

Дніпровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна
Міністерство освіти і науки України

Український державний університет науки і технологій
Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ФЕДОРЕНКО ЄЛИЗАВЕТА МИХАЙЛІВНА

УДК 625.14:629.4.027.11

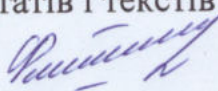
ДИСЕРТАЦІЯ
ОБҐРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ НОРМ ПЕРІОДИЧНОСТІ
ВИКОНАННЯ РЕМОНТНО-КОЛІЙНИХ РОБІТ

275 – Транспортні технології (за видами)

27 – Транспорт

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

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



Є.М. Федоренко

Науковий керівник: Патласов Олександр Михайлович, кандидат технічних наук

Дніпро – 2021

АНОТАЦІЯ

Федоренко Є.М. Обґрунтування раціональних норм періодичності виконання ремонтно-колійних робіт. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 275 «Транспортні технології (за видами)». – Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Дніпро, 2021.

Колійне господарство становить одну з найважливіших галузей залізничного транспорту від якої суттєво залежить здійснення перевізного процесу. Основними завданнями, що постають перед колійниками – є забезпечення потреб перевізного процесу, безпека функціонування транспортної інфраструктури, утримання колії та колійних пристроїв у постійній справності для забезпечення безпечного та плавного руху поїздів з найбільшими швидкостями, встановленими для даної ділянки, при мінімальних експлуатаційних витратах.

У зв'язку зі зміною умов експлуатації, дефіцитом матеріальних і трудових ресурсів, виникає необхідність вдосконалення підходів ведення колійного господарства. Безпосередньо це стосується термінів призначення видів ремонту залізничної колії, тому що прострочення або передчасне проведення ремонтів суттєво впливає на сумарні затрати, які несе залізниця.

Визначення найбільш раціональних термінів проведення ремонтів верхньої будови колії, а також планування реконструкції колії при обмежених ресурсах з урахуванням її фактичного стану – є однією з актуальних задач в області колійного господарства.

У роботі основна увага приділяється розробці відповідних норм періодичності виконання ремонтно-колійних робіт для ділянок з підвищеним впливом рухомого складу на колію.

Для досягнення поставленої мети в дисертаційній роботі проведено аналіз наукових публікацій, що дозволив зробити висновок про те, що експлуатація залізничної колії в сучасних умовах відбувається в умовах дефіциту матеріально-

технічних ресурсів і робочої сили. В таких умовах гостро стоїть питання про підвищення строків надійної роботи колії та скорочення матеріальних і трудових витрат. Одним з важливих напрямків у вирішенні цього питання є наукове обґрунтування планування термінів та проведення ремонтних робіт з урахуванням вартісних витрат та дотриманні безпеки руху поїздів.

Основною метою другого розділу є визначення експериментально-розрахунковим шляхом значення параметрів, що характеризують динамічну дію рухомого складу на залізничну колію, обґрунтування максимально допустимих (граничних) величин динамічного впливу рухомого складу на колію, а також надання рекомендацій щодо нормативів витрат матеріалів верхньої будови колії та робочої сили у зв'язку з підвищенням осьового навантаження до 25 тс/вісь.

За результатами експериментальних випробувань дії на колію (структурний підрозділ «Мелітопольська дистанція колії» Придніпровської залізниці з відступами (перекіс) 3 ступеня) 5-ти вагонів з осьовим навантаженням до 25 тс/вісь, які були включені до складу вантажного поїзда (56 вагонів, вантаж – руда), в якому решта вагонів мали осьове навантаження до 23,5 тс/вісь, виявлено:

- середні вертикальні навантаження, та відповідно середні вертикальні деформації, під вагонами з осьовим навантаженням до 25 тс/вісь більше ніж під вагонами з осьовим навантаженням до 23,5 тс/вісь на 8 відсотків.

- максимальні (що спостерігалися) вертикальні навантаження під вагонами з осьовим навантаженням 25 тс/вісь перевищували середні навантаження на 10,0 тс, а під вагонами з осьовим навантаженням до 23,5 тс/вісь перевищували середні значення на 12,8 тс. За абсолютним значенням максимальні вертикальні навантаження спостерігалися під вагонами з осьовим навантаженням до 23,5 тс/вісь та досягали 35,2 тс/вісь.

- середні горизонтальні сили, що діють на рейки від коліс вагонів з осьовим навантаженням до 25 тс/вісь дорівнювали 2,99 тс, а від коліс вагонів з осьовим навантаженням до 23,5 тс/вісь – 2,86 тс.

– максимальні (що спостерігалися) горизонтальні сили дії на колію від коліс вагонів з осьовим навантаженням до 25 тс/вісь дорівнювали 4,7 тс, а від коліс вагонів з осьовим навантаженням до 23,5 тс/вісь на 5,2 тс.

Наявність повзунів (в межах допусків до 1 мм) призводить до зростання динамічних сил на 10-15%. Під час випробувань не виявлено вагонів, в яких вертикальна динамічна сила перевищує 20 тс, а горизонтальна – 10 тс. Тому норми допустимого динамічного впливу можуть бути прийняті у відповідності до Положення про проведення планово-запобіжних ремонтно-колійних робіт на залізницях України.

Статистичні спостереження впливу вагонів з осьовим навантаженням до 25 тс/вісь на геометричні показники стану залізничної колії за період спостережень з травня по листопад 2018 року виявили, що показники змінювалися не суттєво (в межах статистичної похибки). При цьому слід зазначити, що доля вантажу, що перевозився у вагонах з осьовим навантаженням до 25 тс/вісь за період спостережень склала менше 1 %.

За результатами спостережень та розрахунків витрати на утримання колії при впровадженні вагонів з осьовим навантаженням 25 тс/вісь зростуть на 6–8 %. Скорочення міжремонтних періодів відповідно до нормативів, передбачених Положенням про проведення планово-запобіжних ремонтно-колійних робіт.

У третьому розділі наведено методику оптимізації схеми утримання колії. В результаті аналізу існуючих методик оптимізації системи утримання колії розроблена методика, заснована на використанні динамічного програмування та основ теорії відновлення, що найбільшою мірою враховує стан системи «залізнична колія». Запропонована методика дозволяє оптимізувати стратегію подальшого утримання колії за її фактичним станом. Отримана математичну модель яку можна використовувати як при оптимізації колії, так і при визначенні витрат на утримання колії в залежності від фактичного стану та при складанні річного плану ремонтних робіт.

В четвертому розділі розглянуто практичне використання запропонованої методики для визначення норм періодичності виконання ремонтно-колійних робіт

в залежності від умов експлуатації колії. Використовуючи розроблену методику та отримані залежностей відмов елементів залізничної колії, за допомогою розробленого програмного забезпечення розраховані оптимальні міжремонтні норм для усереднених умов експлуатації. Запропоновані норми можуть використовуватися для планування обсягу робіт в межах залізниць або їх структурних підрозділах. Раціональні норми періодичності ремонтів для конкретних ділянок та умов експлуатації можуть відрізнятися від усереднених значень.

Обрані в дисертації напрями дослідження безпосередньо пов'язані з виконанням науково-дослідних робіт у Дніпровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна:

- «Проведення досліджень визначення нормативів динамічної дії рухомого складу на залізничну колію залежно від навантаження на вісь до 25 тон, ваги поїздів та впливу на розлад колії», № держреєстрації 0118U003656;

- «СТП. Верхня будова колії. Улаштування, укладання, ремонт і утримання безстикової колії», № держреєстрації 0120U101020.

Наукова новизна отриманих результатів:

- набуло подальшого розвитку дослідження оцінки впливу вагонів з осьовим навантаженням 25 тс/вісь на стан геометричних показників залізничної колії та запропоновано шляхи вирішення питання щодо впровадження в Україні рухомого складу з підвищеним осьовим навантаженням з точки зору впливу на залізничну колію;

- вдосконалено методику знаходження раціональних міжремонтних термінів для ділянок з підвищеним впливом рухомого складу на колію;

- вдосконалено математичну модель витрат праці на поточне утримання колії в залежності від вантажонапруженості, пропущеного тоннажу, видів та термінів проведення ремонтів залізничної колії.

Практичне значення отриманих результатів полягає в можливості використання запропонованої методики при організації заходів з ремонту і утримання ділянок з підвищеним впливом рухомого складу на колію. Дана

методика дозволяє оптимізувати не тільки міжремонтну схему, терміни між реконструкцією, а також визначати оптимальну стратегію подальшого утримання колії щодо її стану.

Запропоновану в дисертації методику можна застосовувати для знаходження раціональних міжремонтних строків для ділянок з підвищеним впливом рухомого складу на колію, що забезпечує мінімальні сумарні витрати. Це дозволить економічно ефективно управляти технічним обслуговуванням інфраструктури, що в свою чергу є невід'ємною частиною стратегічних завдань акціонерного товариства «Укрзалізниця» щодо зменшення собівартості перевезення вантажів.

Ключові слова: залізничний транспорт, колійне господарство, система ведення колійного господарства, залізнична колія, ремонтно-колійні роботи, геометричні показники колії, осьове навантаження, норми витрат .

Список публікацій здобувача:

– *включених до міжнародної наукометричної бази «Web of Science»:*

1. Patlasov O. The Intensity of Rail Failure Flow [Electronic resource] / Oleksandr Patlasov, Yelyzaveta Fedorenko // MATEC Web of Conferences. – 2019. – Vol. 294 : 2nd International Scientific and Practical Conference «Energy-Optimal Technologies, Logistic and Safety on Transport» (EOT-2019). – P. 1–5.

DOI: <http://doi.org/10.1051/matecconf/201929403020>.

– *включених до міжнародної наукометричної бази «Index Copernicus»:*

2. Патласов О. М. Вплив вагонів з осьовим навантаженням 25 тс на стан залізничної колії / О.М. Патласов, Є.М. Федоренко// Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. 2019. – No. 3(81). – С. 87-89. .

DOI: <http://doi.org/10.1051/10.15802/stp2019/171297>.

3. Патласов О. М., Федоренко Є. М. Допустимі значення динамічної дії рухомого складу на залізничну колію в разі підвищення осьового навантаження. Наука та прогрес транспорту. 2021. № 3 (93). С. 15–23.

DOI: <http://doi.org/10.15802/stp2021/242048>.

– *в іноземних виданнях:*

4. Patlasov O., Fedorenko Y., Shulha D. (2021). Development of methods to increase the efficiency of railway maintenance. ScienceRise, (2), 11-22.

DOI: <https://doi.org/10.21303/2313-8416.2021.001816>.

