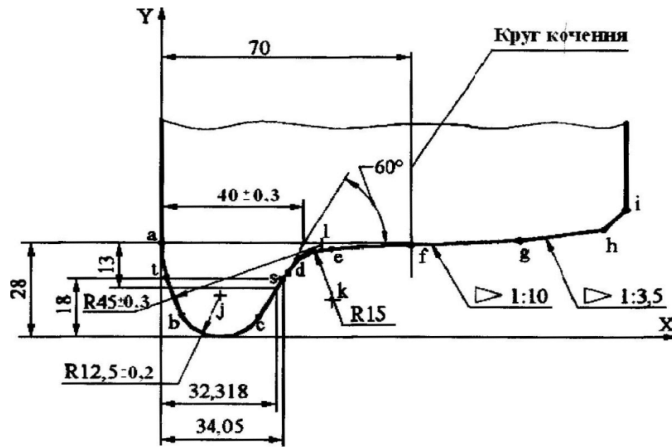


Рис. 3.7. Профіль ободу суцільнокатаного колеса колісної пари моторвагонного рухомого складу за креслеником

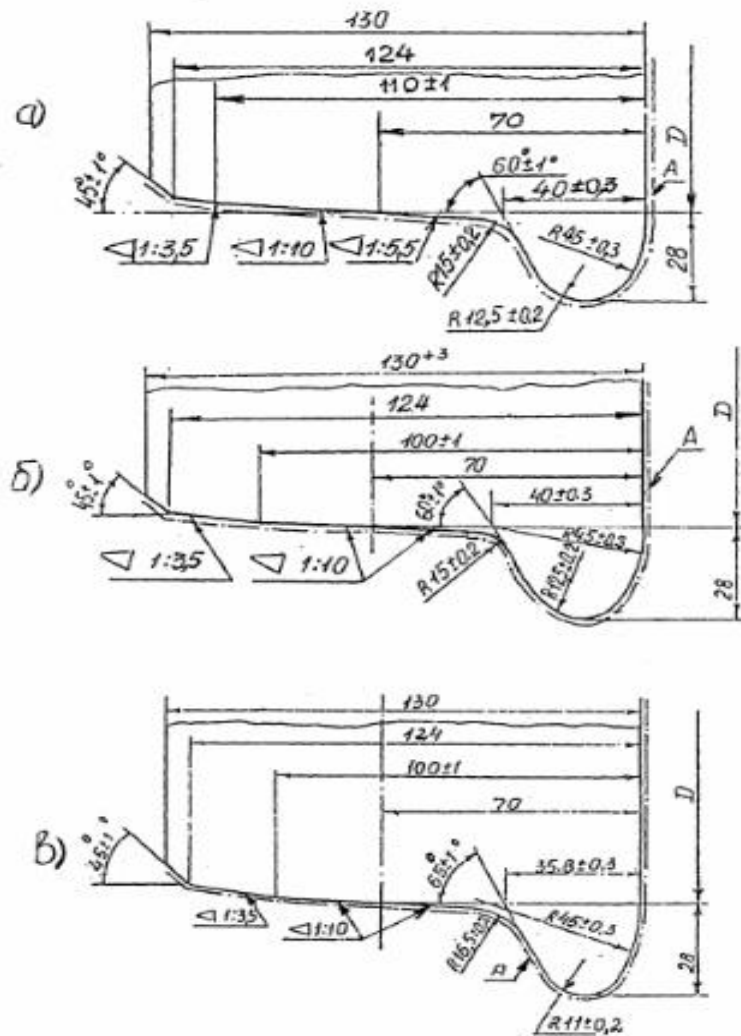


Рис. 3.8. Профілі поверхні кочення обробленого ободу колеса:
 а-вантажних вагонів з початковою товщиною гребеня 33 мм;
 б-коліс пасажирських і вантажних вагонів з початковою товщиною гребеня 33 мм ;
 в-профіль коліс вантажних і рефрижераторних вагонів з початковою товщиною гребеня 30 мм

Отримані результати розрахунків максимальної ширини рейкової колії для нових ремонтних профілів, введених Укрзалізницею в Україні, для ділянок руху рухомого складу для умов застосування службового або екстреного гальмування та окремо для умов руху до застосування службового або екстреного гальмування наведені в таблицях 3.2 та 3.3.

Таблиця 3.2

Результати розрахунків максимальної небезпечної ширини рейкової колії для ділянок руху рухомого складу, де застосовано службове гальмування

Ремонтні Профілі (нормативна база)	Тип рух. скл.	$\Gamma_0 < 40$ ^{млн.т.км.бр.} км.рік				$\Gamma_0 \geq 41$ ^{млн.т.км.бр.} км.рік			
		$S_{\text{тах-теор}}^{\text{неб}}$	$S_{\text{розп}}$	$S_{\text{тах-практ}}^{\text{неб}}$	$S_{\text{тах-практ}}^{\text{безп}}$	$S_{\text{тах-теор}}^{\text{неб}}$	$S_{\text{розп}}$	$S_{\text{тах-практ}}^{\text{неб}}$	$S_{\text{тах-практ}}^{\text{безп}}$
		ММ	ММ	ММ	ММ	ММ	ММ	ММ	ММ
ДПТ-УЗ (ЦТ-ЦЛ-0062, рис. 5а)	вант. ваг.	1561	1548	1558	1555	1561	1548	1557	1554
		1563	1550	1558	1555	1563	1549	1557	1554
	пас. ваг.	1564	1550	1559	1556	1564	1550	1558	1555
		1564	1550	1559	1556	1564	1550	1558	1555
ГОСТ 9036-38 (ЦТ-ЦЛ-0062, рис.5б)	вант. ваг.	1561	1537	1559	1556	1561	1537	1558	1556
		1563	1539	1559	1556	1563	1539	1558	1556
	пас. ваг.	1573	1549	1570	1567	1573	1549	1569	1566
		1573	1549	1570	1567	1573	1549	1569	1566
Профіль вантажних і рефрижераторних вагонів (ЦТ-ЦЛ-0062, рис.5в)	вант. ваг.	1568	1534	1556	1553	1568	1534	1555	1552
		1570	1536	1556	1553	1570	1536	1555	1552
	рефр. ваг.	1570	1546	1567	1564	1570	1546	1566	1563
ДСТУ ГОСТ 11018-2005 шабл. РЛ 1 МУ 23311.3514.002 (ВНД-32.0:07.001-2001 рис. 6.16)	ЧС-4	1580	1546	1576	1573	1580	1546	1575	1572
	ТЕП-60	1580	1546	1576	1573	1580	1546	1575	1572
Кресл.4. ДСТУ ГОСТ 001ТУУ 23111.3534-002 (ВНД-32.0:07.001-2001 рис. 6.17)	пас. ваг.	1573	1549	1568	1565	1573	1549	1567	1565
		1573	1549	1568	1565	1573	1549	1567	1565
По кресленням 2 ГОСТ 9036 (ВНД-32.0:07.001-2001 рис. 6.18)	вант. ваг.	1557	1533	1555	1552	1557	1533	1554	1552
		1559	1535	1555	1552	1559	1535	1555	1552

Таблиця 3.3

Результати розрахунків максимальної небезпечної ширини рейкової колії для ділянок руху рухомого складу де не застосовано службове гальмування

Ремонтні Профілі (нормативна база)	Тип рух. скл.	$\Gamma_0 < 40 \frac{\text{млн.т.км.бр.}}{\text{км.рік}}$				$\Gamma_0 \geq 41 \frac{\text{млн.т.км.бр.}}{\text{км.рік}}$			
		$S_{\text{тах-теор}}^{\text{неб}}$ мм	$S_{\text{розп}}$ мм	$S_{\text{тах-прак}}^{\text{неб}}$ мм	$S_{\text{тах-прак}}^{\text{без}}$ мм	$S_{\text{тах-теор}}^{\text{неб}}$ мм	$S_{\text{розп}}$ мм	$S_{\text{тах-прак}}^{\text{неб}}$ мм	$S_{\text{тах-прак}}^{\text{без}}$ мм
ДПТ-УЗ (ЦТ-ЦЛ-0062, рис. 5а)	вант. ваг.	1571	1548	1568	1565	1571	1548	1567	1564
	пас. ваг.	1574	1560	1569	1566	1574	1560	1568	1565
ГОСТ 9036-38 (ЦТ-ЦЛ-0062, рис.5б)	вант. ваг.	1571	1547	1569	1556	1566	1537	1558	1556
	пас. ваг.	1573	1549	1570	1567	1573	1549	1569	1566
Профіль вантажних і рефрижераторних вагонів (ЦТ-ЦЛ-0062, рис.5в)	вант. ваг.	1568	1544	1566	1563	1568	1544	1565	1562
	рефр. ваг.	1568	1544	1566	1563	1568	1544	1565	1562
ДСТУ ГОСТ 11018- 2005 шабл. РЛ 1 МУ 23311.3514.002 (ВНД-32.0:07.001-2001 рис. 6.16)	ЧС-4	1580	1546	1576	1573	1580	1546	1575	1572
	ТЕП-60	1580	1546	1576	1573	1580	1546	1575	1572
Кресл.4. ДСТУ ГОСТ 001ТУУ 23111.3534-002 (ВНД-32.0:07. 001-2001 рис. 6.17)	пас. ваг.	1573	1549	1568	1566	1573	1549	1567	1565
По кресленням 2 ГОСТ 9036 (ВНД-32.0:07.001-2001 рис. 6.18)	вант. ваг.	1567	1543	1562	1560	1567	1543	1563	1560

Сумарні величини пружних розширювань колії за рахунок відтиснень головок рейок під впливом бічної сили одночасно з силами розпору під час руху

з максимальними непогашеними прискореннями, дозволеними інструкцією ЦП-0269 наведені в таблиці 3.4

Таблиця 3.4

Сумарні величини пружних розширювань колії за рахунок бічних відтиснень головок рейок під впливом бічної сили (Σu_6).

Ремонтні Профілі (нормативна база)	Тип рух. скл.	$\Gamma_0 < 40 \frac{\text{млн.т.км.бр.}}{\text{км.рік}}$		$\Gamma_0 \geq 41 \frac{\text{млн.т.км.бр.}}{\text{км.рік}}$	
		при $P_e = P_{cm} \cdot k_g$	при $P_e = P_{cm}$	при $P_e = P_{cm} \cdot k_g$	при $P_e = P_{cm}$
ДПТ-УЗ (ЦТ-ЦЛ-0062, рис. 5а)	вант. ваг.	3,35	5,08	4,23	6,38
	пас. ваг.	4,45	4,36	5,60	5,47
ГОСТ 9036-38 (ЦТ-ЦЛ-0062, рис.5б)	вант. ваг.	1,90	3,45	2,40	4,33
	пас. ваг.	2,80	3,0	3,50	3,75
Профіль вантажних і рефрижераторних вагонів (ЦТ-ЦЛ-0062, рис.5в)	вант. ваг.	1,90	3,45	2,40	4,08
	рефр. ваг.	2,8	3,0	3,50	3,75
ДСТУ ГОСТ 11018-2005 шабл. РЛ 1 МУ 23311.3514.002 (ВНД-32.0:07.001-2001 рис. 6.16)	ЧС-4	3,7	6,03	4,43	7,46
	ТЕП-60	3,3	5,29	4,17	6,65
Кресл.4. ДСТУ ГОСТ 001ТУУ 23111.3534-002 (ВНД-32.0:07.001-2001 рис. 6.17)	пас. ваг.	4,46	6,05	5,60	5,55
По кресленням 2 ГОСТ 9036 (ВНД-32.0:07.001-2001 рис. 6.18)	вант. ваг.	1,9	3,3	2,4	4,1

Висновки за розділом 3

На підставі аналізу отриманих результатів з урахуванням того, що контакт колеса і рейки відбувається не в точці, а по еліпсу з шириною $a_{\text{ел}} = 5$ мм (максимальне значення згідно з [4,109]), можна рекомендувати наступні значення небезпечної ширини колії:

- ділянки колії з вантажонапруженістю $\Gamma < 40$ млн. ткм брутто/км рік

$$S_{\text{неб}} = 1568 - 5 = 1563 \text{ мм}$$

- ділянки колії з вантажонапруженістю $\Gamma \geq 41$ млн. ткм брутто/км рік

$$S_{\text{неб}} = 1555 - 5 = 1550 \text{ мм}$$

Саме при такій ширині колії, але не більше, можна дозволити рух зі встановленими швидкостями за умови, що всі зазначені одиниці рухомого складу допущено до руху на даних ділянках колії.