– *які засвідчують апробацію матеріалів дисертації на наукових конференціях та семінарах:*

5. Патласов О.М. Адаптація параметрів осьового навантаження в Україні до вимог європейського союзу / О.М. Патласов, Є.М. Федоренко, О.В. Хлівний // Матеріали 78 міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» Дніпропетровський національний університет зал. транс. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпро: 17-18 травня 2018. – С. 200-201.

6. Патласов О.М. Вплив вагонів з осьовим навантаженням 25 тс на стан залізничної колії / О.М. Патласов, Є.М. Федоренко, П.В. Ковтун // Матеріали 79 міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» Дніпропетровський національний університет зал. транс. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпро: 16-17 травня 2019. – С. 273.

7. Патласов О.М. Вплив на залізничну колію вагонів з високими осьовими навантаженнями / О.М. Патласов, Є.М. Федоренко // Матеріали 8 міжнародної науково-практичної конференції «Перспективи взаємодії залізниць та промислових підприємств» Дніпропетровський національний університет зал. транс. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпро: 28-29 листопада 2019. – С. 115-116.

8. Патласов О.М. Методика оптимізації схеми утримання колії / О.М. Патласов, Є.М. Федоренко // Матеріали 80 міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» Дніпропетровський національний університет зал. транс. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпро: 17-18 вересня 2020. – С. 161.

9. Патласов О.М. Визначення змін технічного стану колії з використанням теорії відновлення / О.М. Патласов, Є.М. Федоренко, Д.А. Шульга // Матеріали XV міжнародної конференції «Проблеми механіки залізничного транспорту. Безпека

руху, динаміка, міцність рухомого складу та енергозбереження» Дніпропетровський національний університет зал. транс. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпро: 22-22 жовтня 2020. – С. 75-77.

10. Патласов О.М. Витрати робочої сили в залежності від стану колії / О.М. Патласов, Є.М. Федоренко // Матеріали 81 міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» Дніпровський національний університет зал. транс. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпро: 22-23 квітня 2021. – С. 168-169.

11. Fedorenko Y.M. Substantiation of rational norms of periodicity of repair work of the railway track / Матеріали 9-ї Міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 17-19 листопада 2021 р.: Харків: УкрДУЗТ, 2021. - 281 с.

ABSTRACT

Fedorenko E.M. Substantiation of rational norms of periodicity of repair work of the railway track. – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

Thesis for Ph.D. degree in specialty 275 «Transport technologies (by types)».– Dniprovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Dnipro, 2021.

The track economy is one of the most important branches of railway transport, on which the implementation of the transportation process significantly depends. The main tasks facing the tracks are to meet the needs of the transportation process, safety of infrastructure, maintenance of tracks and track devices in constant working order to ensure safe and smooth movement of trains with the highest speeds set for this section, with minimal operating costs.

Due to changes in operating conditions, shortage of material and labor resources, there is a need to change approaches in planning the system of track management. This is directly related to the timing of the types of railway track repairs, as delays or premature repairs significantly affect the total costs incurred by the railway.

Determining the most rational terms for repairs of the upper structure of the track, as well as planning the reconstruction of the track with limited resources, taking into account its actual condition is one of the urgent tasks in the field of track management.

The paper focuses on the development of appropriate standards for the frequency of repair and track works for areas with high impact of rolling stock on the track.

To achieve this goal in the dissertation analysis of scientific publications, which led to the conclusion that the operation of the railway in modern conditions occurs in conditions of shortage of material and technical resources and labor. In such conditions, the question of increasing the period of reliable operation of the track and reducing material and labor costs is acute. One of the important directions in the decision of this question is the scientific substantiation of planning of terms and carrying out of repair works taking into account cost expenses and observance of safety of movement of trains.

The main purpose of the second section is to determine experimentally the values of

parameters that characterize the dynamic action of rolling stock on the railway track, substantiation of the maximum allowable (limit) values of dynamic impact of rolling stock on the track, as well as providing recommendations on standards of materials forces due to the increase of the axial load to 25 ts/axis.

According to the results of experimental tests of action on the track (section of Melitopol inverter, Prydniprovsk railway with indentations (skew) 3 degrees) 5 cars with axial load up to 25 ts/axle, which were included in the freight train (56 cars, freight - ore), in which the remaining cars had an axial load up to 23,5 ts/axle, found:

- average vertical loads, and accordingly average vertical deformations, under wagons with axial load up to 25 ts/axle more than under wagons with axial load up to 23,5 ts/axle by 8 percent.

- maximum (observed) vertical loads under wagons with axial load of 25 ts/axle exceeded average loads by 10,0 ts, and under wagons with axial load up to 23,5 ts/axle exceeded average values by 12,8 ts. In absolute terms, the maximum vertical loads were observed under wagons with axial load up to 23,5 ts / axle and reached 35,2 ts/axle.

- the average horizontal forces acting on the rails from the wheels of cars with axial load up to 25 ts/axle were equal to 2,99 ts, and from the wheels of cars with axial load up to 23,5 ts/axle – 2,86 ts.

- the maximum (observed) horizontal forces on the track from the wheels of cars with axial load up to 25 ts/axle were equal to 4,7 ts, and from the wheels of cars with axial load up to 23,5 ts/axle by 5,2 ts.

The presence of sliders (within tolerances up to 1 mm) leads to an increase in dynamic forces by 10-15%. During the tests, no cars were found in which the vertical dynamic force exceeds 20 tons, and the horizontal - 10 tons. Therefore, the norms of permissible dynamic impact can be adopted in accordance with the Regulations on the planned and preventive repair and track works on the railways of Ukraine.

Statistical observations of the impact of wagons with axial load up to 25 ts/axle on the geometric indicators of the state of the railway track for the period of observations from May to November 2018 found that the indicators did not change significantly (within

the statistical error). It should be noted that the share of cargo transported in wagons with axial load up to 25 ts / axle during the observation period was less than 1 %.

According to the results of observations and calculations, the cost of track maintenance during the introduction of cars with an axle load of 25 ts/axle will increase by 6 – 8%. Reduction of inter-repair periods in accordance with the standards provided by the Regulations on scheduled maintenance and track works.

The third section presents a method of optimizing the scheme of track retention. As a result of the analysis of the existing methods of optimization of the track retention system, a technique based on the use of dynamic programming and recovery theory has been developed, which takes into account the state of the railway track system to the greatest extent. The proposed technique allows to optimize the strategy of further maintenance of the track according to its actual condition. The obtained mathematical model which can be used both at optimization of a track, and at definition of expenses for the maintenance of a track depending on an actual condition and at drawing up of the annual plan of repair works.

In the fourth section the practical use of the offered technique for definition of norms of periodicity of performance of repair and track works depending on conditions of operation of a track is considered. Using the developed technique and the received dependences of failures of elements of a railway track, by means of the developed software optimum interrepair norms for average operating conditions are calculated. The proposed rules can be used to plan the scope of work within the railways or their structural units. Rational rates of frequency of repairs for specific areas and operating conditions may differ from the average values.

The main results of the study are related to the implementation of researches at Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan on the following topics:

- «Carrying out research on determining the standards for the dynamic impact of rolling stock on a railway track, depending on the axle load up to 25 t, train weight and the effect on track breakdown», 0118U003656;

– «STP.Track superstructure. Construction, laying, repair and maintenance of continuous welded track» , 0120U101020.

Scientific novelty of the obtained results:

– the study of assessing the influence of cars with an axle load of 25 tf/axle on the state of geometric indicators of a railway track was further developed and ways of solving the issue of introducing rolling stock with an axle load of 25 tf/axle in Ukraine from the point of view of the impact on the railway track were proposed;

– improved methodology for finding rational turnaround times for areas with increased impact of rolling stock on the track;

– improved track facilities management system.

The practical significance of the results obtained lies in the possibility of using the proposed methodology when organizing measures for the repair and maintenance of sections with an increased impact of rolling stock on the railway track.

The methodology proposed in the dissertation can be used to find rational turnaround times for sections with an increased impact of rolling stock on the track, which ensures the minimum total costs. This will allow cost-effective management of infrastructure maintenance, which in turn is an integral part of Ukrzaliznytsia's strategic objectives to reduce the cost of cargo transportation.

Keywords: railway transport, track facilities, track control system, railway track, repair and track works, geometric indicators of track, axle load, rates of consumption.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	15
РОЗДІЛ 1	
АНАЛІЗ СИСТЕМИ ВЕДЕННЯ КОЛІЙНОГО ГОСПОДАРСТВА.....	19
1.1 Розвиток системи ведення колійного господарства	19
1.2 Огляд наукових досліджень методів планування ремонтно – колійних робіт ...	23
1.3 Перспективи розвитку системи ведення колійного господарства	32
1.4 Постановка проблеми. Обґрунтування мети і формування задач наукового дослідження.....	40
РОЗДІЛ 2	
ВПЛИВ ВАГОНІВ З ОСЬОВИМ НАВАНТАЖЕННЯМ 25 ТС/ВІСЬ НА СТАН ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ.....	42
2.1 Досвід експлуатації впливу рухомого складу з підвищеними осьовими навантаженнями	42
2.2 Експериментальні дослідження впливу рухомого складу з підвищеними осьовим навантаженням на залізничну колію	47
2.2.1 Дослідна ділянка.....	47
2.2.2 Дослідний поїзд	51
2.2.3 Вимірювання впливу вагонів на колію	53
2.2.4 Напруження в кромках підшви рейок	56
2.2.5 Вертикальні сили, що передаються від коліс на рейки.....	56
2.2.6 Горизонтальні сили, що передаються від коліс на рейки	57
2.3 Статистичні дослідження	62
2.3.1 Дослідні ділянки	63
2.3.2 Розрахунок середньоквадратичних відхилень геометричних параметрів колії.....	63
2.3.3 Факторний дисперсійний аналіз впливу осьового навантаження на інтенсивність зміни стану колії	71
2.4 Визначення інтенсивності відмов рейок.....	73
2.5 Прогнозові розрахунки зростання витрат на утримання колії	76
Висновки до розділу 2.....	80

РОЗДІЛ 3 МЕТОДИКА ОПТИМІЗАЦІЇ СХЕМИ УТРИМАННЯ КОЛІЇ	82
3.1. Вибір розрахункової моделі роботи верхньої будови колії.....	82
3.2. Застосування динамічного програмування в оптимізації термінів.....	84
3.3 Визначення стану верхньої будови колії з застосуванням теорії відновлення..	91
3.4 Критерії оптимізації	94
Висновки до розділу 3.....	101
РОЗДІЛ 4 ОБГРУНТУВАННЯ СИСТЕМИ ПЛАНУВАННЯ РЕМОНТІВ КОЛІЇ	102
4.1 Оптимізація схеми утримання колії для конкретних умов.....	102
4.2 Техніко-економічна оцінка запропонованих заходів.....	102
Висновки до розділу 4.....	116
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	118
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	121
ДОДАТОК А. ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ВИКОНАННЯ НАУКОВО- ДОСЛІДНОЇ РОБОТИ	130
ДОДАТОК Б. ПРОТОКОЛИ.....	144

ВСТУП

Актуальність теми. В умовах інтеграції України в європейський та світовий економічний простір збільшується обсяг вантажних і пасажирських перевезень, тому значення залізничного транспорту зростає. Реструктуризація залізничного транспорту, яка на даний час проходить в Україні, має на меті досягнути європейських і світових стандартів, що надає можливість прискоренню темпів євроінтеграції та максимальній реалізації транспортного потенціалу країни.