Але з урахуванням того, що гранична величина бічного зносу (дефект 44) [27] не може бути більше 20 мм для ділянок безстикової колії з вантажонапруженістю $\Gamma < 40$ млн. ткм брутто/км рік, встановлена ширина колії в кривих радіусом менше 650 м не може бути більше 1545 мм, по діючій інструкції ЦП-0269, а в роботі запропонована небезпечна ширина колії 1550 мм зі збереженням встановлених швидкостей руху.

Отримані результати доводять необхідність проведення в подальшому детальних досліджень для більш розширеного кола одиниць рухомого складу ніж ті, які були розглянуті, так як були відсутні графіки-паспорта бічного впливу на рейкову колію для сучасного рухомого складу. Необхідно розглянути всі наявні на залізницях України одиниці рухомого складу і також перспективні локомотиви і вагони, для того, щоб отримати всеосяжні результати і розробити остаточні рекомендації щодо максимальної небезпечної ширини колії, яку необхідно нормувати для ділянок безстикової колії, які мають залізобетонне підрейкову основу не тільки з кріпленнями типу КБ, але й іншими типами скріплень, які поступово впроваджуються в практику експлуатації безстикової

колії з залізобетонними шпалами (КПП-1, КПП-5) і перспективні, які випробовуються на ділянках визначених рішеннями ЦП-УЗ.

В роботі [105] розглянуто бічний вплив сучасного рухомого складу, який обертається на залізницях України, в тому числі у кривих малих радіусів (до 300 м). Силовий бічний вплив сучасного рухомого складу вітчизняного виробництва, а також модернізованого, в усіх випадках суттєво знижений з метою покращення умов взаємодії колії та рухомого складу. З часом, коли існуючий рухомий склад вагонів та локомотивів буде в значній мірі змінено на новий, виникне потреба переглянути норми максимальної небезпечної ширини рейкової колії в бік її збільшення.

Отримані результати розрахункових значень бічних відтиснень головки зовнішньої рейкової нитки, що наведені в таблиці 3.4 дуже добре корегуються з наведеними в джерелах [119, 128] результатами експериментальних досліджень у діючій колії зі скріпленнями типу КБ-65, але не вказаними зусиллями притиснення рейкових плетей до підрейкової основи. Як правило, в описах, наведених авторами досліджень фігурує побутовий рівень натягу клемних та закладних болтів, або нормальна затяжка, що є тим самим рівнем, близьким до розрахункових значень, при яких автором отримані результати в даній дисертаційній роботі.

РОЗДІЛ 4

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ВИКОРИСТАННЯ НОВИХ НОРМ НЕБЕЗПЕЧНОЇ ШИРИНИ РЕЙКОВОЇ КОЛІЇ З ПРОМІЖНИМИ РЕЙКРОВИМИ СКРІПЛЕННЯМИ ТИПУ КБ-65 В БЕЗСТИКОВІЙ КОЛІЇ З ЗАЛІЗОБЕТОННИМИ ШПАЛАМИ НА ЗАЛІЗНИЦЯХ УКРАЇНИ

4.1 Методика проведення техніко-економічної оцінки використання нових норм небезпечної ширини рейкової колії з проміжними рейковими скріпленнями типу КБ-65

Автором дисертаційної роботи досліджено теоретично та експериментально, що на ділянках безстикової залізничної колії зі скріпленнями роздільного типу, де рухомий склад рухається в тяговому режимі, доцільно збільшити існуючу норму небезпечної ширини рейкової колії – 1548 мм [75] до 1552 мм, а на ділянках, які розташовані безпосередньо за зоною застосування службового гальмування (як правило, станційні або сортувальні та паркові колії) до 1552 мм.

Останній раз небезпечну ширину рейкової колії встановлювали без урахування багатьох факторів ще в середині 90-х років, які стали відомі експлуатаційникам рухомого складу та колії протягом останніх 20 років. Вплив цих факторів на визначення небезпечної ширини рейкової колії вперше було досліджено саме автором дисертаційної роботи, починаючи з 2005 року, коли за результатами роботи вчених українських науково-дослідних та академічних вищих начальних закладів та російських вчених ВНДЗІТу в рамках програми «Колесо-рейка» було створено нові ремонтні профілі коліс рухомого складу. Нові ремонтні профілі коліс призначені суттєво подовжити терміни експлуатації рухомого складу між черговими обточеннями поверхонь катання коліс та надплановими змінами рейкових плітей з наднормативним боковим зносом на нові, при наявності поздовжніх тріщин, або з заміною робочого канта, якщо інтенсивність бокового зносу перевищує нормативні величини,

встановлені нормативами [27] для кривих:

- $R = 300-400$ м – 0,05 мм/млн.т.брутто

- $R = 401-500$ м – 0,04 мм/млн.т.брутто

- $R = 501$ м і більше – 0,03 мм/млн.т.брутто

Традиційно більшість вчених вважають, що збільшення ширини рейкової колії сприяє зростанню бічного впливу рухомого складу на колію та інтенсивності бічного зносу гребенів коліс рухомого складу та рейок. На підставі цього в 1971 році в СРСР було впроваджено норматив ширини рейкової колії 1520 мм замість 1524 мм в прямих ділянках колії та кривих радіусом більше 350 м після проведення довготривалих наукових досліджень вчених ВНДЗІТу, ЛШЖТу, ХІІТу, ДІІТу та широкого кола спеціалістів-експлуатаційників [85]. У зв'язку з цим виникає питання, чи не нашкодить збільшення ширини рейкової колії за межі існуючого обмеження (1548 мм) умовам взаємодії коліс та рейок.

На той час, в кінці 60-х років інтенсивність бічного зношування рейок на дослідних та контрольних ділянках була практично однаковою та складала: 0,013 мм/млн.т.брутто в кривих радіусом 325 м при ширині колії 1520 мм; 0,0117 мм/млн.т.брутто в кривих радіусом 420 м та 0,009-0,01 мм/млн.т.брутто в кривих радіусом 600-650 м та максимальне осьове навантаження вагонів складало 21,5 тс.

В наступні роки, починаючи з 1971 року відбувалось поступове збільшення осьового навантаження, спочатку до 22,5 тс, а далі до 25,75 тс (з 1985 р. до 1990 р.). Зростання інтенсивності бічного зношування рейок в кінці 80-х років добре спостерігається на прикладі Забайкальської залізниці, де вже було запроваджено нову норму ширини колії 1520 мм, як на всій залізничній мережі.



Рис. 4.1. Приклад бічного зносу головки рейки на 15 мм без утворення полочки



Рис. 4.2. Приклад бічного зносу головки рейки до 10 мм

Інтенсивність бічного зношування рейок в кривих радіусом менших 400 м на загартованих рейках Р65 за даними А.Н. Нікуліна становила:

- 1981 р. – 3,75 мм/100 млн.т.брутто;
- 1982р. – 4,28 мм/100 млн.т.брутто;
- 1983р. – 6,25 мм/100 млн.т.брутто;

- 1984р. – 8,8 мм/100 млн.т.брутто;
- 1985р. – 10,7 мм/100 млн.т.брутто;
- 1986р. – 12 мм/100 млн.т.брутто;
- 1987р. – 16,6 мм/100 млн.т.брутто;
- 1988р. – 25 мм/100 млн.т.брутто.

Таким чином, за 14 років в період 1968-1981 рр. інтенсивність бічного зношування рейок збільшилась у 3 рази з 1,17 до 3,75 мм/100 млн.т.брутто, то з 1981 р. по 1988 р. – більше ніж у 6 разів. Таке збільшення свідчить, що є більш вагомі фактори ніж ширина колії. Як свідчать дослідження закордонних вчених [109], такі самі дані спостерігаються на залізницях Південної Європи, Іде має місце велика кількість кривих ділянок малих радіусів зі скріпленнями роздільного типу. Саме через надінтенсивний бічний знос рейок та їх дуже високу вартість виникла технологія переукладання рейкових плітей зі зміною робочого канту. Результати останніх багаторічних наукових досліджень [76] не підтверджують впливу збільшення ширини рейкової колії на інтенсивність бічного зносу рейок. Отримані достовірні дані про те, що ширина колії від 1520 до 1540 мм не впливає суттєво на бічний знос рейок. Бічний знос рейок на внутрішніх нитках відсутній. На більшості робочих граней внутрішніх рейкових ниток кривих радіусом 600 м та менших відсутні навіть сліди торкання гребенів коліс до рейок.

На підставі багаторічних досліджень зношування рейок на Західно-Сибірській та Східно-Сибірській залізницях [76] отримана наступна залежність величини бічного зносу головки рейки від напрацьованого тоннажу (T) в млн.т.брутто:

$$h_b = 0.07 \cdot T \cdot K_R \cdot K_P \cdot K_T \cdot K_i \cdot K_c \quad (4.1)$$

де $K_R = (400/R)^2$ – враховує величину радіуса кривої; $K_P = (P/170)^{0,55}$ – враховує величину осьового навантаження; $K_T = (350/H_b)^{3,5}$ – враховує твердість металу рейок по Бринелю; $K_c = (i_p/9)^{0,3}$ – враховує змащення рейок; T – напрацьований

тоннаж, млн.т.брутто.

Напрацювання рейкою тоннажу до зміни її на старопридатну чи нову можна визначати за наступною залежністю:

$$T = \frac{h_{\delta}}{0,07 \cdot K_R \cdot K_p \cdot K_T \cdot K_i \cdot K_c} \quad (4.2)$$

при $h_{\delta} = [h_{\delta}] = 15$ мм.

При осьовому навантаженні $P = 170$ кН, якщо всі коефіцієнти впливу прийняти рівними одиниці, отримано вираз:

$$T = 214,3 \cdot (R/400)^2 = 1,34 \cdot 10^{-3} \cdot R^2 \quad (4.3)$$

при осьовому навантаженні $P = 90$ кН:

$$T = 304,3 \cdot (R/400)^2 = 1,9 \cdot 10^{-3} \cdot R^2 \quad (4.4)$$

Таблиця 4.1

Кількість додаткових змін рейок через бічний знос понад 15 мм в кривих продовж міжремонтного періоду ($T_H = 600$ млн.т.брутто, без лубрикації)

Осьове навантаження, кН	Радіус кривої, м								
	250	300	350	400	450	500	550	600	650
170	6	4	3	2	1	1	1	0	0
90	4	3	2	1	1	0	0	0	0

Встановлено, що головним фактором, що впливає на інтенсивність бічного зносу головки рейки є радіус кривої. А дослідженнями вчених СГУПСу [79] доведено, що найбільша інтенсивність бічного зносу рейок має місце при проміжних рейкових скріплення типу КБ (було проведено дослідження при скріпленнях типів КБ, АРС-4, ЖБР-65ПШ, СМ-1). Доведено, що термін служби рейкової плити до виникнення бічного зносу до 20 мм, вище якого рейку замінюють на нову в першочерговому порядку становить при скріпленнях типу КБ – 199,8 млн.т.брутто (рейки диференційно-термозміцненні типу ДТ-350 в кривій ділянці колії радіусом 301-343 м).

Велика кількість факторів впливу дуже ускладнює будь-які розрахунки, через складність визначення значень коефіцієнтів впливу, які в кінцевому значенні зводяться до величини інтенсивності бічного зносу рейки. Цю величину можна без особливих складностей визначати експериментально шляхом регулярних замірювань, саме це виконують працівники діагностичних центрів залізниць, а тому в даній роботі передбачено використання цього параметру, який прописано в нормативному документі ЦП-0269 [27].

Отже, запропоновані автором дисертаційної роботи нові норми небезпечної ширини рейкової колії не мають шкідливого впливу на умови взаємодії коліс та рейок. Аналіз нормативних значень ширини рейкової колії [75], та умов пропущення рухомого складу по рейках, вражених дефектом 44 [27], які допускають встановлені по допустимих непогашених прискореннях швидкості руху при величині бічного зносу – до 15 мм. При більших значеннях величин бічного зносу головки рейки швидкості руху значно обмежуються (табл. Д.8.16) [27], що в усіх випадках призводить до підвищення інтенсивності зносу як ходових частин рухомого складу так і колії.

При нормативній ширині рейкової колії 1535 мм в кривих ділянках колії при радіусах 200-450 м, та конструкції проміжного рейкового скріплення типу СКД-65 при допустимій величині бічного зносу головки рейки – 15 мм, ширина колії при існуючій нормативній величині небезпечної ширини рейкової колії – 1548 мм буде перевищувати цей норматив на 2 мм, а якщо врахувати, що максимальна ширина рейкової колії, при якій норми не вимагають знижувати швидкість руху – 1545 мм, то ресурс допустимого бічного зносу рейки повністю не використовують. В кривих радіусом менше 650 м – при наявності бічного зносу головки рейки – 10 мм, ширина колії не дозволяється більша за 1545 мм зі збереженням встановленої на ділянці колії швидкості руху. При цьому максимальна величина бічного зносу не може бути вищою 10 мм, що свідчить про те, що допустимий ресурс рейки по величині бічного зносу не вичерпується повністю.

Таким чином, при впровадженні нових норм максимальної небезпечної

ширини рейкової колії можна збільшити ресурс напрацювання рейкових плітей, який, в залежності від експлуатаційних умов, які можна узагальнити рівнем інтенсивності бічного зносу рейок, який повинен бути більшим за встановлені мінімальні величини, які наведено вище, та які регламентовано в таблиці 8.1 ЦП-0269 [27]. Ці розрахункові значення становитимуть від 0,06 мм/млн.т.брутто, до 0,1 мм/млн.т.брутто.

Розрахунковий тоннаж до повної заміни верхньої будови колії-міжремонтний тоннаж, прийнято згідно з [87]:

- для термозміцнених рейок – 800 млн.т.брутто;
- для рейок без зміцнення – 650 млн.т.брутто.

Згідно до правил виконання техніко-економічних розрахунків на залізничному транспорті [83] при порівнянні варіантів достатньо використовувати лише ті показники, що відмінні по варіантах що порівнюються. Для з'ясування цих показників розглянемо саму технологію перекладання рейкових плітей.

Головна відмінність цієї колійної технологічної операції є те, що вона виконується за рахунок поточного утримання колії, а не як окремий вид ремонту колії, а тому по всіх варіантах не враховуються трудові витрати монтерів колії та інші витрати, що пов'язані з використанням дрезин ДГКу та локомотива, що належать парку колійних машин дистанції колії. Головними показниками для порівняльних варіантів залишаються матеріальні витрати, якими можуть бути лише витрати на нові рейкові пліті, в разі, якщо інтенсивність бічного зносу головки рейки не перевищує нормативні значення, наведені в таблиці 8.1 [27], саме через те, що при таких значеннях інтенсивності бічного зносу в рейкових плітях, як правило, мають місце поздовжні тріщини і такі пліті не можна повторно укладати у колію зі зміною робочого канту, як це передбачено в пункті 8.3 [27], де перекладання рейкових плітей безстикової колії виконується згідно з технологією, наведеною в п. 4.5 «Правила і технологія виконання робіт при поточному утриманні залізничної колії» [78], та технічних вказівок по використанню старопридатних матеріалів верхньої

будови колії на залізницях України [86]. На залізницях СНД використовують аналогічні технології на поточному утриманні залізничної колії, які приведено в інструкціях [78, 80, 81, 84].

Не зважаючи на те, що ресурсозбереження є найбільш економічним напрямком розвитку колійного господарства, у Розпорядженні Кабінету Міністрів України від 20 жовтня 2010 року № 2174-р «Про схвалення Транспортної стратегії України на період до 2020 року» [93] немає жодного напрямку розвитку колійного господарства по впровадженню ресурсозбереження. При цьому в цій стратегії відзначено, що «Серйозними проблемами галузі транспорту є значний знос основних виробничих фондів, зокрема рухомого складу, недостатній обсяг інвестицій, необхідних для оновлення та забезпечення інноваційного розвитку матеріально-технічної бази галузі, обмеженість бюджетного фінансування та амортизаційних відрахувань, недосконалість механізму лізингу, низький рівень використання транзитного потенціалу держави». В той час як на залізницях Російської Федерації відповідно до наказу МШС від 16.08.94 № 12 Ц «О переходе на новую систему ведения путевого хозяйства на основе повышения технологического уровня и внедрения ресурсосберегающих технологий» значно зросли обсяги повторного використання рейкових плітей після реновації матеріалів верхньої будови колії та поширеного застосування ресурсозберігаючих технологій. З метою реалізації заходів згідно рішення колегії МШС № 35 від 21-22 жовтня 1994 року на підставі матеріального заохочення працівників залізниць, здійснюючих впровадження ресурсозберігаючих технологій, МШС наказало:

1. Затвердити «Методичні рекомендації щодо визначення економічного ефекту в колійному господарстві при впровадженні ресурсозберігаючих та прогресивних технологій на поточному утриманні та ремонтах колії та положення про стимулювання колективів підприємств, їх підрозділів та окремих робітників за застосування ресурсозберігаючих технологій та прогресивних технологій в колійному господарстві». При перекладанні рейок зі зміною робочого канту розмір відрахувань для стимулювання працівників

складає 15 %.

2. Начальникам залізниці забезпечити впровадження ресурсозберігаючих технологій, прийняти необхідні заходи щодо стимулюванню праці конкретних виконавців за кінцеві результати праці.

На даний час залізничний транспорт України посідає четверте місце в світі після Росії, США і Канади за величиною вантажообігу, за обсягом вантажних перевезень та у двічі перевищує сумарний обсяг перевезень разом узятих дванадцятьох країн Європейського співтовариства [88]. Та у зв'язку з критичним ступенем фізичного і морального зносу об'єктів інфраструктури та відсутністю необхідного обсягу внутрішніх фінансових ресурсів оновлення організації пасажирських та вантажних перевезень є досить віддаленою перспективою. Як зауважено в роботі [89] потреби залізничного транспорту в інвестиціях задовольняються лише на 25-30 %, в результаті чого рівень зношення основних виробничих засобів зріс до 79,9 %. Це, не зважаючи на те, що основним напрямком стратегічного розвитку залізничного транспорту є розвиток транспортної інфраструктури [90] та модернізація рухомого складу, проте втіленню цього напрямку загрожує обмеженість фінансування.

На цю проблему вказує [91], підкреслюючи, що «Колійне господарство є одним з найбільш фондомістких на залізничному транспорті, характеризується значною територіальною протяжністю і водночас подібністю проблем і перспектив розвитку по всій довжині ліній залізниць країни».

На важливість дбайливого застосування ресурсозбереження в колійному господарстві вказують дослідження [92]: «Витрати, котрі залізниця несе на утримання колійної інфраструктури, досить значні. Так, виконання колійних робіт з ремонту та заміни елементів верхньої будови колії займає біля 50 % всіх поточних витрат, які йдуть на утримання та налагодження надійної та ефективної роботи залізничних магістралей. Варто зазначити, що продовження строків роботи будь-якого окремого елемента верхньої будови колії та всієї магістралі і рівень забезпечення колійного господарства відповідною технікою, сприяє значній економії коштів як на поточне утримання, так і на ремонт».

Виходячи з викладеного, техніко-економічну оцінку використання нових норм небезпечної ширини рейкової колії автор вважає за доцільне проводити в напрямку порівняння матеріальних витрат на рейкові ресурси, які заощаджуються через подовження терміну експлуатації рейкових плітей внаслідок повного вичерпання встановленої нормативами величини допустимого бічного зносу рейкової пліти – 15 мм, яка дозволяє експлуатацію колії рухомим складом при встановлених максимальних швидкостях руху пасажирських та вантажних поїздів.

Для виконання порівнювальних розрахунків передбачено для кожного з варіантів розрахувати кількість змін рейкових плітей, бічний знос яких сягнув 15 мм в міжремонтний тоннаж в залежності від експлуатаційних умов, зведених до інтенсивності бічного зносу головки рейки:

$$N_{з.м} = \frac{T_m}{\Delta t_{з.м}} - 1, \quad (4.5)$$

де T_m – міжремонтний тоннаж, млн.т.брутто; $\Delta t_{з.м}$ – напрацювання тоннажу рейкою до величини бічного зносу головки рейки $h_{\delta} = 15$ мм, млн.т.брутто.

Величина тоннажу напрацювання рейки до величини бічного зносу головки рейки визначаємо за допомогою наступного виразу:

$$\Delta t_{з.м} = \frac{h_{\delta}}{i_{з.н}}, \quad (4.6)$$

де при базовому варіанті $h_{\delta} = h_{\delta}^{баз}$ – фактична величина бічного зносу головки рейки, при досягненні якої не вимагається обмеження швидкості руху, $h_{\delta} = 10$ мм ($1545 - 1535 = 10$ мм) при існуючій нормі небезпечної ширини рейкової колії (базовий варіант).

При новій, розробленій в даній дисертаційній роботі нормі небезпечної ширині рейкової колії, можна повністю вичерпати допустиму величину бічного зносу головки рейки ($1560 - 1535 = 25$ мм), тому при впровадженні нової норми небезпечної ширини рейкової колії $h_{\delta} = h_{\delta}^{нов} = 15$ мм (новий варіант).

В усіх випадках інтенсивність бічного зносу головки рейки приймається

не залежно від загартованості рейок в діапазоні значень, які передбачають, що при інтенсивності бічного зносу меншою, або рівною 0,05 мм/млн.т.брутто – в рейках накопичуються дефекти у вигляді поздовжніх тріщин, через що дефектні рейки замінюються новими рейками, а при інтенсивності бічного зносу більшій 0,05 мм/млн.т.брутто виконують заміну рейкових плітей зі зміною робочого канту та перекладають старопридатні рейки. Таким чином, в першому випадку можна визначати економічну оцінку, як заощадження витрат на укладання нових рейкових плітей, у другому, лише соціальний ефект, тому, що весь комплекс колійних робіт з перекладання має надвисокий рівень небезпек для монтерів колії через великі ризики отримати травми робітниками при виконанні робіт з рейковими плітями в умовах надскладного процесу, під час якого не можливо контролювати ні фактичну температуру рейкових плітей, ні можливі поздовжні температурні сили, що виникають в плітях під час їх перекладання, які нерідко приводять до втрати стійкості плітей в кривих ділянках колії при сонячному опромінюванні, та недосконале технологічне обладнання, яке використовують для переміщення рейкових плітей та їх спрямування на нові місця кріплення з внутрішньої рейкової нитки на зовнішню. Крім того, головною мотивацією перекладання рейкових плітей є заощадження коштів, яких у колійному господарстві не вистачає на укладання нових рейкових плітей через те, що фінансування колійного господарства здійснюється по залишковому принципу, а не по фактичним потребам поточного утримання колії.

Крім того, витрати праці на перекладання рейкових плітей зі зміною робочого канта становлять не менше 320 людино-годин (40 монтерів колії), та виконують у 6-годинне «вікно» в графіку руху поїздів, з підготовчим періодом 2 години, та опоряджувальними роботами після «вікна». Ще, через те, що весь комплекс основних робіт виконують у «вікно» завжди будуть додаткові втрати на затримання поїздів, які залежать від багатьох конкретних факторів (швидкості руху, вантажних поїздів) і тому не розглядаються в даному випадку, де розглядається вплив лише можливості додаткового використання ресурсу

найбільше коштовного матеріалу верхньої будови колії – рейок, відповідно до встановлених норм, які, існуюча норма небезпечної ширини рейкової колії, не дозволяє використовувати через не обґрунтовані обмеження. Рейки типу Р65 (згідно ДСТУ 4344-2004 р.), не загартовані, на 01.06.2018 року з урахуванням ПДВ коштують 29000 грн/т. Загартовані рейки Р65 коштують не нижче 45000 грн/т.

Виходячи з викладеного, для визначення техніко-економічної оцінки впровадження нових норм розміру небезпечної ширини рейкової колії в безстиківій колії зі скріпленнями типу КБ-65 та СКД-65 для термічно загартованих рейок, які вкладаються на ділянках з вантажонапруженість вищою за 41 млн. ткм брутто/км рік, та для незагартованих рейок при вантажонапруженості до 40 млн. ткм брутто/км рік, та визначати як економію матеріалів та соціальний ефект від скорочення небезпечних умов праці при виконанні робіт з незакріпленими рейковими плітьми в умовах непрогнозованої та неконтрольованої зміни температури старопридатних, але не пройшовших реновацію рейкових плітей, які перекладають зі зміною робочого канту.