Підвищення осьового навантаження вантажних вагонів є одним із способів збільшення провізної здатності залізниць. Впровадження більш високих осьових навантажень певною мірою може призвести до скорочення терміну служби залізничної колії в цілому та її окремих елементів. Тому, при підвищенні норм осьового навантаження при існуючих технічних характеристиках колії, необхідна розробка відповідних раціональних норм періодичності виконання ремонтно-колійних робіт.

У роботі основна увага приділяється обґрунтуванню та розробці відповідних норм періодичності виконання ремонтно-колійних робіт для ділянок з підвищеним впливом рухомого складу на колію. Для цього, досліджено напружено-деформований стан колії на ділянках обертання рухомого складу з підвищеними осьовими навантаженнями.

Тому задача визначення раціональних міжремонтних термінів для ділянок з підвищеним впливом рухомого складу на колію є важливою та актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Обрані в дисертації напрями дослідження безпосередньо пов'язані з виконанням науково-дослідних робіт у Дніпровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна:

– «Проведення досліджень визначення нормативів динамічної дії рухомого складу на залізничну колію залежно від навантаження на вісь до 25 тон, ваги поїздів та впливу на розлад колії», № держреєстрації 0118U003656;

– «СТП. Верхня будова колії. Улаштування, укладання, ремонт і утримання безстикової колії», № держреєстрації 0120U101020.

Результати дисертаційної роботи отримано під час виконання вказаних досліджень, у яких дисертант виступав виконавцем і є співавтором звітів з науково-дослідної роботи.

Мета та задачі дослідження

Метою дослідження є обґрунтування та розробка відповідних норм періодичності виконання ремонтно-колійних робіт для ділянок з підвищеним впливом рухомого складу на колію.

Для досягнення вказаної мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз науково-дослідних робіт системи ведення та методів планування ремонтно-колійних робіт;
- дослідити напружено-деформований стан колії при впливі рухомого складу з підвищеними осьовими навантаженнями;
- удосконалити методику оптимізації схеми утримання колії;
- проаналізувати результати досліджень стану верхньої будови колії на ділянках обертання рухомого складу з підвищеними осьовими навантаженнями;
- дослідити можливість використання запропонованої методики для визначення норм періодичності виконання ремонтно-колійних робіт в залежності від умов експлуатації.

Об'єктом дослідження є процес планування та організація ремонтно-колійних робіт.

Предметом дослідження є строки та витрати при виконанні ремонтно-колійних робіт.

Методи дослідження. Автором використані різні методи дослідження: аналіз літературних джерел, факторний дисперсійний аналіз, експериментальні дослідження, натурні випробування, динамічне програмування.

Наукова новизна отриманих результатів:

- набуло подальшого розвитку дослідження впливу вагонів з підвищеним осьовим навантаженням на стан геометричних показників залізничної колії;

- вдосконалено методику знаходження раціональних міжремонтних термінів для ділянок з підвищеним впливом рухомого складу на колію;
- вдосконалено математичну модель витрат праці на поточне утримання колії в залежності від вантажонапруженості, пропущеного тоннажу, видів та термінів проведення ремонтів залізничної колії.

Практичне значення отриманих результатів.

Практичне значення отриманих результатів полягає в можливості використання запропонованої методики при організації заходів з ремонту і утримання ділянок з підвищеним впливом рухомого складу на колію.

Запропоновану в дисертації методику можна застосовувати для знаходження раціональних міжремонтних термінів для ділянок з підвищеним впливом рухомого складу на колію, що забезпечує мінімальні сумарні витрати. Це дозволить економічно ефективно управляти технічним обслуговуванням інфраструктури, що в свою чергу є невід'ємною частиною стратегічних завдань акціонерного товариства «Укрзалізниця» щодо зменшення собівартості перевезення вантажів.

Особистий внесок. Усі наукові положення дисертаційної роботи, що виносяться на захист, сформульовані автором особисто. Авторіві належить: постановка та обґрунтування мети роботи, планування та проведення досліджень, обробка та аналіз результатів експериментів, підготовка статей до друку. Постановка задач та обговорення результатів досліджень виконані спільно з науковим керівником та співавторами публікацій. У публікаціях, які відображають основні результати дисертації та написані в співавторстві, здобувачеві належать: у [1] – виявлено кількісні зміни інтенсивності накопичення відмов рейок на ділянках з поступовим впровадженням високих осьових навантажень; у [2] – виконано дослідження оцінки впливу вагонів з осьовим навантаженням 25 тс/вісь на стан геометричних показників залізничної колії й запропоновано шляхи вирішення питання щодо впровадження в Україні рухомого складу з осьовим навантаженням 25 тс/вісь, у [3] – виконано дослідження методики оптимізації утримання колії, що дозволяє оптимізувати не міжремонтну схему, терміни між капітальними ремонтами, а також визначити оптимальну стратегію подальшого утримання колії

при визначеному фактичному стані, [4] – дослідження спрямоване на визначення експериментально-розрахунковим шляхом значень параметрів, що характеризують динамічну дію рухомого складу на залізничну колію, обґрунтування максимально допустимих (граничних) величин.

Апробація результатів роботи. Матеріали дисертаційної роботи доповідалися, обговорювалися та отримали схвалення на науково-технічних конференціях та семінарах: 78, 79, 80, 81-й міжнародних науково-практичних конференціях «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (Дніпро, травень 2018, 2019, 2020, 2021 рр.); XIII міжнародній науково-практичній конференції «Перспективи взаємодії залізниць та промислових підприємств» (Дніпро, листопад 2019 р.); міжнародній науково-практичній конференції «Енергооптимальні технології, логістика та безпека на транспорті» (м. Львів, вересень 2019 р.); XV міжнародній науковій конференції «Проблеми механіки залізничного транспорту» (Дніпро, жовтень 2020 р.), 9-й міжнародній науковій конференції «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель» (Харків, листопад 2021 р.).

Публікації. Результати дисертації опубліковано у 11 наукових працях, у тому числі: 4 наукових статті (1 – у журналах, які індексуються у Web of Science, 2 – у журналах, які індексуються у «Index Copernicus», 1– у наукових виданнях іншої держави), 7 тез доповідей конференцій.

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та двох додатків.

Основний текст викладено на 120 сторінках. Дисертація містить усього 30 рисунків. Список літератури із 92 найменування викладено на 10 сторінках.

Дисертацію оформлено в одному томі. Повний обсяг дисертації 148 сторінок.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СИСТЕМИ ВЕДЕННЯ КОЛІЙНОГО ГОСПОДАРСТВА

1.1 Розвиток системи ведення колійного господарства

Колійне господарство займає одне з найважливіх місць в системі залізничного транспорту. До його складових відносяться: залізнична колія та чисельні її споруди, снігозахисні лісонасадження і розсадники, технічні і лінійноколійні будинки, промислові підприємства, підприємства, що забезпечують експлуатацію і ремонт колії і споруд.

На частку колійного господарства припадає більше половини вартості основних фондів залізниці, п'ята частина експлуатаційних витрат і контингенту, який працює в мережі [5].

Безперебійна робота залізниці неможлива без систематичного контролю за станом колії, поточного утримання і проведення ремонтних робіт в техніко-економічні обґрунтовані терміни, тобто без певної системи ведення колійного господарства.

Система ведення колійного господарства – це взаємозв'язок її складових частин, а саме: умов експлуатації, її технічних параметрів і характеристик, нормативів і технологічних параметрів ремонтів і обслуговування колій [11].

Метою системи ведення колійного господарства є визначення сукупності методів, прийомів і правил для реалізації основної задачі залізничної колії: всі елементи залізничної колії за міцністю, стійкістю і станом мають забезпечувати безпеку руху поїздів із встановленими швидкостями.

Система ведення колійного господарства формувалася роками під впливом сукупності експлуатаційних факторів, основними з яких є осьові навантаження, вантажонапруженість, швидкості руху, маси поїздів, а також кліматичні та інші умови.

Передумовою створенню сучасної системи ведення колійного господарства постали багаторічні дослідження вчених спільно з новаторами і передовими колективами галузі, їх творчий пошук оптимальних умов для утримання колії при безперервно зростаючих об'ємах перевізної роботи, інтенсивності використання колії та колійних споруд [58] .

Початком зародження системи ведення колійного господарства вважається будівництво першої залізниці на території України, що з'єднала Львів та Перемишль [6].

З утворенням Міністерства шляхів сполучення (МШС Росії) почався поділ персоналу колії на служби, видана перша постанова про склад і охорону залізниць. На основі цієї постанови в 1883 р. під керівництвом Д.І. Журавського розроблені «Правила утримання та охорони залізниць відкритого користування», в яких вперше, на рівні офіційного документу були сформовані основні завдання системи ведення колійного господарства. Чітких критеріїв встановлення колійних робіт не було, тому рішення про їх необхідний перелік і терміни виконання приймалися дорожнім майстром і бригадиром колії. Однак, за пропозицією інженера С.П. Бачманова був введений планово – попідетний ремонт колії [7].

Основним завданням колійного господарства протягом майже всього ХХ століття було збільшення потужності залізниці, обсягу перевезень і навантажень на вісь.

Зростання вантажнапруженості, осьових навантажень та швидкостей руху поїздів передувало створення рейок марки Р75, та одночасно припинився випуск рейок Р38, а далі Р43 і Р50. Припинилося укладання рейок довжиною 12,5 м і перейшли на 25-метрові, а з 1959 р. приступили до укладання безстикової колії температурно-напруженого стану з використанням рейок Р65. Практично вся залізнична мережа була на піщаному баласті, а близько 40% дерев'яних шпал були непридатними. Тому, було прийнято рішення про перехід на планові види ремонтів залізничної колії та видана тимчасова інструкція, яка передбачала виконання таких видів колійних робіт: капітальний ремонт колії, реконструкція, суцільний поточний ремонт [7].