4.2 Результати проведення техніко-економічної оцінки

4.2.1 Термозміцнені рейкові пліті

Нормативний термін служби в головній колії термозміцнених рейкових плітей згідно норм [14] складає $T_m = 800$ млн.т.брутто. Враховуючи додаткову кількість суцільних змін рейок в кривих ділянках радіусом менше 650 м – не менше 1 зміни. Суцільна зміна рейок на старопридатні згідно п. 2.3.11 [87] може здійснюватися як окремий вид робіт, або поєднуватися з середнім чи комплексно-оздоровчим ремонтами. Як правило, при досягненні максимально допустимої величини бічного зносу головки рейки з метою виключення

необхідності обмежування встановленої швидкості руху через розширення колії понад 1545 мм, рейкову пліть, що не має вихід рейок по дефектах, що перевищує встановлений норматив $n_p = 3$ шт/км та більше для безстикової колії I-III категорій, та $n_p = 4$ шт/км, для колій IV-V категорій.

Враховуємо лише ділянки з високою інтенсивністю бічного зносу $i_{zn} = 0,06 - 0,1$ мм/млн.т.брутто, згідно вимог нормативу [75], які враховують те, що в цих випадках в рейках не накопичуються поздовжні тріщини, що дозволяє їх використовувати як старопридатні зі зміною робочого канту. В інших випадках, при $i_{zn} \leq 0,05$ мм/млн.т.брутто, рейкові пліті з величиною бічного зносу $h_b \geq 15$ мм замінюють на нові рейкові пліті.

В таблиці 4.2 наведено результати розрахунків кількості суцільних змін рейкових плітей при інтенсивності бічного зносу 0,06-0,1 мм/млн.т.брутто, при напрацюванні величини бічного зносу при базовому варіанті ($S_{max} = 1545$ мм) та запропонованому варіанті ($S_{max} = 1550$ мм).

Таблиця 4.2

Результати розрахунків кількості суцільних змін рейкових плітей

i_{zn} , мм/млн.т.бр.	$S_{max} = 1545$ мм		$S_{max} = 1550$ мм	
	Δt_{zm} , млн.т.брутто	N_{zm}	Δt_{zm} , млн.т.брутто	N_{zm}
0,06	166	3,8	250	2,2
0,07	142	4,6	214	2,7
0,08	125	5,4	188	3,25
0,09	111	6,2	167	3,8
0,10	100	7,0	150	4,33

Для випадків, коли інтенсивність бічного зносу головки рейки складає величину $i_{zn} \leq 0,05$ мм/млн.т.брутто, згідно умов [75] розрахунки приведені в таблиці 4.3 при базовому варіанті $S_{неб} = 1548$ мм (при $S_{max} = 1545$ мм).

Таблиця 4.3

Результати розрахунків кількості суцільних змін рейкових плітей

$$S_{неб} = 1548 \text{ мм (} S_{max} = 1545 \text{ мм)}$$

i_{zn} , мм/млн.т.бр.	$\Delta T_{зм}$, млн.т.бр.	$N_{зм}$
0,05	200	3
0,04	250	2,2
0,03	333	1,4

В таблиці 4.4 приведені результати розрахунку для рекомендованого значення максимальної допустимої ширини колії $S_{max} = 1550$ мм при інтенсивності бічного зносу 0,03-0,05 мм/млн.т.брутто, при напрацюванні величини бічного зносу $h_{\delta} = 15$ мм.

Таблиця 4.4

Результати розрахунків кількості суцільних змін рейкових плітей

$$S_{max} = 1550 \text{ мм}$$

i_{zn} , мм/млн.т.бр.	$\Delta T_{зм}$, млн.т.бр.	$N_{зм}$
0,05	300	1.7
0,04	375	1.13
0,03	500	0.6

В таблиці 4.5 приведена економія кількості суцільних змін рейкових плітей зі зміною робочого канту на старопридатні при впровадженні нового значення максимальної допустимої ширини рейкової колії $S_{max} = 1550$ мм.

Таблиця 4.5

Економія кількості суцільних змін рейкових плітей

i_{zn} , мм/млн.т.бр	Δn	Економія кількості змін
0,05	1,3	1
0,04	1,07	1
0,03	0,8	1

При вартості рейки Р65 $C_p = 45000$ грн/т, вартість однієї пліти Р65 (загартованої) довжиною 800 м становить:

$$C_{nl} = q_{nl} \cdot L_{nl} \cdot C_p / 1000 = 64,64 \cdot 800 \cdot 45000 / 1000 = 2327040 \text{ грн}$$

де q_{nm} – погонна вага рейки Р65, (64,64 кг/пм); $L_{пл}$ – найбільша довжина рейкової пліти, виходячи з умов транспортування її рейковозним поїздом за умов розміщення составу на станції без перекриття сигналів; C_p – ціна 1 т рейки, грн/т, (45000 грн/т).

На підставі отриманих результатів в усіх розглянутих випадках заощаджується не менше 2327040 грн за міжремонтний термін експлуатації колії, за рахунок економії витрат на укладання нових рейкових плітей в зовнішню рейкову нитку кривої ділянки колії, де експлуатуються термічно загартовані рейки типу Р65.

4.2.2 Рейкові пліти без зміцнення

Нормативний термін служби в головній колії рейкових плітей без зміцнення згідно норм [87] складає $T_m = 650$ млн.т.брутто.

Враховуємо спочатку ділянки з високою інтенсивністю бічного зносу $i_{zn} = 0,06-0,1$ мм/млн.т.брутто, згідно вимог нормативу [75], які враховують те, що в цих випадках в рейках не накопичуються поздовжні тріщини, що дозволяє їх використовувати як старопридатні зі зміною робочого канту. В інших випадках, при $i_{zn} \leq 0,05$ мм/млн.т.брутто, рейкові пліти з величиною бічного зносу $h_6 \geq 15$ мм замінюють на нові рейкові пліти.

В таблиці 4.6 приведено результати розрахунків кількості суцільних змін рейкових плітей при інтенсивності бічного зносу 0,06-0,1 мм/млн.т.брутто, при напрацюванні величини бічного зносу $h_6 = 10$ мм (1545 мм – 1535 мм) для базового варіанту $S_{неб} = 1548$ мм ($S_{max} = 1545$ мм) та для рекомендованого значення максимальної допустимої ширини колії $S_{неб} = 1552$ мм ($S_{max} = 1550$ мм) при напрацюванні величини бічного зносу $h_6 = 15$ мм.

Таблиця 4.6

Результати розрахунків кількості суцільних змін рейкових плітей

i_{zn} , мм/млн.т.бр.	$S_{max} = 1545$ мм		$S_{max} = 1550$ мм	
	Δt_{zm} , млн.т.брутто	N_{zm}	Δt_{zm} , млн.т.брутто	N_{zm}
0,06	166	3,8	250	2,2
0,07	142	4,6	214	2,7
0,08	125	5,4	188	3,25
0,09	111	6,2	167	3,8
0,10	100	7,0	150	4,33

В таблиці 4.7 приведена економія кількості суцільних змін рейкових плітей зі зміною робочого канту на старопридатні при впровадженні нового значення максимальної допустимої ширини рейкової колії $S_{max} = 1550$ мм.

Таблиця 4.7

Економія кількості суцільних змін рейкових плітей

i_{zn}	Δn	Економія кількості змін
0,06	1,3	1
0,07	1,54	2
0,08	1,74	2
0,09	1,97	2
0,10	2,17	2

Для випадків, коли інтенсивність бічного зносу головки рейки складає величину $i_{zn} \leq 0,05$ мм/млн.т.брутто, згідно умов [75] розрахунки приведені в таблиці 4.8 при базовому варіанті $S_{неб} = 1548$ мм (при $S_{max} = 1545$ мм).

Таблиця 4.8

Результати розрахунків кількості суцільних змін рейкових плітей

$S_{неб} = 1548$ мм ($S_{max} = 1545$ мм)

i_{zn}	Δt_{zm}	N_{zm}
0,05	200	2,25
0,04	250	1,6
0,03	333	0,95

В таблиці 4.9 приведені результати розрахунку для рекомендованого значення максимальної допустимої ширини колії $S_{max} = 1550$ мм при інтенсивності бічного зносу 0,03-0,05 мм/млн.т.брутто, при напрацюванні величини бічного зносу $h_{\delta} = 15$ мм.

Таблиця 4.9

Результати розрахунків кількості суцільних змін рейкових плітей

$$S_{max} = 1550 \text{ мм}$$

i_{zn} , мм/млн.т.бр.	ΔT_{zm} , млн.т.бр.	N_{zm}
0,05	300	1,7
0,04	375	1,13
0,03	500	0,6

В таблиці 4.10 приведена економія кількості суцільних змін рейкових плітей зі зміною робочого канту на старопридатні при впровадженні нового значення максимальної допустимої ширини колії $S_{max} = 1550$ мм.

Таблиця 4.10

Економія кількості суцільних змін рейкових плітей

i_{zn} , мм/млн.т.бр.	Δn	Економія кількості змін
0,05	0,55	1
0,04	0,47	0
0,03	0,35	0

При вартості незагартованої рейки Р65 $C_p = 29000$ грн/т, вартість однієї пліті Р65 (загартованої) довжиною 800 м становить:

$$C_{nl} = q_{nl} \cdot L_{nl} \cdot C_p / 1000 = 64,64 \cdot 800 \cdot 29000 / 1000 = 1499648 \text{ грн}$$

де q_{nl} – погонна вага рейки Р65 (64,64 кг/пм); L_{nl} – найбільша довжина рейкової пліті, виходячи з умов транспортування її рейковозним поїздом за умов розміщення составу на станції без перекриття сигналів; C_p – ціна 1 т рейки, (29000 грн/т).

На підставі отриманих результатів лише при інтенсивності бічного зносу головки рейки типу Р65 $i_{zn} = 0,05$ мм/млн.т.брутто заощаджується не менше 1499648 грн за міжремонтний термін експлуатації колії, за рахунок економії витрат на укладання нових рейкових плітей в зовнішню рейкову нитку кривої ділянки колії, де експлуатуються незагартовані рейки типу Р65, якщо не враховувати вартість старопридатних плітей, яка на залізницях МШС РФ приймається як 10 % вартості нової пліті.

При середньому обсязі заміни рейкових плітей на Південній залізниці з

заміною робочого канту за рік – 13 км, річна економія коштів, якщо порівняти з укладанням у колію нових рейок, з урахуванням того, що остаточна вартість старопритатної рейки складає 10 % від вартості нових рейок, становитиме 90 % від вартості нових рейок і буде дорівнювати:

$$E=0,9 \cdot 13 \cdot 64,64 \cdot 1000 \cdot 29000 / 1000 = 21932352 \text{ грн}$$

Термозміцненні рейки залізниці України вже впродовж трьох років не отримують взагалі та використовують для поточного утримання колії з метою заміни на ті, що вийшли по дефекту 44 [27], тому підрахувати фактично отриманий економічний ефект від їх заощадження, завдяки впровадженню нової норми максимальної допустимої ширини колії, розробленої автором цієї дисертаційної роботи, не можливо.

Висновки за розділом 4

Техніко-економічна оцінка можливості використання нових норм максимальної допустимої ширини рейкової колії для безстикової колії з залізобетонними шпалами та проміжними рейковими скріпленнями типу КБ-65 та СКД-65, розроблені та запропоновані автором цієї дисертаційної роботи показала наступне:

1. Запропоновані нові норми максимальної допустимої ширини рейкової колії для безстикової колії на залізобетонних шпалах з проміжними рейковими скріпленнями типу Р65 та СКД-65 не погіршують умови взаємодії рухомого складу та колії, та відповідають умовам безпеки руху, які викладені в нормативах улаштування та поточного утримання безстикової колії залізниць України;

2. В програмних документах, де викладено стратегію розвитку залізниць України не враховано жодного напрямку ресурсозбереження в колійному господарстві залізниць України, де знос основних фондів становить до 80 %, та жодної пропозиції щодо посилення матеріального заохочення окремих

працівників та підприємств з метою поширення ресурсозбереження в колійному господарстві, яке має не менше 50 % вартості основних фондів Укрзалізниці, а фінансування амортизаційних відрахувань здійснюється за залишковим принципом та не відповідає вимогам відновлення експлуатаційних функцій залізниці, тому пропонується це упущення ліквідувати найближчим часом;

3. Впровадження нових норм максимальної допустимої ширини рейкової колії має економічну підставу, через подовження терміну служби рейкових плітей як термозміцнених при інтенсивності бокового зносу головки рейки від 0,03 мм/млн.т.брутто до 0,05 мм/млн.т.брутто, для яких економія витрат за міжремонтний період становить не менше 2327040 грн, та для незміцнених рейок при інтенсивності бокового зносу рейки типу Р65 $i_{zn} = 0,05$ мм/млн.т.брутто, не менше 1499648 грн за міжремонтний термін експлуатації колії, за рахунок економії витрат на укладання нових рейкових плітей в зовнішню рейкову нитку кривої ділянки колії, де експлуатуються не загартовані рейки типу Р65;

4. Впровадження нових норм максимальної допустимої ширини безстикової рейкової колії зі скріпленнями типу КБ-65 та СКД-65 дозволить скоротити кількість замін дефектних рейкових плітей (дефект 44) [27], що забезпечить соціальний ефект від скорочення небезпечних умов праці при виконанні робіт з незакріпленими рейковими плітями в умовах непрогнозованої та неконтрольованої зміни температури старопридатних, але, які не пройшли реновацію рейкових плітей, які перекладають зі зміною робочого канту.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У відповідності до поставленої мети, в дисертації поставлені та вирішені наступні задачі:

1) проведено аналіз існуючої методики визначення максимальної ширини рейкової колії та визначити напрями її удосконалення;

2) проведено аналіз причин порушень безпеки руху в поїзній та маневровій роботі, допущених в колійному господарстві залізниць України, що пов'язані з розширенням колії;

3) проведено дослідження факторів впливу на величину максимального розміру ширини рейкової колії;

4) виконано експериментальні дослідження величини горизонтальних люфтів в конструкції проміжного рейкового скріплення типу КБ-65;

5) виконано дослідження фактичного стану проміжних рейкових скріплень роздільного типу, який вони мають перед наступним черговим плановим суцільним підкріпленням прикріплювачів в залежності від вантажнапруженості безстикової колії;

6) проведено експериментальні вимірювання пружних бічних відтиснень головки рейкової нитки при одночасній дії на неї вертикального та горизонтального навантажень;

7) виконано дослідження умов розпору колії з проміжними рейковими скріпленнями роздільного типу та його впливу на визначення максимальної ширини рейкової колії.

На підставі виконаних досліджень зроблені наступні висновки:

1. Існуючий метод визначення максимальної ширини рейкової колії без урахування конструкції підрейкової основи та деформаційних процесів відтиснення головки рейкової нитки внаслідок сукупної дії вертикальних та бічних сил дає суттєво занижений результат – 1543 мм, що свідчить про недосконалість процедури визначення існуючої норми.

2. Аналіз випадків порушення безпеки руху в поїзній та маневровій

роботі довів, що основна причина сходів коліс рухомого складу мають місце на станційних коліях при виконанні маневрових робіт. Ці сходи безпосередньо пов'язані з тим, що на цих коліях, як правило, використовують старопритатну колійну решітку, в якій існують значні люфти, та на яких своєчасно не виконуються обов'язкові регламентні роботи з утримання проміжних рейкових скріплень. Наприклад, в період з 2004 року по 2018 рік щорічно зафіксовано до 20% випадків сходів рухомого складу на головних коліях та до 61% при маневрах на станційних коліях, пов'язаних з розширенням колії. У 2012 році на всій протяжності залізниць України було виявлено 63 відступи від норм утримання колії, через які швидкість руху поїздів було обмежено до 15 км/год та 36 відступів, через які рух поїздів було закрито.

3. Встановлено вплив на максимальну величину ширини колії геометрії поверхні кочення колеса, що дозволило визначити найнебезпечніші ремонтні профілі коліс, а саме:

- допуск на зменшення ширини ободу колеса – 4 мм;
- конусність опорної поверхні кочення колеса;
- відстань між краєм ободу до ділянки кочення колеса, де змінюється конусність з меншої ($1/20$) на більшу ($\geq 1/7$).

4. Експериментально визначена максимальна ймовірна величина горизонтальних люфтів (4 мм), як одна з найбільш впливових складових, дозволила сформувавши методику визначення максимальної ширини рейкової колії.

5. Визначення стану зусиль притиснення клемних та закладних болтів перед проведенням чергового суцільного підкріплення дозволило врахувати вплив конструктивних особливостей залізничної колії. Результати досліджень довели, що: для ділянок з вантажонапруженістю до 40 млн.т.брутто/км.рік – величина мінімального крутного моменту для клемних болтів становить 63 Нм; величина мінімального крутного моменту для закладних болтів становить 91 Нм. Для ділянок з вантажонапружені ставище 40 млн.т.брутто/км.рік – величина мінімального крутного моменту для клемних болтів становить 39 Нм; величина мінімального крутного моменту для закладних болтів становить

67 Нм.

6. Залежність величини бічного відтиснення головки рейкової нитки від одночасної дії вертикальних та бічних сил дозволило визначити максимальну допустиму ширину рейкової колії – 1550 мм, по якій дозволено рух зі швидкостями, встановленими наказами керівників РФ АТ «Укрзалізниця».

7. В результаті експериментальних та теоретичного досліджень умов розпору встановлено максимально допустимі величини небезпечної ширини рейкової колії на залізобетонних шпалах з клемно-болтовими скріпленнями, за яких може відбутися падіння (провалювання) колеса в колію та які за будь-якої вантажонапруженості ділянки складають для руху в режимі: тяги або без застосування гальм – 1556 мм; службового гальмування – 1552 мм.

Це підтверджує адекватність емпірично визначеної і встановленої чинними нормами з певним для колії на залізобетонних шпалах з клемно-болтовими скріпленнями запасом максимальної величини небезпечної ширини колії 1548 мм. Проте, оскільки в кривих малих радіусів від 300 до 450 м рух зі встановленими швидкостями спричиняє інтенсивний бічний знос головок рейок, для підвищення їх ресурсу та з урахуванням обпирання колеса на рейку не у точці, а по площині пружного зминання еліпсної форми рекомендовано для таких кривих встановити максимально допустиму безпечну ширину колії 1550 мм.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Новіков В.В., Белорусов О.І. Визначення небезпечного максимального розміру ширини рейкової колії. *Зб. наук. праць УкрДУЗТ*. Харків: УкрДАЗТ, 2006. Вип. 72. С.137-141.
2. Новіков В.В., Белорусов О.І. Дослідження факторів впливу на величину максимального небезпечного розміру ширини рейкової колії. *Вісник ДНУЗТ ім. академіка В. Лазаряна*. Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2008. Вип. 21. С. 78-79.
3. Новіков В.В., Скорик О.О. Аналіз причин порушень безпеки руху в поїзній та маневровій роботі, допущених в колійному господарстві, що пов'язані з розширенням колії. *Тези доповідей 80-ої міжнародної науково-технічної конференції «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті»*. Харків: УкрДУЗТ, 2018. Вип. 177. С. 105-106.
4. Новіков В.В., Белорусов О.І., Думчиков С.В., Залевський В.О. Експериментальні дослідження величин горизонтальних люфтів у конструкції проміжного рейкового скріплення типу КБ-65. *Зб. наук. праць УкрДАЗТ*. Харків: УкрДАЗТ, 2008. Вип. 91. С. 136-140.
5. Новіков В.В., Белорусов О.І. Вплив конструктивних особливостей ходових частин рухомого складу на величину максимально небезпечної ширини рейкової колії. *Зб. наук. праць УкрДАЗТ*. Харків: УкрДАЗТ, 2007. Вип. 80. С.51-54.
6. Новіков В.В., Скорик О.О. Визначення умов проведення експериментальних досліджень впливу вертикальних та бічних сил від коліс рухомого складу на бічні відтиснення головки рейки при підрейковій основі з залізобетонними шпалами. *Научные труды SWorld*. Иваново: Научный мир, 2015. Вып. №2(39), Т.1. С. 47-50.
7. Новіков В.В., Скорик О.О. Результати експериментальних вимірювань пружних бічних відтискань головки рейкової нитки при взаємодії горизонтального та вертикального навантаження. *Зб. наук. праць УкрДАЗТ*. Харків: УкрДАЗТ, 2015. Вип. 157. С.35-39.

8. Новіков В.В., Белорусов О.І. До питання про величину максимального небезпечного розміру ширини рейкової колії. *Тези доповідей 69-ої міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту»*. Дніпропетровськ: ДНУЗТ ім. акад. В. Лазаряна, 2009. С. 142.
9. Новіков В.В., Скорик О.О. Дослідження умов розпору колії зі скріпленням типу КБ та його впливу на визначення небезпечної ширини рейкової колії. *Тези доповідей 6-ої міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті»*. Харків: УкрДУЗТ, 2017. С. 211-212.
10. Справочник інженера-путейця / под ред. В.В. Басилова и М.А. Чернышева. Т.1. М.: Транспорт, 1972. 449 с.
11. Шахунянц Г.М. Железнодорожный путь. 3-е изд. перераб. и доп. М.: Транспорт, 1987. 479 с.
12. Чернышев М.А. Железнодорожный путь. М.: Транспорт, 1969. 242 с.
13. Сборник научных работ по вопросам путевого хозяйства / под общей редакцией проф. М.А. Фришмана. Днепропетровск, 1957. 76 с.
14. Коган А.Я., Переслегин А.В. Изгиб и кручение рельса при больших значениях крутящего момента. *Межвузовск. сб. науч. трудов*. Днепропетровск, 1991. С. 44-56.
15. Леванков И.С. К вопросу определения вертикальной силы. *Сб. научн. Трудов* / под ред. проф. М.А. Фришмана. Днепропетровск, 1973. Вып. 142. 99 с.
16. Лысюк В.С. Причины и механизмы схода колеса с рельса. 2-е изд. *Проблемы износа колес и рельсов*. М.: Транспорт, 2002. 215 с.
17. Киселев С.Н., Иноземцев В.Г. Температурные поля, деформации и напряжения в цельнокатаных вагонных колёсах при различных режимах торможения. *Вестник ВНИИЖТ*. М.: ВНИИЖТ, 1994. №7. С.11-30.
18. Яковлев В.О., Мойсеенко К.В., Говоруха В.В. Практичні рекомендації щодо проведення вхідного контролю матеріалів верхньої будови колії. *Вісник ДНУЗТ ім. академіка В. Лазаряна*. Дніпропетровськ: Арт-Прес, 2003. 196 с.

19. Аналіз стану безпеки руху поїздів на залізницях України за 12 місяців 2004 р. К.: 2005. 83 с.
20. Аналіз стану безпеки руху поїздів на залізницях України за 12 місяців 2005 р. К.: 2006. 86 с.
21. Аналіз стану безпеки руху поїздів на залізницях України за 12 місяців 2006 р. К.: 2007. 75 с.
22. Аналіз стану безпеки руху поїздів на залізницях України за 12 місяців 2007 р. К.: 2008. 78 с.
23. Аналіз стану безпеки руху поїздів на залізницях України за 12 місяців 2008 р. К.: 2009. 64 с.
24. Аналіз стану безпеки руху поїздів на залізницях України за 12 місяців 2009 р. К.: 2010. 68 с.
25. Аналіз стану безпеки руху поїздів на залізницях України за 12 місяців 2010 р. К.: 2011. 50 с.
26. Аналіз стану безпеки руху поїздів на залізницях України за 12 місяців 2011 р. К.: 2012. 46 с.
27. Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України: ЦП-0269. К.: ТОВ «НВП Поліграфсервіс», 2012. 456 с.
28. Сиденко В.М., Грушко И.М. Основы научных исследований. Харьков: Издательское объединение «Вища школа», 1979. 200 с.
29. Белый В.И., Болотин В.И., Лаптев В.А., Дмитриев А.Н., Шульга В.Я. Путь и безопасность движения поездов. 2-е изд. перераб. и доп. М.: Транспорт, 1983. 151 с.
30. Белоусов Н.З. О некоторых резервах продления срока службы рельсов. Автореф. дисс. на соискание учен. степени канд. техн. наук: спец. 05.22.06. «Железнодорожный путь. Харьков, 1966. 16 с.
31. Каменсий В.Б., Шац Э.Я. Содержание железнодорожного пути в кривых. М.: Транспорт, 1987. 189 с.
32. Богданов А.Ф., Чурсин В.Г. Эксплуатация колесных пар вагонов. М.: Транспорт, 1985. 269 с.

33. Шадур Л.А. Развитие отечественного вагонного парка. М.: Транспорт, 1988. 279 с.