Така система організації ремонтів та утримання колії, дуже прогресивна на момент створення і повністю відповідала вимогам планового ведення колійного господарства.

Прийняті рішення щодо вдосконалення системи ведення колійного господарства в значній мірі базувалися на працях вітчизняних вчених і фахівців, виконаних у другій половині XX століття [8].

Результати практичного досвіду технічного обслуговування колії за певний період експлуатації конструкції залізничної колії становлять основу для складання планів розвитку відповідних підприємств колійного господарства, аналіз яких спрямовується на удосконалення системи ведення колійного господарства.

Аналіз системи технічного обслуговування колії (існуючої на конкретній ділянці залізниці) передбачає розглядання не тільки показників технічного стану конструкції залізничної колії та реалізованих ремонтно-колійних робіт, а й певних аспектів технології інженерної підготовки виробництва [9].

Сучасний стан колійного господарства українських залізниць характеризується достатньо високими показниками. В теперішній час на головних коліях в основному укладені рейки Р50 та Р65, які термічно оброблені [10]. В стрілочних горловинах приймально-відправних парків, де поїзди слідують з високими швидкостями, укладені потужні стрілочні переводи пологих марок (1/18, 1/11) і з рухомим осердям хрестовин. В інших місцях стрілочних горловин приймально-відправних парків для вантажних поїздів в основному укладені стрілочні переводи марки 1/9. Підвищення потужності та покращення стану колії досягається укладкою залізобетонних шпал на щебеневому баласті та спорудженням безстикової колії. Автоматизація і механізація виробничих процесів підвищує якість експлуатаційної роботи залізниць та їх пропускну спроможність, забезпечує більш високий рівень безпеки руху та продуктивність праці [10].

Основним виробничим процесом у колійному господарстві є технічне обслуговування колії. Якість продукції колійного господарства – це технічний стан конструкції колії. Вона визначається як ступінь відповідності її стану вимогам безпеки і плавності руху поїздів зі встановленою швидкістю. Ефективність

технічного обслуговування колії безпосередньо пов'язана з приведенням стану конструкції залізничної колії у відповідність з експлуатаційними умовами певної ділянки, у тому числі й за показниками перевізного процесу.

На сьогодні, визначення основних принципів, технічних параметрів і нормативно-технічних вимог до системи ведення колійного господарства базується на основі «Положення про систему ведення колійного господарства на залізницях України» (далі – Положення) [11].

Система ведення колійного господарства ґрунтується на поділі колій на категорії залежно від вантажонапруженості і встановлених швидкостей руху поїздів, а також диференціації використання нових і старопридатних матеріалів верхньої будови колії при проведенні ремонтно-колійних робіт залежно від категорії колії [11].

Положення [11] базується на сучасному технічному рівні структурних підрозділів колійного господарства залізниць, машинного парку і типізації конструкцій колії залежно від умов експлуатації. Воно містить рекомендовані організаційно-технічні параметри та нормативи для їхнього використання в сучасних умовах експлуатації залізниць України з урахуванням перспектив розвитку залізничного транспорту.

На основі Положення [11] розробляються окремі нормативно-технічні документи, що визначають організацію, технологію, планування робіт поточного утримання і ремонтів верхньої будови колії, земляного полотна, штучних споруд і колійних пристроїв залежно від категорійності колій та умов їхньої експлуатації, умови та безпеки праці.

Згідно з Положенням станом на сьогодні колійні роботи на залізницях України поділяються на такі види [11] :

- періодичні ремонтно-колійні роботи;
- регламентні ремонтно-колійні роботи;
- ремонтно-колійні роботи, що виконуються за розпорядженнями Укрзалізниці чи управліннями залізниць;

– поточне утримання колії.

Реалізація викладеної у Положенні [11] системи проведення ремонтно-колійних робіт повинна забезпечувати безвідмовне функціонування колії та споруд в умовах довготривалої експлуатації при ресурсозбереженні матеріальних і трудових витрат, а також безумовне дотримання норм і вимог охорони праці та навколишнього середовища, безпеки руху поїздів і техніки безпеки працюючих [11].

Для вдосконалення системи ведення колійного господарства потрібно враховувати особливості технічного стану колії, її призначення та подальше утримання в умовах обмежених ресурсах.

1.2 Огляд наукових досліджень методів планування ремонтно-колійних робіт

Вирішенню багатьох питань міцності, стійкості, довговічності конструкції колії і його технічного обслуговування присвячені фундаментальні праці багатьох відомих вчених та інженерів.

В роботі В.М. Яніна на основі обробки статистичних даних для ділянок з рейками Р65 виведені інтегральні залежності роботи елементів верхньої будови колії та розроблені пропозиції щодо періодичності ремонтів для ділянок з вантажонапруженістю 100 і більше мЛнТкм / км на рік [12].

При оцінці потреби в виправних роботах В.О. Певзнером було отримано вираз для оцінки зв'язку деформацій колії з напругою в баластному шарі. В результаті було встановлено, що напруга в баласті під шпалою є тією змінною, якою можна регулювати інтенсивність росту нерівностей і відповідно терміни проведення робіт з поточного утримання колії [13].

Н.І. Коваленко була запропонована система нормування термінів призначення капітальних і проміжних ремонтів колії з досягненням граничних значень критеріїв для всіх елементів верхньої будови колії. Обраний «лімітуючий» елемент, який є критерієм для призначення певного виду ремонту [14].

Н.М. Поляковим розроблена та впроваджена система виконання робіт з ремонту колії силами тільки колійно - машинних станцій. Створення підрозділів експлуатації та обслуговування колійної техніки дозволило збільшити виробничість машин в 1,5-2 рази, що відповідно скорочувало терміни проведення ремонтно-колійних робіт [15].

На основі виконаних робіт була розроблена і впроваджена дільнична система ведення колійного господарства, згідно якої роботи з технічного обслуговування колії виконувалися укрупненими бригадами в межах ділянок довжиною 60-80 км з регулярними оглядами бригадами колії [15].

Питання вдосконалення системи утримання залізничної колії розглянуті у роботі професора В.В. Рибкіна [16]. Зазначено, що оптимізації підлягають строки всіх видів ремонтно-колійних робіт, а також обсяги робіт з поточного утримання колії. Система утримання залізничної колії розуміється автором як певна періодичність капітального ремонту колії, а також поєднання інших видів ремонтів і робіт з поточного утримання колії, які виконуються між капітальними ремонтами колії [16].

В основу планування робіт, на думку автора, повинен бути покладений прогноз зміни стану колії з використанням системи «АСУ- П» (автоматизована система управління - путь). В.В. Рибкіним на підставі діючих нормативних документів проаналізовані причини повних і часткових відмов залізничної колії в цілому і окремих його елементів. В результаті встановлено, що ряд показників, які призводять до відмов залізничної колії, не контролюються через відсутність методик контролю і відповідних приладів. Розроблено математичну модель системи утримання залізничної колії як системи окремих взаємопов'язаних відновлюваних елементів, що обслуговуються підприємствами колійного господарства. Модель дозволяє отримати кількісну і якісну оцінку надійності функціонування системи в часі і спрогнозувати зміну надійності [16].

Питання розробки та впровадження прогресивних ресурсозберігаючих технологій ремонтів колії для різних умов експлуатації, обґрунтування раціональних сфер повторного застосування елементів і конструкцій колії, проблеми необхідності

перебудови системи ведення колійного господарства на ділянках з малою вантажонапруженістю розглянуті в ряді робіт В.М. Ермаковим [17].

Автор вказує на доцільність застосування старопридатних рейок як в ланковій, так і в безстикової колії при вантажонапруженості менш ніж 20 млн ткм бруто / км на рік. Для оцінки впливу виконаних обсягів робіт ремонту колії на основні експлуатаційні витрати автором виконані розрахунки та проведено аналіз ефективності вкладення коштів в ремонти колії, аспекті взаємозв'язку їх з основними експлуатаційними показниками [17].

В роботі В.В. Мішіна «Стратегічне управління утриманням колії» [18] наголошується, що головною метою стратегічного управління колійним господарством є оптимізація витрат на перевезення при їх мінімальних витратах та безумовному забезпеченні безпеки руху поїздів. Для досягнення цієї мети необхідно забезпечити рух поїздів з встановленими швидкостями, понизити собівартість технічного обслуговування і ремонтів колії, відшукати оптимальне співвідношення витрат на поточне утримання і ремонти, а також створити умови для освоєння заданого обсягу перевезень.

Процес управління в системі управління колійним господарством передбачає реалізацію циклічної послідовності таких етапів [16]:

- підготовка рішення – розробляються рішення інженерного завдання, складаються їхні можливі варіанти, які базуються на зібраних у процесі моніторингу фактичних даних про технічний стан об'єкта (тобто конструкції залізничної колії на певній ділянці), ресурсів відповідного господарства, зовнішніх факторів впливу на об'єкт і оцінки показників, що характеризують процес функціонування об'єкта;

- прийняття рішення – вибір керівником (узгодження з відповідними службами) одного з можливих варіантів вирішення інженерного завдання та оформлення цього рішення у вигляді наказу (технічних умов; службової вказівки; директивного плану тощо);

- реалізація рішення – організація, облік і контроль виконання прийнятого рішення;

- аналіз та оцінка ефективності прийнятого та реалізованого рішення;
- підготовка (чергового) рішення і так далі за схемою, етапи якої наведені вище.

Філіпповим В.М. запропонована автоматична динамічна система технічного обслуговування «АДСТО» стосовно колійного господарства, в якій пропонується замінити систему обслуговування «по напрацюванню» системою за «станом», а також досліджені аналітичні залежності залишкових деформацій колії в залежності від терміну служби [19-21].

Дослідження ремонтів на ділянках з високою вантажонапруженістю, а також оцінка впливу різних факторів на інтенсивність просадок колії були проведені в роботах А.А. Ільяшенко і Н.І. Коваленко [22-24].

Г.М. Шахунянц запропонував розраховувати витрати праці з поточного утримання колії, яка включає в себе трудові, матеріальні, експлуатаційні, капітальні витрати, а також організаційно-технічні показники [25].

Задачі вдосконалення систем контролю колії та планування на цій основі колійних робіт присвячено велике коло досліджень, виконаних у відділенні організації та механізації колійних робіт ВНІІЗТу, які вказали на доцільність планування колійних робіт на основі системи обробки інформації колієвимірвальних вагонів, обладнаних бортовими електронно-обчислювальними машинами [26].

З. Л. Крейніс дійшов висновку, що для визначення термінів проведення робіт з поточного утримання колії необхідно оцінювати за показниками зростаючих значень статистичного розподілу та попереднього тоннажу і параметру допустимих обрисів з використанням моделей функціонування колії [27].