34. Богданов В.М. Научное обеспечение путевого комплекса. *Вестник ВНИИЖТ*. М.: ВНИИЖТ, 2004 № 3. С. 11-13.

35. Желнин Г.Г., Никитин Д.А., Гончаров Б.И. Воздействие на путь в кривых малого радиуса длинносоставных тяжеловесных поездов. *Вестник ВНИИЖТ*. М.: ВНИИЖТ, 2007. №4. С. 7-11.

36. Богданов В.М., Захаров С.М. Современные проблемы системы колесо-рельс. *Железные дороги мира*. М.: 2004. №1. С. 57-62.

37. Орловский А.Н., Цыганенко В.В., Шатерков В.И. О воздействии на путь нового транспортёра сцепного типа грузоподъёмностью 240 т. *Труды ДИИТа*. Днепропетровск: ДИИТ, 1982. Вып. 223/24. С. 8-15.

38. Карпущенко Н.И., Величко Д.В., Бобовникова Н.А. Влияние ширины колеи и состояние ходовых частей подвижного состава на интенсивность износов. *Транспорт Российской Федерации*. М.: 2010. №3(28). С. 10-13.

39. Карпущенко Н.И., Козлов А.П., Антерейкин Е.С. Параметры колеи и износ рельсов в кривых. Путь и путевое хозяйство. М.: 2007. №11. С. 7-9.

40. Карпущенко Н.И., Котова И.А., Ликратов Ю.А. Взаимодействие колёс и рельсов в кривых участках. *Путь и путевое хозяйство*. М.: 2008. №6. С. 2-6.

41. Котюков И.А., Слесарев В.Г. О боковой жесткости рельсовых нитей в пределах стрелочных переводов. *Сб. науч. трудов «Вопросы устройства и работы железнодорожного пути»*. Новосибирск, 1966. Вып. 58 С. 22-29.

42. Величко Д.В. Интенсивность ослабления натяжения болтов промежуточных рельсовых креплений. *Тезисы научно-практической конференции «Актуальные проблемы Транссиба на современном этапе»*. Новосибирск: СГУПС, 2001. С. 245.

43. Величко Д.В. Влияние конструкции промежуточных креплений на ширину рельсовой колеи. *Сб. науч. трудов «Железные и автомобильные дороги в условиях Сибири»*. Новосибирск: СГУПС, 2002. С. 159-163.

44. Гучков А.К., Елсаков Н.Н. О нормативах креплений для

железобетонных шпал. Путь и путевое хоз-во, 2003. №1. С. 10.

45. Ермаков В.М., Федин В.М., Борц А.И. Оценка качества и совершенствование элементов верхнего строения пути. *Путь и путевое хоз-во*, 2000. №3. С. 20-23.

46. Иванова О.И., Карпущенко Н.И. Экспериментальное исследование связей рельсов с основанием. Асбестовый балласт. Вопросы устройства и работы железнодорожного пути. *Сб. науч. трудов*. Новосибирск: НИИЖТ, 1971. Вып. 125. С. 51-60.

47. Карпущенко Н.И. Надёжность связей рельсов с основанием. М.: Транспорт, 1986. 149 С.

48. Климов В.И., Настечик Н.П. Исследование работы скрепления типа КБ. Исследование взаимодействия пути и подвижного состава. *Сб. науч. трудов*. Днепропетровск: ДИИТ, 1976. Вып.180/7. С. 46-52.

49. Лысюк В.С. Идентификация группового воздействия колёс тележек на путь от квазистатического сжатия и растяжения. *Вестник ВНИИЖТа*. М.: ВНИИЖТ, 1989. №4. С. 43-47.

50. Белорусов А.И. Усилия в болтах рельсовых скреплений при их затяжке и контроле. Исследование взаимодействия пути и подвижного состава. *Сб. науч. трудов*. Днепропетровск: ДИИТ, 1982. Вып.223/24. С. 52-56.

51. Шахунянец Г.М. Устройство железнодорожного пути. М.: Трансжелдориздат, 1949. Т.Ш. 632 с.

52. Лященко В.Н. Длинные рельсы и бесстыковой путь. Харьков, 1961. С.54-55.

53. Исследование новых конструкций железнодорожного пути. *Труды МИИТа*. М.: МИИТ, 1973. Вып. 382. 89 с.

54. Трение, изнашивание и смазка / под ред. И.В. Крагельского и В.В. Цилина. Справочник. М.: Машиностроение, 1979. Т.2. 232 с.

55. Рекомендации по единой методике оценки уровня силовой нагруженности пути и путевых конструкций при их проектировании и эксплуатации. Памятка Р-786/7(ОСЖД). Разработано совещанием экспертов V

Комиссии 25-27 сентября 2001 г. Будапешт, Венгрия. 12 с.

56. Лончаков Э.Т., Майоров Э.Г. Расчет размерных цепей рельсовой колеи. Оптимизация норм устройства и содержания рельсовой колеи. *Сб. науч. трудов ВЗИИТ* / под общ. ред. доц. Тихомирова В.И. Москва, 1975. Вып. 78. С. 55.

57. Майоров Э.Г. К вопросу технико-экономической оценки норм и допусков на сборку путевой решетки и приемку отремонтированного пути. Оптимизация норм устройства и содержания рельсовой колеи. *Сб. науч. трудов ВЗИИТ* / под общ. ред. доц. Тихомирова В.И. Москва, 1975. Вып. 78. С. 95.

58. Шахунянец Г.М., Демидов А.А. Работа болтов в скреплениях. *Сб. науч. трудов*. М.: МИИТ, 1973. Вып. 382. С. 96-108.

59. Шахунянец Г.М., Кондратьев А.А. Изменение монтажных сил в закладных и клеммных болтах под поездной нагрузкой. *Сб. науч. трудов*. М.: МИИТ. Вып. 382. С. 126-136.

60. Шульга В.Я., Лаптев В.А., Жарнов В.М. О целесообразных сроках затяжки гаек клеммных и закладных болтов на участках бесстыкового пути. *Сб. науч. трудов*. М.: МИИТ, 1972. Вып. 383. С. 24-43.

61. Васин А.В., Жарнов В.М. Исследование ослабления затяжки гаек на бесстыковом пути со скреплениями типа КБ и ЖБ. *Сб. науч. трудов*. М.: МИИТ, 1973. Вып. 446. С. 70-78.

62. Современные конструкции верхнего строения железнодорожного пути / под ред. проф. В.Г. Альбрехта и проф. А.Ф. Золотарского. М.: Транспорт, 1975. 278 с.

63. Климов В.М., Настечик Н.П. Исследование работы скрепления типа КБ. *Сб. науч. трудов*. Днепропетровск: ДИИТ, 1976. Вып. 180/17. С. 46-57.

64. Андреев Г.Е. Совершенствовать конструкцию скреплений. *Путь и путевое хозяйство*, 1978. №1. С. 3-30.

65. Иволга Н.В., Настечик Н.П. Оценка эксплуатационных качеств скреплений типа БП и КБ. Днепропетровск: ДИИТ, 1980. 8 с. Деп. в ЦНИИ ТЭИ МПС 25.12.82. №1332/80.

66. Разработка мер по содержанию и ремонту железнодорожного пути, обеспечивающих скорости движения грузовых поездов до 90-100 км/ч. Отчет о НИР; науч. рук. проф. Ангелейко В.И. Харьков: ХИИТ, 1977. С. 85; 1978. С. 110. П 14; № ГР 78036329 (инв. № Б 717269), № ГР 77041220 (инв. № Б 646626).

67. Петров Н.В., Купцов В.В., Лозовская М.И. Совершенствование существующих и разработка новых конструкций промежуточных рельсовых скреплений для железобетонных шпал. *Сб. науч. трудов*. М.: ВНИИЖТ, 1979. Вып. 616. С. 10-39.

68. Ангелейко В.И. Когда нужно закреплять болты. *Путь и путевое хозяйство*. 1976. №5. С. 39-41.

69. Исследование работы бесстыкового пути, совершенствование его конструкции и расширение сфер его рационального применения. Отчет о НИР; науч. рук. проф. Ангелейко В.И. Харьков: ХИИТ, 1983. 175 с. З ГР 08130020564.

70. Яковлев В.О., Мойсеенко К.В., Говоруха В.В. та ін. Практичні рекомендації щодо проведення вхідного контролю матеріалів верхньої будови колії. Дніпропетровськ.: ДНУЗТ ім. академіка В. Лазаряна, 2003. 196 с.

71. Шор Я.Б., Кузьмин Ф.И. Таблицы для анализа и контроля надёжности. М.: «Советское радио», 1968 288 с.

72. Зак М.Г., Ершков О.П., Ткачев Е.Д. Теоретический анализ влияния расстройств рельсовой колеи на динамические взаимодействия подвижного состава и пути и оценка неравножесткости рельсовых нитей. *Транспорт ВНИИЖТ*. М.: ВНИИЖТ, 1980. Вып. 628. С. 67-103.

72. Новиков В.В., Скорик А.А., Панченко С.В. Исследование условий распора колеи со скреплениями типа КБ и его влияние на определение опасной ширины рельсовой колеи. *Зб. наук. праць УкрДУЗТ*. Харків: УкрДУЗТ, 2018. Вип. 178. С. 14-20.

73. Інструкція з огляду, обстеження, ремонту та формування вагонних колісних пар: ЦВ-ЦЛ-006. Київ, 2005. 103 с.

74. Інструкція з формування, ремонту та утримання колісних пар тягового

рухомого складу залізниць України колії 1520 мм: ВНД 32.0.07.001-2001 (Нова редакція). К.: ТОВ «НВП Поліграфсервіс», 2011. 170 с.

75. Технічні вказівки по улаштуванню укладанню ремонту і утриманню безстикової колії на залізницях України: ЦП-0266. К.: Транспорт України, 2012. 150 с. Затверджена наказом Укрзалізниці № 033Ц від 01.02.2012 р.

76. Карпущенко Н.И., Котова И.А. Износ и сроки службы рельсов и колес подвижного состава. *Вісник ДНУЗТ ім. академіка В. Лазаряна*. Дніпропетровськ: ДНЗУТ, 2003. Вип.2. С. 41-46.

77. Даніленко Е.І., Карпов М.І., Сушков В.Ф., Костюк М.Д., Рибачок П.І. Привила і технологія виконання робіт при поточному утриманні залізничної колії. К.: Транспорт України, 2002. 156 с.

78. Правила и технология выполнения основных работ при текущем содержании пути: ЦПТ-52. Москва, 1997. 165 с. Утверждены МПС РФ 30.06.1997.

79. Косенко С.А., Акимов С.С. Интенсивность износа рельсов при различных промежуточных скреплениях. *Тезисы докладов международной научно-практической конференции «Инновационные факторы развития транспорта. Теория и практика»*. Новосибирск: СГУПС, 2017. С. 13-15.

80. Инструкция по устройству, укладке, содержанию и ремонту бесстыкового пути. Москва, 2016. 176 с. Утверждена распоряжением ОАО «РЖД» от 14.12.2016 г. № 2544р.

81. Инструкция по устройству, укладке, содержанию и ремонту бесстыкового пути. Москва, 2012. 136 с. Утверждена распоряжением ОАО «РЖД» от 29.12.2012 г. № 2788р.

82. Карпущенко Н.И., Замелова Д.Ю. Исследование бокового износа рельсов в кривых на перевальном участке. *Тезисы докладов международной научно-практической конференции «Инновационные факторы развития транспорта. Теория и практика»*. Новосибирск: СГУПС, 2017. С. 26-28.

83. Усачев П.М., Жечков А.И., Дергунов П.В. Методические указания по определению экономической эффективности новой техники, изобретений и

рационализаторских предложений на железнодорожном транспорте. М.: Транспорт, 1980. 144 с.

84. Технологическая карта № 27. Смена рельсовых плетей бесстыкового пути с переменной рабочей канта. Желдорспецпроект. М.: <https://желдорспецпроект.рф/27>.

85. Даниленко Э.И. Об оптимизации размерных соотношений в паре «колесо-рельс». *Залізничний транспорт України*, 2006. № 6. С. 56-59.

86. Технічні вказівки по використанню старопридатних матеріалів верхньої будови колії на залізницях України: ЦП-0021. К.: Транспорт України, 1998. 96 с.

87. Положення про проведення планово-запобіжних ремонтно-колійних робіт на залізницях України: ЦП-0113. К.: Головне управління колійного господарства, 2004. 40 с.

88. Гудкова В.П., Одарченко С.М. Напрями одержання конкурентних переваг на транспортному ринку. *Материалы VII международной научно-практической конференции «Проблемы экономики и управления на железнодорожном транспорте»: «Розвиток залізничного транспорту та корпоративне управління»*. К.: ЭКУЖТ, 2012. С. 14-15.

89. Дикань В.Л. Прогресивні проекти розвитку залізничної транспортної системи України. *Материалы VII международной научно-практической конференции «Проблемы экономики и управления на железнодорожном транспорте»: «Розвиток залізничного транспорту та корпоративне управління»*. К.: ЭКУЖТ, 2012. С. 24.

90. Русова К.А. Проблематика стратегічного розвитку залізничного транспорту України. *Материалы VII международной научно-практической конференции «Проблемы экономики и управления на железнодорожном транспорте»: «Розвиток залізничного транспорту та корпоративне управління»*. К.: ЭКУЖТ, 2012. С. 47-48.

91. Демченко М.А., Обертинська А.В. Інвестиційний розвиток підприємств колійного господарства. *Материалы VII международной научно-*

практической конференции «Проблемы экономики и управления на железнодорожном транспорте»: «Економіка залізничного транспорту». К.: ЭКУЖТ, 2012. С. 76-77.

92. Познякова О.В., Пашинська Г.А. Підвищення ефективності роботи залізниці за рахунок поліпшення стану колійного господарства. *Матеріали VII міжнародної науково-практичної конференції «Проблемы экономики и управления на железнодорожном транспорте»: «Економіка залізничного транспорту»*. К.: ЭКУЖТ, 2012. С. 112-113.

93. Розпорядження кабінету міністрів України від 20 жовтня 2010 р. № 2174-р «Про схвалення Транспортної стратегії України на період до 2020 року. Київ, 2020. 46 с.

94. Дейнека О.Г., Познякова Л.О. Управління інноваційно-інвестиційним розвитком залізничного транспорту України. *Матеріали VII міжнародної науково-практичної конференції «Проблемы экономики и управления на железнодорожном транспорте»: «Розвиток залізничного транспорту та корпоративне управління»*. К.: ЭКУЖТ, 2012. С. 17-18.

95. Певзнер В.А. Влияние ширины колеи. *Путь и путевое хозяйство*. 1994. № 8. С. 36-40.

96. Аналіз стану безпеки руху в структурі Укрзалізниці у 2013 році. К.: 2014. 117 с

97. Аналіз стану безпеки руху в структурі Укрзалізниці у 2014 році. К.: 2015. 122 с

98. Аналіз стану безпеки руху в структурі ПАТ «Укрзаліниця» у 2015 році. К.: 2016. 140 с

99. Аналіз стану безпеки руху в структурі ПАТ «Укрзаліниця» у 2016 році. К.: 2017. 123 с

100. Аналіз стану безпеки руху в структурі ПАТ «Укрзаліниця» у 2017 році. К.: 2018.158 с

101. Аналіз стану безпеки руху в структурі АТ «Укрзаліниця» у 2018 році. К.: 2019. 162 с.

102. Даниленко Э. И., Молчанов В. Н., Даниленко Т. П. Изменяемость упруго-жесткостных характеристик бокового изгиба и кручения рельсовой нити в зависимости от соотношения колесных нагрузок $R_{\text{дин}}/H_{\text{дин}}$. *Збірник наукових праць УкрДУЗТ*. Харків, 2018. Вип. 179. Стр. 66-82.

103. Даниленко Э. И. Расчет характеристик жесткости и упругости рельсовой нити при кручении под воздействием вертикальных и горизонтальных сил. *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту*. Дніпропетровськ, 2016. № 5 (65). Стр. 79-91.

104. Даниленко Е.І., Твердомед В.М. Розрахунок поперечних горизонтальних сил, діючих на колію в кривих від рухомого складу, графо-аналітичним методом. *Збірник наукових праць ДЕТУТ. Серія: Транспортні системи і технології*. Київ, 2012. Вип. 21. С. 71-76.

105. Твердомед В. М., Возненко А. Д., Бойко В. Д. Розрахунок поперечних горизонтальних сил у кривих ділянках рейкової колії. *Збірник наукових праць ДЕТУТ. Серія «Транспортні системи і технології»*. Київ, 2016. Вип. 29. Стр. 134-142.

106. Даниленко Е.І., Карпов М.І., Молчанов В.М., Йосифович Р.М. Про необхідність внесення змін в існуючі нормативні допуски по ширині рейкової колії у прямих та кривих при впровадженні швидкісного руху поїздів на залізницях України. *Науково-практичний журнал «Залізничний транспорт України»*. Київ, 2014. № 2. Стр. 9-17.

107. Danilenko E.I. Calculation of Characteristics of Stiffness and Elasticity of Rail Threads when Torsion Under Combined Action of Vertical and Horizontal Forces. *Science and Transport Progress*. 2016. № 5 (65). P. 79-91.

108. Даниленко Э.И., Велинец В.П. Экспериментальные исследования характеристик горизонтальной поперечной жесткости и модуля упругости железнодорожного пути при различных конструкциях рельсовых креплений. *Железнодорожный транспорт Украины*. Киев, 2015. № 4. Стр. 3-11

109. Inesa Povilaitienė, Ipolitas Zenonas Kamaitis, Igoris Podagėlis. Influence

of Gauge Width on Rail Side Wear on Track Curves. *Journal of Civil Engineering and Management*. 2006. Vol XII. No 3. P. 255–260

110. Kalle Karttunen. Influence of rail, wheel and track geometries on wheel and rail degradation. Thesis for the Degree of Doctor of Philosophy in Solid and Structural Mechanics. *Chalmers University of Technology*. 2015. 56 p.

111. Moody, Joanna Charlotte. Critical Speed Analysis of Railcars and Wheelsets on Curved and Straight Track. 2014. *Honors Theses*. 107 p.

112. Silvia Morales-Ivorra, Julia Irene Real, César Hernández, Laura Montalbán. Derailment risk and dynamics of railway vehicles in curved tracks: Analysis of the effect of failed fastener. *J. Mod. Transport*. 2016. Vol. 24(1). P. 38–47.

113. Звіт про науково-дослідну роботу «Розробка технічних вказівок на використання старопридатних рейок довжиною 12.5 та 25 м в коліях КП «Харківський метрополітен»». Харків, 2016. 62 с.

114. Звіт про науково-дослідну роботу «Дослідження впливу параметрів фінішного рейкошліфування на розвиток домінуючих дефектів рейок метрополітену». Харків, 2016. 60 с.

115. Новіков В.В., Скорик О.О., Кравченко Ю.М., Овчинніков О.О. Техніко-економічна оцінка використання нових норм небезпечної ширини рейкової колії з проміжними рейковими скріпленнями типу КБ-65 в безстиковій колії з залізобетонними шпалами на залізницях України. *Тези доповідей 7-ої міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті»*. Харків: УкрДУЗТ, 2018. С. 65-66.

116. Новіков В. В., Штомпель А.М., Скорик О.О., Кравченко Ю.М., Коростельов Є.М. Визначення рівня поодинокого виходу рейок у дефектні за показником їх надійності. *Тези доповідей 7-ої міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті»*. Харків: УкрДУЗТ, 2018. С. 73-74.

117. Новіков В.В., Скорик А.А., Панченко С.В. Исследование условий

распора колеи со скреплениями типа КБ и его влияние на определение опасной ширины рельсовой колеи. *Зб. наук. праць УкрДУЗТ*. Харків: УкрДУЗТ, 2018. Вип. 178. С. 14-20.

118. Грушко И.М., Сиденко В.М. Основы научных исследований. Учебное пособие. 3-е изд. доп. и перераб. Харьков: Вища школа, 1983. 224 с.

119. Исследование работы новых конструкций пути под воздействием подвижного состава. Копия отчета по НИР / под ред. Эрадзе Д.Г., Солдатова А.А. Москва, 1980.

120. Правила розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість / під ред. Даніленко Е.І. К.: Транспорт України, 2006. 168 с.

121. Даніленко Е.І. Залізнична колія. Улаштування, проектування і розрахунки, взаємодія з рухомим складом. Підручник для ВНЗ (у 2-х томах). К.: Інпрес, 2010.

122. Проектування і розрахунки конструкцій залізничної колії / за ред. Даніленко Е.І. Підручник для ВНЗ (у 2-х томах). Т. 1. К.: «Хай-Тек Прес», 2019. 344с.

123. Правила визначення підвищення зовнішньої рейки і встановлення допустимих швидкостей в кривих ділянках колії: ЦП-0236. Дніпропетровськ: Арт_Прес, 2010. 44 с.

124. Вериго М.Ф., Коган А.Я. Взаимодействие пути и подвижного состава. М.: Транспорт, 1986. 599 с.

125. Даніленко Е.І., Костюк М.Д., Жученко О.М. Сучасні рейкові пружні скріплення і особливості вимог до вітчизняних скріплень на залізобетонних шпалах. *Залізничний транспорт України*. 2002. №6.С. 3-12.

126. Даниленко Э.И. Об оптимизации размерных соотношений в паре «колесо-рельс». *Залізничний транспорт України*. 2006. №6. С. 58-59.

127. Даніленко Е.І. Залізнична колія. Улаштування, проектування і розрахунки, взаємодія з рухомим складом. Підручник для ВНЗ (у 2-х томах). К.: Інпрес, 2010. Т.1. 528 с. Т.2. 456 с.

128. Проектування і розрахунки конструкцій залізничної колії.

Академічний курс (у 2-х томах). Підручник / за заг. ред. д.т.н., проф. Даніленко Е.І. К.: «Хай-Тек-Прес». Т.1. 2019. 344 с. Т.2. 2020. 552 с.

129. Vadym Novikov, Anatolii Shtompel, Oleksii Skoryk, Yuliia Kravchenko, Yevhen Korostelov. Determination of the level of separate rail failure using the indicator of their reliability. Transbud-2018. *MATEC Web of Conferences*, 2018. 230. 01016.

130. Новіков В. В. Напрямки практичного використання експериментально отриманих функціональних залежностей величин бічного відтискання головки рейки від колеса рухомого складу. *Тези доповідей 78-ої міжнародної науково-технічної конференції «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті»*. Харків: УкрДУЗТ, 2016. С. 71.

131. Новіков В. В., Белорусов О. І. Дослідження факторів впливу на величину максимального небезпечного розміру ширини рейкової колії. *Тези доповідей 67-ої міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту»*. Дніпропетровськ: ДНУЗТ ім. академіка В. Лазаряна, 2007. С. 167–168.

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Начальник СП «Служба колії»

РФ «Південна залізниця»

АТ «Укрзалізниця»

О.Л. Заровний

« _____ » 2021 р.

АКТ

про впровадження результатів дисертаційної роботи Новікова В.В.
«Підвищення строку експлуатації рейок в кривих ділянках колії зі скріпленням роздільного типу»

Даним актом підтверджуємо можливість практичного використання наступних результатів роботи В.В.Новікова:

- запропонованої норми максимальної ширини рейкової колії 1550мм, що враховує особливості конструкції рухомого складу, який експлуатується на ділянках вантажного руху АТ «Укрзалізниця» з нормативними ремонтними профілями ободів вантажних коліс, в кривих малих радіусів, яких на регіональній філії «Південна залізниця» АТ «Укрзалізниця» налічується 157 км, з яких на залізобетонних шпалах зі скріпленнями роздільного типу КБ-65 – 138 км, а зі скріпленнями типу СКД65-Б – 11 км. На цих ділянках рейкові пліти вражаються інтенсивним бічним зносом головки рейки, які достроково замінюють шляхом перекладання зі зміною робочого канту. Впровадження нової норми максимальної безпечної ширини колії дозволить заощаджувати кошти в колійному господарстві регіональної філії «Південна залізниця» АТ «Укрзалізниця» та скоротити витрати, пов'язані з наданням «вікон» для виконання колійних робіт з перекладання рейкових плітей;


- запропонованої процедури практичного визначення величини максимальної ширини рейкової колії, виходячи із її фактичного стану, який враховує обов'язкове виконання регламентних робіт з поточного утримання проміжних рейкових скріплень роздільного типу, згідно до вимог діючих нормативних документів АТ «Укрзалізниця»;

- встановлення фактичного впливу бічних сил рухомого складу на бічні пружні відтиснення головок рейкових ниток з урахуванням розпору рейкової колії та фактичних розмірів бічних люфтів в проміжних рейкових скріпленнях, які виникають за рахунок зношування усіх елементів скріплень в умовах експлуатації на регіональній філії «Південна залізниця» АТ «Укрзалізниця».