В.М. Прохоровим на основі статистичних даних отримані оцінки впливу проведених ремонтних робіт на стан геометрії рейкової колії, які показують їх ефективність [28].

А.Г. Трукуновим на підставі виконаних досліджень і проведеного комплексу ремонтних робіт встановлено, що в післяремонтний період після виробництва укладальних кранів найбільш доцільним є проведення поточного обслуговування

ділянки колійно-машинними станціями, що гарантує якісне і своєчасне виконання планово-попереджувального ремонту [29].

В роботі [30] розроблена методика для визначення оптимальної тривалості «вікна», при забезпеченні мінімальних сумарних витрат на ремонт колії, та ефективне управління технічним обслуговуванням інфраструктури.

Умови для побудови інформаційно-аналітичних систем комплексного моніторингу технологічних процесів ремонту колії висвітлені у роботі [31]. Автору вдалося реалізувати систему дистанційного моніторингу підбиття залізничної колії, що забезпечує безперервне спостереження за показниками колійної техніки, при виконанні ремонтних робіт.

В.В. Кузнєцов на базі експериментальних досліджень розробив технологічні заходи по підвищенню надійності колії та методи зниження рівня витрат на додаткові роботи за рахунок посилення рейкових стиків в результаті широкого використання шарнірних накладок [32].

Шляхи вдосконалення існуючої системи діагностики колії розглянуті у праці [33]. В ній також, розроблена методика визначення інтенсивності зміни стану колії за показниками обрисів рейкових ниток в різних експлуатаційних умовах.

Розробкою моделей відмов рейок займалися провідні науковці. Ці дослідження знайшли своє відображення в працях Н.И. Карпущенко, В.Я. Шульги, Н.П. Кондакова, О.М. Баль та ін. [34-37].

У всіх розроблених моделях основним фактором впливу на відмови виступає пропущений тоннаж, у деяких роботах враховано також інші експлуатаційні фактори. Аналіз цих моделей показав, що вони можуть бути використані в межах тих умов, для яких вони розроблялись.

Експериментальні дослідження напружено-деформованого стану основних елементів колії, що визначають вплив вагонів з навантаженнями до 300 кН, висвітлені у роботі [38]. Розроблено комплекс заходів щодо зниження інтенсивності накопичення залишкових деформацій колії, в тому числі рейок, шпал, баластного шару, земляного полотна та продовження терміну їх служби.

В.Б. Каменський стверджує, що зі збільшенням інтенсивності перевезень відбувається посилення конструкції верхньої будови та етапна адаптація системи ведення колійного господарства до змінних умов перевізного процесу [39].

На думку автора, нова система ведення колійного господарства повинна базуватися на наступних базових компонентах:

- класифікація колії як основа всієї структури, яка зображує умови експлуатації;
- тип верхньої будови колії, яка регламентує його опорну здатність і використання нових і старопридатних матеріалів в залежності від класу колії;
- систематизація колійних робіт з поділом їх на дві основні групи: ремонт та поточне утримання колії;
- розробка ремонтних схем, що встановлюють види робіт для колії різних категорій та їх періодичність за напрацюванням та фактичним станом, за критеріями оцінки працездатності окремих елементів;
- стандартизація способів виробництва робіт, обумовлених технічними засобами тривалості регламентованих перерв у русі поїздів;
- побудова принципів поточного утримання колії, що зумовлюються рівнем стабільності колії, ефективним співвідношенням витрат на ремонт та поточне утримання, способами виконання робіт і можливостями їх виконання за умовами руху поїздів;
- моніторинг стану колії;
- перебудова організаційної структури колійного комплексу;
- розробка системи матеріально-технічного забезпечення.

Основні теоретичні та експериментальні положення по дослідженням взаємодії рухомого складу, колії та стрілочних переводів викладено у роботі [40]. Проаналізовано основні ідеї з їх критичним аналізом.

Робота [41] присвячена розробці заходів підвищення ефективності експлуатації колії та зменшення розладнань елементів колії шляхом встановлення

допустимих експлуатаційних умов та необхідних параметрів пружності елементів колії експериментально-теоретичними методами.

Автором [41] розроблено модель динамічної взаємодії колії та рухомого складу, яка дозволяє отримати параметри напружено-деформованого стану колії у їх динаміці при проходженні рухомим складом геометричних нерівностей та нерівностей нерівнопружності підрейкової основи. На основі комплексних експериментально-теоретичних досліджень виконано оцінку необхідної пружності рейкових скріплень з точки зору роботи рейок та баластного шару [41].

У роботі [42] проаналізовано основні відмінності української залізничної інфраструктури від інфраструктури країн, з якими Україна межує на західному кордоні, та країн, до яких може бути заведена колія 1 520 мм, враховуючи напрямок основного вантажопотоку зі Сходу на Захід. Також надана кількісна та якісна оцінка технічної сумісності та інших показників залізничних мереж відносно території України.

Для отримання даних щодо інфраструктури й обсягів перевезень в окреслених завданнях країнах проведено огляд світової літератури з теми роботи з використанням повнотекстових і статистичних баз даних.

Значні успіхи в розвитку колійного господарства та колійної інфраструктури стали можливими, перш за все, завдяки успішній співпраці Укрзалізниці з передовими науковими транспортними школами, провідними науковими фахівцями та вченими транспортної галузі. Саме завдяки їхнім розробкам галузь колійного господарства отримала практично повністю нову нормативно-технічну документацію і літературу щодо улаштування, утримання та експлуатації залізничної колії та залізничних споруд, вченими залізничної галузі розроблені сучасні технічні умови на нові колійні конструкції, технології їх виробництва, правила розрахунків і проектування, улаштування та утримання залізничної колії, системи ведення колійного господарства, правил виконання ремонтних колійних робіт.

За кордоном питанням планування колійних робіт постійно приділяється підвищена увага. Основними питаннями які вирішуються, є технічна оцінка стану

колії, яка визначає потребу в проведенні необхідних робіт та техніко-економічна оцінка варіантних рішень щодо виконання робіт.

Угодою про асоціацію України та Європейського Союзу (ЄС) визначено зобов'язання щодо імплементації 7 директив та 4 регламентів ЄС у сфері залізничного транспорту [43].

В останнє десятиліття управління залізничною інфраструктурою в Європі змінилося в порівнянні з попереднім століттям. Тобто, у країнах Європейського Союзу, на теперішній час впроваджено новий рівень та правила гри для всіх учасників ринку залізничних перевезень – рівна конкуренція, баланс інтересів держави та господарюючих суб'єктів [44].

Однією із цілей Білої книги ЄС [45] щодо транспорту до 2050 року, яка вважається Стратегією розвитку транспорту ЄС на довгострокову перспективу, є рішення підняти обсяги перевезень вантажів на залізничному транспорті, також розвиток колійного господарства взагалі з 8 до 18 % у 2030 році в країнах ЄС.

Бачення Європейської Комісії щодо ефективності розвитку колійного господарства та управління залізничним транспортом спрямоване на відділення залізниці від державного втручання, тобто розподілення адміністративних та господарських функцій в управлінні залізницями та розділенні операторської діяльності та управління інфраструктурою [46].

Щорічно на Білоруській залізниці проводиться відновлювальний ремонт колії в обсязі 180-190 км, середній ремонт в обсязі 350-400 км, а також заміна до 400 стрілочних переводів [47].

В колійному господарстві успішно реалізується програма імпортозаміщення. Це дозволило з 1991 року на підприємствах республіки організувати виробництво дерев'яних і залізобетонних шпал, більшості елементів скріплень, деяких механізмів з перспективою повного забезпечення потреб залізниці в цих матеріалах.

Для забезпечення якісного утримання і ремонту колії за період 2001-2016 роки Білоруської залізницею для колійного господарства придбано 76 одиниць спеціального рухомого складу. Цією сучасною технікою були дооснащені наявні

на залізниці комплекси колійних машин, що дозволило істотно вдосконалити технологію виробництва робіт, перш за все в частині підвищення якості.

У Чехії реалізується єдина за своїми масштабами програма вдосконалення залізничної інфраструктури, яка може істотно вплинути на перевезення як у внутрішніх, так і в міжнародних сполученнях. Модернізація інфраструктури, крім підвищення безпеки перевізного процесу та точності виконання розкладу руху поїздів, забезпечує зниження витрат на її поточне утримання [48].

У вантажних перевезеннях з'являється можливість підвищення допустимого осевого навантаження до 22,5 т та експлуатація такого рухомого складу. Реалізовані на залізничній мережі Чехії проекти передбачають впровадження перспективних технологій, включаючи телекомунікаційну систему на базі платформи GSM-R, систему управління рухом поїздів AVV (чеська технологія), європейську систему управління рухом ETCS з метою підвищення ефективності експлуатації мережі.

Залізниця Canadian Pacific приділяє увагу випередженій виправці та ремонту колії. Параметри, які були одержувані з використанням колієвимірювача, зіставляються з даними за минулий рік, що дозволяє оцінити ефективність проведених ремонтних робіт або інтенсивність розладів колії [49].

Досвід експлуатації залізниць Канади полягає в підтримці геометричних параметрів колії найближче до проектних, що гарантує безперебійний рух поїздів зі встановленими швидкостями. На стадії укладання колії технічні вимоги регламентуються допустимими відхиленнями від проектного положення, на стадії експлуатації – допустимими величинами зносів і розладів верхньої будови колії.

Залізниця США – провідна і найбільш ефективна у світі галузь з вантажних перевезень. Для планування колійних робіт створена модель, що включає об'єднану базу даних про стан колії та її елементів у вигляді залежностей, що визначають вихід з ладу і погіршення стану елементів колії; систему управління базою даних, включаючи систему встановлення пріоритетів та перевірки вірогідності залежностей [50].

У європейських країнах потреба у проведенні необхідних робіт визначається на основі оцінки технічного стану колії та техніко-економічних варіантних рішень щодо виконання робіт.

На сьогодні, загальний стан колійного господарства недостатньо задовольняє чинним вимогам щодо експлуатації залізниць України та відповідності до вимог ЄС у даній сфері господарювання.

Отже, в Україні колійне господарство необхідно оновлювати не тільки по фактору матеріально-технічного забезпечення, а й, в свою чергу, сприяти стрімкому зростанню в галузі перевезень та покращенню розвитку вітчизняної транспортної сфери при впровадженні норм згідно з регламентацією ЄС в цьому питанні.

1.3 Перспективи розвитку системи ведення колійного господарства

Залізничний транспорт відіграє значну роль у визначенні зовнішньоекономічних зв'язків нашої держави, адже залізниці займають суттєве місце при забезпеченні перевізного процесу як серед вантажних, так і – пасажирських перевезень.