Розроблені рекомендації прийнято до розгляду з метою впровадження в колійному господарстві регіональної філії «Південна залізниця» АТ «Укрзалізниця».

В результаті впровадження вищенаведених результатів будуть створені всі необхідні передумови для забезпечення необхідного рівня безпеки руху на ділянках як вантажного так і пасажирського руху АТ «Укрзалізниця» внаслідок урахування більш широкого кола факторів впливу при визначенні максимальної безпечної ширини залізничної колії на усіх ділянках залізничної колії зі скріпленнями роздільного типу.

Заступник начальника СП «Служба колії»
РФ «Південна залізниця»
АТ «Укрзалізниця»

 А. П. Мінченко

В. о. начальника технічного відділу
СП «Служба колії» РФ «Південна залізниця»
АТ «Укрзалізниця»

 Т. І. Книш

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Заступник начальника Харківського
відділення філії «Проектно-
вишукувальний інститут залізничного
транспорту» АТ «Укрзалізниця»,
к. т. н., с. н. с.

В.В. Божко

«09» листопада 2021 р.

АКТ

**впровадження результатів дисертаційної роботи
«ПІДВИЩЕННЯ СТРОКУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ РЕЙОК В КРИВИХ
ДІЛЯНКАХ КОЛІЇ ЗІ СКРІПЛЕННЯМИ РОЗДІЛЬНОГО ТИПУ»**

Цим актом підтверджуємо, що тема дисертаційної роботи є актуальною і направлена на підвищення строку служби рейкових плітей на ділянках з інтенсивним бічним зносом головки рейки по окремих напрямках головних колій АТ «Укрзалізниця», що відповідають складним умовам плану та профілю колії. Результати дисертаційної роботи «Підвищення строку експлуатації рейок в кривих ділянках колії зі скріпленнями роздільного типу», виконаної здобувачем Новіковим Вадимом Володимировичем, дозволять забезпечити необхідний рівень безпеки руху при впровадженні нових режимів руху, нових одиниць рухомого складу, а також нових матеріалів та конструкцій залізничної колії в цих умовах експлуатації.

Завдяки проведеним теоретичним та експериментальним дослідженням створено процедуру для практичних розрахунків максимальної величини ширини рейкової колії для магістральних залізниць України.

Особливої уваги заслуговує комплексний підхід до врахування фактичного стану конструкції безстикової колії при напрацюванні певного тону та особливостей впливу рухомого складу, що дозволяє врахувати рівень вертикальних та бічних сил взаємодії залізничної колії та рухомого складу.

Результати дисертаційної роботи можуть бути використані в проектній практиці при розробленні документації в системі колійного господарства залізниць України.

Головний інженер Харківського
відділення філії «ПВІЗТ»

Начальника науково-дослідного
Відділу, к. т. н., доц.

ГПІ відділу проектування
колії та станцій

С.В. Шепеленко

О.В. Дорохов

Д.В. Мірошніченко

ЗАТВЕРДЖУЮ:
 Проректор з науково-педагогічної роботи
 Українського державного університету залізничного
 транспорту
 Д.І.Мкртичян
 2021 р.



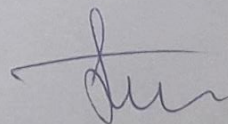
ДОВІДКА

про впровадження результатів дисертації Новікова
 Вадима Володимировича на здобуття наукового
 ступеня кандидата технічних наук «Підвищення
 строку експлуатації рейок в кривих ділянках колії зі
 скріпленням роздільного типу».

Основні результати, отримані Новіковим В.В. в дисертаційній роботі на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук «Підвищення строку експлуатації рейок в кривих ділянках колії зі скріпленням роздільного типу» використовується у навчальному процесі в курсах «Улаштування та експлуатація залізниць» для студентів спеціальностей 133 – Галузеве машинобудування та 193 – Геодезія та землеустрій, в курсах «Залізнична колія» та «Організація і планування ремонтно-колійних робіт в умовах обмежених ресурсів» для студентів спеціальності 273 – Залізничний транспорт, освітня програма «Залізничні споруди та колійне господарство», в курсовому та дипломному проектуванні. Матеріали досліджень Новікова В.В. використовувались, зокрема, у науково-дослідній роботі за темою «Розробка технічних вказівок на використання старопридатних рейок довжиною 12,5 та 25 м в коліях КП «Харківський метрополітен», тема № 67/1-14, державний обліковий номер № 0216U006885, Харків, УкрДУЗТ, 2014-2016 рр.

Крім того, матеріали досліджень використані у методичних вказівках до практичних занять з дисципліни «Управління колійним господарством залізниць» для студентів освітньої програми «Залізничні споруди та колійне господарство» (Харків, 2018, автори А.М.Штомпель, О.О.Скорик).

Завідувач кафедри
 залізничної колії і транспортних споруд,
 д.т.н., професор



Андрій Плугін

Список публікацій здобувача за темою дисертації

Статті у наукових фахових виданнях України:

1. Новиков В. В., Скорик А. А., Панченко С. В. Исследование условий распора колеи со скреплениями типа КБ и его влияние на определение опасной ширины рельсовой колеи. *Зб. наук. праць УкрДУЗТ*. Харків: УкрДУЗТ, 2018. Вип. 178. С.14–20.

Особистий внесок: розробка методики виконання досліджень умов розпору.

2. Новіков В. В., Скорик О. О. Результати експериментальних вимірювань пружних бічних відтискань головки рейкової нитки при взаємодії горизонтального та вертикального. *Зб. наук. праць УкрДУЗТ*. Харків: УкрДУЗТ, 2015. Вип. 157. С. 35–39.

Особистий внесок: підготовка експериментальної ділянки, виготовлення спеціального обладнання та проведення експериментальних досліджень.

3. Новіков В. В., Белорусов О. І., Думчиков С. В., Залевський В. О. Експериментальні дослідження величин горизонтальних люфтів у конструкції проміжного рейкового скріплення типу КБ-65. *Зб. наук. праць УкрДАЗТ*. Харків: УкрДАЗТ, 2008. Вип. 91. С. 136–140.

Особистий внесок: виконання експериментальних досліджень, статистична обробка отриманих результатів з визначення максимальної ймовірної величини горизонтальних люфтів.

4. Новіков В. В., Белорусов О. І. Дослідження факторів впливу на величину максимального небезпечного розміру ширини рейкової колії. *Вісник ДНУЗТ ім. академіка В. Лазаряна*. Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2008. Вип. 21. С. 78-79.

Особистий внесок: дослідження геометричних параметрів ободів та бандажів та термічного впливу гальмування на ширину колісної колії.

5. Новіков В. В., Белорусов О. І. Вплив конструктивних особливостей ходових частин рухомого складу на величину максимально небезпечної ширини рейкової колії. *Зб. наук. праць УкрДАЗТ*. Харків: УкрДАЗТ, 2007. Вип. 80. С.51–54.

Особистий внесок: дослідження факторів впливу на величину максимального розміру ширини рейкової колії.

6. Новіков В. В., Белорусов О. І. Визначення небезпечного максимального розміру ширини рейкової колії. *Зб. наук. праць УкрДАЗТ*. Харків: УкрДАЗТ, 2006. Вип. 72. С.137–141.

Особистий внесок: аналіз існуючих досліджень, порівняння існуючих методик.

Публікації апробаційного характеру:

7. Новіков В. В., Штомпель А.М., Скорик О.О., Кравченко Ю.М., Коростельов Є.М. Визначення рівня поодинокого виходу рейок у дефектні за показником їх надійності. Тези доповідей 7-ої міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті». Харків: УкрДУЗТ, 2018. С. 73-74.

Особистий внесок: аналіз фактичних даних при відмові рейок безстикової колії.

8. Новіков В.В., Скорик О.О., Кравченко Ю.М., Овчинніков О.О. Техніко-економічна оцінка використання нових норм небезпечної ширини рейкової колії з проміжними рейковими скріпленнями типу КБ-65 в безстиковій колії з залізобетонними шпалами на залізницях України. *Тези доповідей 7-ої міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті»*. Харків: УкрДУЗТ, 2018. С. 65-66.

Особистий внесок: аналіз впливу нових норм ширини рейкової колії на збільшення ресурсу рейкових плітей.

9. Vadym Novikov, Anatolii Shtompel, Oleksii Skoryk, Yuliia Kravchenko,

Yevhen Korostelov. Determination of the level of separate rail failure using the indicator of their reliability. Transbud-2018. *MATEC Web of Conferences*, 2018. 230. 01016.

Особистий внесок: аналіз фактичних даних при відмові рейок безстикової колії

10. Новіков В. В., Скорик О. О. Аналіз причин порушень безпеки руху в поїзній та маневровій роботі, що пов'язані з розширенням колії. *Тези доповідей 80-ої міжнародної науково-технічної конференції «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті»*. Харків: УкрДУЗТ, 2018. Вип. 177. С. 105–106.

Особистий внесок: аналіз причин порушень безпеки руху на залізницях України.

11. Новіков В. В., Скорик О. О. Дослідження умов розпору колії зі скріпленням типу КБ та його впливу на визначення небезпечної ширини рейкової колії. *Тези доповідей 6-ої міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті»*. Харків: УкрДУЗТ, 2017. С. 211–212.

Особистий внесок: аналіз впливу ремонтних профілів на визначення максимальної ширини рейкової колії з урахуванням сил розпору.

12. Новіков В. В. Напрямки практичного використання експериментально отриманих функціональних залежностей величин бічного відтискання головки рейки від колеса рухомого складу. *Тези доповідей 78-ої міжнародної науково-технічної конференції «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті»*. Харків: УкрДУЗТ, 2016. С. 71.

Особистий внесок: розробка процедури визначення максимальної ширини рейкової колії для умов складного плану та профілю.

13. Новіков В. В., Белорусов О. І. До питання про величину максимального небезпечного розміру ширини рейкової колії. *Тези доповідей 69-ої міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту»*. Дніпропетровськ: ДНУЗТ ім. акад. В.

Лазаряна, 2009. С. 142.

Особистий внесок: розробка процедури визначення максимальної ширини рейкової колії з урахуванням досліджених факторів впливу.

14. Новіков В. В., Белорусов О. І. Дослідження факторів впливу на величину максимального небезпечного розміру ширини рейкової колії. *Тези доповідей 67-ої міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту»*. Дніпропетровськ: ДНУЗТ ім. академіка В. Лазаряна, 2007. С. 167–168.

Особистий внесок: дослідження впливу непогашених прискорень для певного рухомого складу на максимальну ширину рейкової колії.

Публікації, що додатково відображають матеріали дисертації:

15. Новіков В. В., Скорик О. О. Визначення умов проведення експериментальних досліджень впливу вертикальних та бічних сил від коліс рухомого складу на бічні відтиснення головки рейки при підрейковій основі з залізобетонними шпалами. *Научные труды SWorld*. Иваново: Научный мир, 2015. Вып. №2(39), Т.1. С. 47–50.

Особистий внесок: аналіз фактичного стану проміжних рейкових скріплень в залежності від вантажонапруженості ділянок колії.

Відомості про апробацію результатів дисертації

Основні положення та результати дисертаційних досліджень доповідались на наступних міжнародних науково-практичних конференціях:

- 67-й Міжнародній науково-практичній конференції Дніпропетровського інституту інженерів транспорту «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (м. Дніпропетровськ, 24.05-25.05.2007 р. – особиста участь);

- 69-й Міжнародній науково-практичній конференції Дніпропетровського інституту інженерів транспорту «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (м. Дніпропетровськ, 21-22 травня 2009 р. – особиста участь);

- 78-й Міжнародній науково-технічній конференції «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті» (м. Харків, 26-28 жовтня 2016 р. – заочна участь);

- 6-й Міжнародній науково-технічній конференції Українського державного університету залізничного транспорту «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті» (м. Харків, 19-21 квітня 2017 р. – особиста участь);

- 80-й Міжнародній науково-технічній конференції «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті», (м. Харків, 24-26 квітня 2018 р. – особиста участь);

- 7-й Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті» (м. Харків, 14-16 листопад 2018 р. – особиста участь).