У сучасних умовах і в перспективі залізничний транспорт збереже свою провідну роль у транспортній системі країни. На залізниці припадає майже 44% вантажообігу усіх видів транспорту загального користування [51].

Колійне господарство – одна з найважливіших складових частин системи залізничного транспорту. Швидкість руху та безперебійність руху поїздів, допустимі навантаження на вісь вагонів і локомотивів, об'єми перевезень на ділянках колії, безпека руху поїздів залежать від стану верхньої будови. Тому вдосконалення та розвиток колійного господарства є пріоритетним завданням всього залізничного транспорту.

На сьогодні реалії наступні: довготривале недофінансування колійного господарства і недостатнє постачання нових матеріалів призвело до зносу, старіння і необхідності використання застарілих елементів верхньої будови колії, до низької

оснащеності підприємств колійного господарства сучасними колійними машинами та механізмами і, як наслідок, до низької технологічності утримання колії [52]. Всі ці показники унеможлиблюють утримання залізничної колії та колійних пристроїв на необхідному рівні.

На головних коліях України експлуатуються 28% кривих ділянок колії, в яких відбувся значний знос рейок, особливо в кривих малого радіуса. Рейкові скріплення на дерев'яних і залізобетонних шпалах, що застосовуються до теперішнього часу на коліях Укрзалізниці як типові (костильні на дерев'яних і клемо-болтові на залізобетонних) не відповідають сучасним міжнародним нормативам по пружності і стійкості і не забезпечують довготривалу безпечну експлуатацію без необхідності обмеження швидкостей руху поїздів [52].

Метою проведення структурної реформи в Україні, а саме акціонерного товариства «Укрзалізняця» є організаційне та фінансове розділення оператора інфраструктури та перевізника всередині товариства. Це – найперша умова справедливого доступу до інфраструктури [53].

Також, трансформація державної залізничної компанії за видами бізнесу дозволить забезпечити прозорість фінансових потоків всередині товариства, підвищити якість управління кожним видом діяльності. Це дозволить Товариству підготуватися до появи приватних конкурентів на ринку залізничних перевезень [52].

На сьогодні в АТ «Укрзалізняця» функціонує 34 філії, з яких 6 регіональних, утворених на базі майнових комплексів залізниць, 28 функціональних, а також 2 представництва. Утворені функціональні філії, серед яких: «Пасажирська компанія», «Центр будівельно-монтажних робіт та експлуатації будівель і споруд», «Енергоремтранс», «Центр діагностики залізничної інфраструктури» [53].

АТ «Укрзалізняця» розроблено Стратегію акціонерного товариства «Українська залізниця» на 2019-2023 роки, яку 12 червня 2019 року погоджено на засіданні Кабінету Міністрів України [54], згідно якого головний принцип подальшого функціонування залізничного транспорту України – це збереження

нинішнього потенціалу національної залізничної системи, її ролі як однієї з базових галузей економіки України, зміцнення її позицій на ринку транспортних послуг .

Забезпечення безперебійного перевізного процесу на залізницях України з урахуванням тенденції збільшення обсягів перевезень, впровадження швидкісних та прискорених ліній пасажирського сполучення, потребує не простого відновлення основних засобів колійного господарства, тобто приведення їх до нормального стану, а проведення кардинального реформування і модернізації технологій та елементів верхньої та нижньої будови колії та колійних пристроїв [52] .

Реструктуризація залізничного транспорту, яка на даний час проходить в Україні, повинна створити умови для досягнення рівня європейських і світових стандартів, що дасть змогу прискоренню темпів євроінтеграції та максимальній реалізації транспортного потенціалу країни. Щоб досягти зростання попиту залізничного транспорту необхідно розв'язати два головних питання: по-перше, впровадити за європейським досвідом швидкісний та високошвидкісний рух; по-друге, збільшити провізну спроможність на вантажних напрямках [53] .

Підвищення осьового навантаження – закономірний розвиток галузі і ключовий тренд сьогодення. В Україні максимальне осьове навантаження становить 23,5 тс/вісь. Саме на таке осьове навантаження розраховані норми витрат матеріалів та робочої сили при поточному утриманні колії [53] .

В 1986 році було розроблено новий тип «Вагони вантажні магістральні на 1986-2000 рр.», який був узгоджений з Державною адміністрацією залізничного транспорту і передбачалося збільшити осьове навантаження до 25 тс/вісь. Відповідно до прийнятого типу був сконструйований ряд нових кузовів. Але за відсутності серійного виробництва нових візків, вагони випускалися і експлуатувалися на візках моделі 18-100 з осьовими навантаженнями до 23,5 тс/вісь. На початку 90-х років, в умовах спаду обсягів перевезень, робота по переходу на нові візки була припинена [55] .

Для України є перспективним експлуатація інноваційних вагонів. Тим більше, що існують дослідні вагони українського виробництва з навантаженням 25 тс/вісь, які були розроблені близько 10 – 15 років тому. В ті часи Україна була лідером з

інновацій та впровадження нових технологій в залізничній галузі серед країн з широкою колією.

Такого типу вагони широко використовуються на підприємствах металургійного комплексу. Існує потреба у рухомому складі на підприємствах магістрального залізничного транспорту. Впровадження у виробництво такого вагона буде сприяти підвищенню експлуатаційних показників залізничного рухомого складу (вантажопідйомність, вантажомісткість, міжремонтний та повний терміни експлуатації, зменшення витрат на ремонти) [64] .

Про економічну ефективність рухомого складу з високими осьовими навантаженнями при здійсненні заходів з підготовки колії до таких умов показує досвід успішної його експлуатації на залізницях ряду країн, де протягом декількох останніх десятиліть для перевезення, наприклад залізної руди, застосовують вагони з осьовим навантаженням до 30 і більше тонн. Підраховано, що продуктивність таких вагонів вище на 7 – 10% за рахунок збільшення міжремонтного пробігу та зменшення витрат на тягу з розрахунку перевезення однієї тонни вантажу [56].

На сьогодні, в Україні необхідно продовжувати впровадження таких вагонів, визначити маршрути, за якими могли б ходити подібні потяги та ремонтувати або реконструювати колії під очікуване збільшення навантаження на вісь.

Вагомим аргументом при вирішенні питання підвищення осьових навантажень є оцінка його економічної ефективності, в тому числі зниження витрат на ремонти і утримання колії [57].

Зазначені вище аспекти вимагають проведення досліджень взаємодії колії та рухомого складу в нових умовах для отримання достовірних даних впливу підвищених осьових навантажень на напружено-деформований стан елементів верхньої будови колії і їх відмови, а також розробки необхідних заходів щодо забезпечення надійності залізничної колії та безпеки руху.

Планування робіт – основна функція управління виробництвом. Від планування ремонтів колії багато залежить від його стану, економія матеріально-технічних ресурсів і подовження міжремонтних термінів. Якість планування, тому

відповідно своєчасність і обґрунтованість призначення ділянок колії для ремонту, безпосередньо впливає на безпеку руху поїздів.

Забезпечення безпечного і безперебійного руху поїздів вимагає від спеціалістів колійного господарства вдосконалення системи діагностики верхньої будови колії, обліку виявлених дефектів, прогнозування їх появи і оптимального планування колійних робіт.

В системі організації і планування поточного утримання колії і ремонтів колії можна відокремити два взаємопов'язаних комплексу задач:

- планування робіт, які включають оцінку і прогнозування стану ділянки колії і на їх основі ранжування ділянок колії;
- розподілення матеріальних, трудових та інших ресурсів, розміщення виробничих баз, об'єктів і т.п. [58].

Згідно [58] якість планування визначається наступними факторами:

- методологія (цільова задача і критерії вибору ділянки колії до визначеного виду ремонту);
- повна і достовірна інформація про фактичний стан і прогнозуванні його зміни;
- повна і достовірна інформація про об'єми і ефективність робіт з поточного утримання колії і попередніх ремонтів;
- методи і алгоритми планування.

На даний час планування робіт здійснюється згідно [59,60] в якій приведені види робіт і нормативна їх періодичність. Терміни і місця виконання в рамках нормативних об'ємів встановлюються по фактичному стану колії. Для кожного виду робіт встановлений склад показників (критеріїв) стану колії і їх граничних значень, на підставі яких призначається ремонт.

Цільова задача планування витікає з основної технічної вимоги до колії, сформованої в п. 3 [58]: всі елементи залізничної колії (земляне полотно, верхня будова колії і штучні споруди) по міцності, стійкості і технічному стану повинні забезпечувати безпечний і плавний рух поїздів з швидкостями, встановленими на

даній ділянці. А в сучасних умовах господарювання – додатково і при зниженні собівартості технічного обслуговування і ремонту [58].

На даний час основним критерієм призначення реконструкції та капітальних ремонтів колії являється пропущений тоннаж. В першу чергу оздоровлюють ділянки колії, які пропустили понаднормативний тоннаж. Серед них вибирають ті, які в сукупності по решті критеріях «гірші». При цьому передбачається, що стан ділянок колії в найближчі один-два роки залишиться без змін, тому прогноз показників, які характеризують стан елементів верхньої будови колії, не враховується.

Подовжувати міжремонтні строки можна не тільки за рахунок освоєння передових технологій, колійної техніки, нових типів скріплень і високоякісних проміжних ремонтів колії. Причиною скорочення цих термінів частіш за все являється зміна погоджених планів внаслідок незадовільної якості ремонтів, порушення схеми їх виконання і погана організація поточного утримання колії.

Суттєво збільшити міжремонтні терміни неможливо без покращення всієї системи планування, її автоматизації, починаючи з зібрання даних про фактичний стан колії і закінчуючи формуванням декількох варіантів плану з урахуванням прогнозу відмов колії і фінансових втрат через них.

Від пропущеного тоннажу, як основного показника призначення реконструкції та капітальних ремонтів колії, слідє відмовитися, так як він фактично дублює інші критерії. Встановлені нормативи тоннажу в цілому відповідають середнім значенням питомого виходу рейок, кількості непридатних шпал і скріплень, які використовуються в якості критеріїв.

Пропущений тоннаж повинен слугувати індикатором показників і в кінцевому підсумку давати загальну оцінку якості і ефективності всіх робіт при утриманні колії. Іншими словами, чим більший пропущений тоннаж на ділянці при відносно однакових експлуатаційних умовах і встановлених вимогах до безпеки руху, тим якісніше були виконані ремонти і тим краще здійснюється поточне утримання колії. Застосування «пропущеного тоннажу» в якості головного критерію веде, з одного боку, до зниження рівня безпеки руху, а з другого – до збільшення витрат на утримання колії. За попередніми даними згідно [58], не менше 30%

ділянок, призначених до реконструкції або капітальних ремонтів колії по пропущеному тоннажу, являються показниками фактичного стану елементів верхньої будови встановлених граничних значень. І навпаки, є ділянки колії, де ці показники суттєво вищі граничних значень, що призводить до численних повторних відмов колії, не зважаючи на їх періодичне усунення. «Найгірші» ділянки слідє вибирати виходячи з загального критерію підвищення безпеки руху поїздів. Кожному значенню показника, з однієї сторони повинні відповідати допустимі швидкості, а з іншої – ймовірність появи відмов елементів колії. Отримання відповідних залежностей і значень, які б гарантували необхідний рівень безпеки при виконанні необхідних об'ємів ремонту колії, являється складною задачею.

При плануванні ремонту, якщо прогнозовані показники (критерії) стану елементів колії перевищують встановлені граничні значення, на ділянці (кілометрі, пікеті) необхідно або обмежувати швидкість руху, або призначати ремонт. При цьому перш за все необхідно вибирати ділянку, де прогнозована відмова може в найбільшій мірі погіршити перевізний процес.

Таким чином, планування повинно передбачати не тільки формування плану ремонтів, але й розробку заходів по зниженню інтенсивності розладу колії, для чого може знадобитись зменшення швидкості руху на ділянках, які не ввійшли до плану. При цьому необхідно підраховувати фінансові втрати, які викликані можливими відмовами колії і обмеженнями швидкості.

Таким чином, задача, яка пов'язана з призначенням ремонту колії і встановленням допустимих швидкостей руху, повинна вирішуватись комплексно, що необхідно відзначити в єдиній нормативній документації.

Згідно [62] основним критерієм вибору ділянок для середнього ремонту являється забрудненість баласту. Показник «забрудненості баласту» давно визначається «на око» незалежно від встановленої кількості забруднювачів і має тільки дві градації – «так» і «ні». Стан баласту по такому показнику в принципі не може бути прогнозовано. В той же час згідно [61] до 70% баластних забруднень визначається технічним станом рейкової колії – утворенням просідань, перекосів,

відступів в плані. Ці дефекти являються наслідком нерівномірних осідань – одного з основних пошкоджень баласту – і прямо характеризують його технічний стан.

Головним критерієм необхідності очищення баластного шару повинна слугувати втрата ним несучої властивості, коли стає неможливим усувати розлади геометрії рейкової колії суцільною машинізованою виправкою. Несуча здатність – узагальнений показник, який характеризує забрудненість, зміну фракційного стану, здатність відводити воду і який може бути оцінений кількісно з точки зору ефективності виправних робіт. Ця ефективність оцінюється двома показниками: по-перше, ступеню покращення стану геометрії рейкової колії безпосередньо після виправки; по друге, стабільністю геометрії.

Нормативно-технічна документація, яка визначає порядок планування ремонтів колії, повинна бути окремим нормативним документом. В ньому потрібно відзначити всю технологію планування в вигляді описання окремих задач або посилань на діючі нормативні документи, враховуючи наступні обставини:

- збір і зберігання даних, які використовуються при плануванні;
- аналіз і оцінку фактичного і прогнозованого стану колії;
- склад і порядок прогнозування стану колії;
- показники (критерії) стану колії і їх граничні значення, які відповідають умовам експлуатації (вантажонапруженості, швидкостям руху і поїзного потоку);
- формування декількох альтернативних планів ремонту з представленням їх узагальнених характеристик для вибору одного з них відповідальних керівників, які приймають рішення;
- складання плану допустимих швидкостей (разом з планом ремонту колії) в зв'язку з обмеженістю ресурсів і забезпеченням потрібного рівня безпеки руху;
- формування і надання планів в зручному для користувача вигляді;
- погодження планів ремонту колії і допустимих швидкостей руху з відповідальними особами, які забезпечують перевезення.

В європейських країнах потреба у проведенні необхідних робіт визначається на основі оцінки технічного стану колії та техніко-економічних варіантних рішень щодо виконання робіт .

Для України реалізація європейського досвіду та методів планування робіт у колійному господарстві є лише прогнозуванням зміни геометричних параметрів колії на основі інформації про інтенсивність її розладів та прийняття рішення про призначення робіт на основі зіставлення значень фактичних параметрів із гранично допустимими.

1.4 Постановка проблеми. Обґрунтування мети і формулювання задач наукового дослідження

Проведений в розділі огляд питань системи ведення колійного господарства в умовах експлуатації рухомого складу з високими осьовими навантаженнями показав актуальність теми та необхідність вирішення питань, пов'язаних із запобіганням причин скорочення терміну служби залізничної колії в цілому та її окремих елементів та визначення раціональних міжремонтних термінів для ділянок з підвищеним впливом рухомого складу на колію.

Вирішення даної проблеми на належному теоретичному і практичному рівні пов'язано з перспективою впровадження підвищеного осьового навантаження вантажних вагонів на залізницях України [57].

Метою дисертаційної роботи є обґрунтування раціональних строків проведення ремонтно-колійних робіт в умовах експлуатації перспективного рухомого складу з підвищеними осьовими навантаженнями.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити ряд наступних наукових завдань:

- провести огляд науково-дослідних робіт системи ведення та методів планування ремонтно-колійних робіт;

- дослідити напружено-деформований стан колії при впливі рухомого складу з підвищеними осьовими навантаженнями;
- удосконалити методику оптимізації схеми утримання колії;
- проаналізувати результати досліджень стану верхньої будови колії на ділянках обертання рухомого складу з підвищеними осьовими навантаженнями;
- дослідити можливість використання запропонованої методики для визначення норм періодичності виконання ремонтно-колійних робіт в залежності від умов експлуатації.

РОЗДІЛ 2

ВПЛИВ ВАГОНІВ З ОСЬОВИМ НАВАНТАЖЕННЯМ 25 ТС/ВІСЬ НА СТАН ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ

2.1 Досвід експлуатації впливу рухомого складу з підвищеними осьовими навантаженнями

Зі збільшенням транзитних перевезень і з підвищенням обсягів вантажної роботи внаслідок розвитку різних галузей економіки на залізницях України спостерігається постійне зростання обсягів перевезень. Зростання потреб у перевезеннях вантажів неможливе без ефективної роботи залізничного транспорту, який забезпечує підприємства сировиною, будівельні майданчики – матеріалами, а також перевезення великої номенклатури готової продукції народного господарства [64].

В сучасних умовах підвищення потужності локомотивів і вантажопідйомності вагонів за рахунок зростання осьового навантаження є досить дієвим заходом для інтенсифікації перевізного процесу при зниженні собівартості перевезень.

На сучасному етапі оновлення та поповнення парку вантажних вагонів повинні здійснюватися на основі інноваційного підходу, тобто створення якісно нових конструкцій вагонів – вагонів нового покоління, що характеризуються вищою продуктивністю, надійністю, економічністю в експлуатації та технічному утриманні [64].

Основні складові ефективності рухомого складу нового покоління, що експлуатується :

1. Питоме зменшення ваги прокату чорних металів та литва для виробництва вагонів за рахунок [63]:

- збільшення в 1,4 раза тривалості життєвого циклу вагонів;
- зменшення коефіцієнта їх матеріалоємності з 0,336 до 0,322-0,318;

- виготовлення несучих елементів конструкції кузовів вагонів з гарячекатаних та гнутих профілів із низьколегованих сталей класу міцності 375-390 МПа, що забезпечують однакову довговічність кузова і ходових частин вагонів;

- використання роздільної гальмівної системи для кожного візка вагона, що дає змогу зменшити загальну масу системи, з одночасним підвищенням надійності роботи гальм за рахунок забезпечення рівномірнішого натиснення гальмівних колодок на колеса.

2. Зменшення питомих витрат електроенергії та палива на тягу поїздів у результаті [63]:

- зменшення коефіцієнта тертя і опору руху вагонів до 10%;
- зменшення в 2 – 3 рази кутів набігання колісних пар на рейки і зменшення інтенсивності «виляння» візків ;
- зниження маси тари вагонів .

3. Зменшення питомих витрат електроенергії, палива, інших видів технологічної енергії і трудових ресурсів на технічне утримання вагонів за рахунок [63]:

- збільшення міжремонтного пробігу в 2 рази – до 500 тис. км,
- зниження середньорічних витрат на ремонт і обслуговування вагонів в 3,5 рази;
- збільшення гарантійного терміну експлуатації буксових вузлів до 8 років, або 800 тис. км пробігу, в результаті застосування дворядних касетних конічних підшипників типу TBU150x250x160;

- наплавлення ударно-тягових поверхонь автозчепів у середовищі аргону із твердістю поверхонь після наплавлення 400-500 НВ.

4. Зменшення питомих витрат електроенергії, палива, інших видів технологічної енергії й трудових ресурсів на технічне утримання рейкової колії за рахунок [63]:

- зменшення рівня рамних сил у візках (на прямих і кривих ділянках колії $R > 800$ м – в 1,5-2 рази);

– зменшення впливу вагонів на верхню будову колії (рейки та елементи стрілочних переводів) у горизонтальній площині.

Ці переваги вагонів нового покоління забезпечили би одержання загального економічного ефекту більше 400 млн гривень [63]. Отримання цього ефекту стало можливим завдяки інноваційній творчій роботі промислових і наукових організацій країни, що дало змогу створити якісно новий рухомий склад за рахунок комплексного застосування новітніх конструктивних рішень, ефективних матеріалів з поліпшеними показниками міцності, зносостійкості й надійності, а також сучасних технологій зварювання та зміцнення [63].

Так, створення і впровадження сучасного вантажного рухомого складу нового покоління вирішує важливе народно-господарське завдання: прискорену заміну зношеного парку вантажних вагонів, істотне підвищення його продуктивності, зниження витрат на ремонт і технічне обслуговування, а також підтримку та розвиток промисловості й транспортної системи України [64].

Як відомо, підвищення осьового навантаження вантажних вагонів є одним із способів збільшення провізної здатності залізниць. Проведені дослідження [65] свідчать про те, що залізничний транспорт дещо поступається у динаміці росту автотранспорту і не повною мірою використовує свій транзитний потенціал, тому слід задіяти ці резерви наскільки це можливо.

Не тільки задовольняючи зростаючий попит на вантажні вагони, машинобудівні підприємства спільно з залізничними адміністраціями розробили ряд критеріїв, яким повинен відповідати перспективний вантажний вагон. Але і розвиток машинобудівних технологій, розробка нових матеріалів і прогресивних технічних рішень дозволили вагонобудівним підприємствам освоїти виробництво вантажних вагонів нового покоління. І якщо з кузовами особливих проблем не було, то при створенні двовісних візків, довелося розробникам відходити від стандартних технічних рішень для отримання необхідних інноваційних характеристик й створити візки нового покоління, істотно краще візки моделі 18-100, яка були засновані на технічних рішеннях 30-х років минулого століття.

Технічні характеристики візків з навантаженням 25 тс/вісь відрізняються від візка попереднього покоління [66] наявністю центрального ресорного підвішування з билинейною і кусочно-лінійною характеристикою, що дозволяє варіювати жорсткісні параметри системи гасіння коливань, а також наявність пружних ковзунів і пружних адаптерів в буксових вузлах, що істотно покращує динамічні якості вагона в цілому. При цьому зменшується необресорна маса візка і стає більш стабільною її поведінка під час руху по рейковому шляху. Наявність касетних підшипників також сприяє стабілізації руху візка і зменшує опір руху, що дозволяє знизити до 10-15% витрати на тягу поїзда. Одним з істотних переваг даних візків є збільшений міжремонтний пробіг до 800 тис км або 8 років. При цьому розвиток конструкцій візків не обмежується навантаженням 25 тс/вісь, є конструкції 27 і 30 тс/вісь для колії 1520 мм.

Досвід експлуатації візків з такими і більш високими навантаженнями є на Північноамериканських залізницях США і Канади, а також в Китаї і в Австралії [65]. Роботи зі створення візків нового покоління починалися ще в 1988 році і активно продовжилися з 2000-х років. Загалом можна стверджувати, що потенціал вітчизняних вагонобудівників достатній для створення сучасних конструкцій вантажних вагонів. Аналогічні розробки є і на підприємствах концерну «Азовмаш».

Окремо розглядалося досвід експлуатації вагонів і локомотивів з навантаженням 25 тс/вісь в Республіці Білорусь, куди була направлена делегація Укрзалізниці за участю представників всіх основних департаментів. Будь-яких обмежень або особливих умов експлуатації рухомого складу з навантаженням 25 тс/вісь не було виявлено. Навпаки, планується збільшити міжремонтні терміни по ремонту та утриманню колії [65].

Досвід експлуатації рухомого складу з навантаженням 25 тс/вісь є і в Україні. І це не тільки досвід експлуатації за радянських часів звичайних вантажних вагонів з перевантаженням до 25 тс/вісь. Треба відмітити експлуатацію електровозів ВЛ82, які більше 30 років використовуються при перевезенні вантажних поїздів, а також постановку на виробництво 3-х типів візків, випробування і підконтрольну експлуатацію 6 напіввагонів. При цьому Азовмаш провів випробування не тільки в

Україні, але і в 2013 році на швидкісному полігоні ВНІЗТу на Північно-Кавказькій залізниці (Росія), з розробкою умов звернення на всіх типах верхньої будови колії.

До основних переваг вантажних вагонів з навантаженням 25 тс/вісь можна віднести наступні:

- збільшення обсягів вантажних перевезень;
- зменшення динамічної дії на інфраструктуру;
- зменшення витрат на тягу поїздів;
- зниження навантаження на інфраструктуру;
- підвищення надійності елементів рухомого складу;
- збільшення гарантованих ділянок звернення;
- збільшення міжремонтних термінів для рухомого складу;
- зниження собівартості вантажних перевезень;
- підвищення економічної ефективності діяльності залізничного транспорту.

Таким чином, досвід залізничних адміністрацій країн співдружності незалежних держав свідчить про достатність проведених приймальних та експлуатаційних випробувань вантажних вагонів з навантаженням 25 тс/вісь для експлуатації даного рухомого складу на інфраструктурі залізниць колії 1520 мм.

Коригування норм утримання колії при введенні в експлуатацію рухомого складу з навантаженням 25 тс/вісь не проводилося завдяки його поліпшеним динамічним характеристикам по впливу на колію.

Впровадження в експлуатацію інноваційного рухомого складу нового покоління повинно істотно поліпшити техніко-економічні показники діяльності залізничного транспорту і дозволити власникам вагонів зменшити експлуатаційні витрати, і тим самим підвищити економічну ефективність від їх використання [65].

2.2 Експериментальні дослідження впливу рухомого складу з підвищеними осьовим навантаженням на залізничну колію

Впровадження на залізницях України рухомого складу з підвищеним навантаженням на вісь, а також великовагових поїздів дозволяє збільшити провізну спроможність залізниць та забезпечити конкурентоздатність при перевезенні транзитних вантажів, але це потребує додаткових витрат на матеріали верхньої будови колії. Існуючі норми розроблені для рухомого складу з осьовим навантаженням не більше 23,5 тс/вісь, тоді як на сьогодні впроваджується рухомий склад з навантаженням 25 тс/вісь.

Таким чином, необхідно визначити допустимі значення динамічної дії рухомого складу на залізничну колію при підвищенні осьового навантаження та інтенсивність розладу колії для подальшого обґрунтування нормативів витрат матеріалів верхньої будови колії та робочої сили при виконанні ремітно-колійних робіт.

Метою досліджень є визначення експериментально-розрахунковим шляхом значень параметрів, що характеризують динамічну дію рухомого складу на залізничну колію, обґрунтування максимально допустимих (граничних) величин динамічного впливу рухомого складу на колію, а також надання рекомендацій щодо нормативів витрат матеріалів верхньої будови колії та робочої сили у зв'язку з підвищенням осьового навантаження до 25 тс/вісь та використання великовагових поїздів [67,68].

2.1.1 Дослідна ділянка

Експериментальні дослідження проводились на парній колій перегону ст. Пришиб – ст. Бурчацьк. (км 1174, ПК 3). Ділянка розташована в прямій. На ділянці укладено залізобетонні шпали зі скріпленням КБ [2].

У відповідності до Програми та методики досліджень [додаток А] в межах дослідної ділянки було створено штучний перекис 3 ступеню. Перекос було створено шляхом укладання додаткових прокладок між рейкою та підкладкою.

Для досліджень взаємодії колії та рухомого складу на дослідній ділянці були встановлені прилади, які фіксують різні фізичні процеси. Прилади встановлені у 8 перетинах по зовнішній рейковій нитці. Схема дослідної ділянки з встановленими приладами приведена на рисунку 2.1. Фото дослідної ділянки наведено на рисунку 2.3 [2].

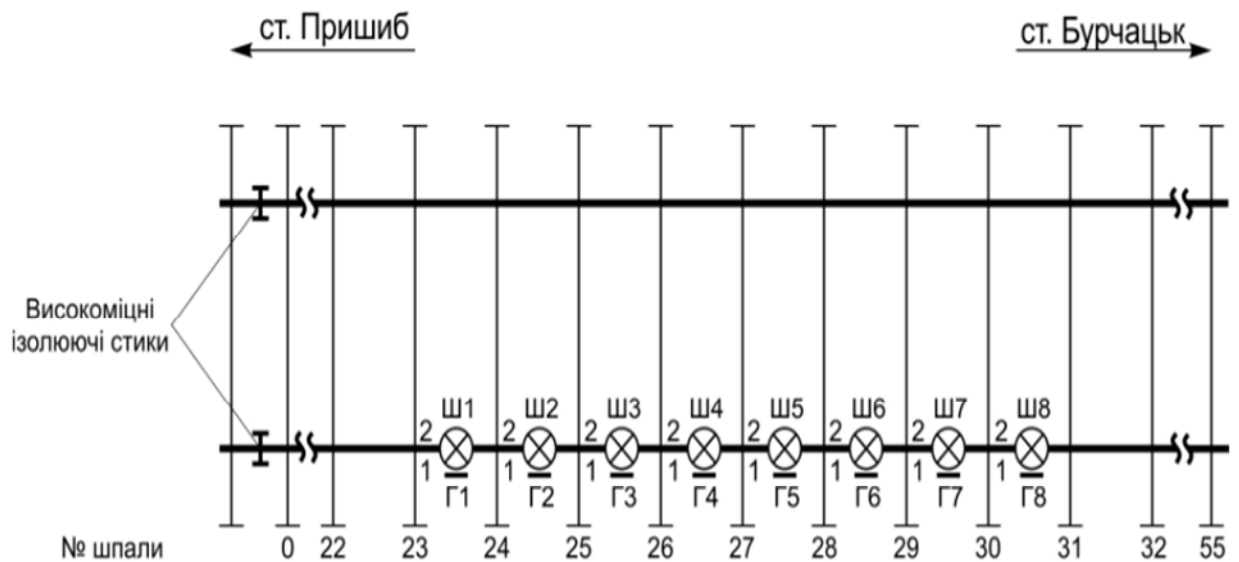
Для встановлення фактичного стану колії були проведені натурні вимірювання відповідно до Програми та методики. Розмітка точок для вимірювання стану колії проводилась через 1 м, починаючи від високооміцного ізолюючого стика за напрямком руху парних поїздів. Результати вимірювань наведені в таблиці 2.1.

На рис.2.2 наведено графіки основні характеристики стану колії на дослідній ділянці.

Таблиця 2.1 – Стан колії в межах дослідної ділянки

№ п/п (крок - 1 м)	До обкатки		Після обкатки (перед випробуваннями)	
	Ш, мм	Р, мм	Ш, мм	Р, мм
1	2	3	4	5
0	1520	1	1521	0
1	1519	-2	1520	-2
2	1518	-6	1519	-4
3	1519	-10	1520	-6
4	1520	-12	1520	-12
5	1522	-12	1521	-14
6	1523	-7	1522	-8
7	1523	-4	1521	-4
8	1522	-2	1521	-4
9	1521	2	1521	-2
10	1520	3	1520	-2
11	1520	3	1520	2
12	1520	4	1520	3
13	1519	3	1520	2
14	1518	5	1520	4
15	1518	6	1520	8
16	1518	7	1520	4

1	2	3	4	5
17	1520	6	1520	4
18	1521	4	1520	2
19	1521	3	1521	0
20	1521	2	1521	0
21	1521	4	1521	4
22	1520	4	1521	0
23	1520	5	1521	4
24	1521	8	1521	6
25	1520	8	1521	4
26	1518	6	1520	4
27	1520	8	1520	4
28	1520	6	1520	2
29	1519	5	1520	2
30	1519	4	1520	2



Умовні позначення

-  - прилади для вимірювання вертикальних сил;
-  - прилади для вимірювання напружень в кромках головки рейки;
-  - прилади для вимірювання напружень в кромках підшви рейки

Рисунок 2.1 – Схема дослідної ділянки з встановленими приладами

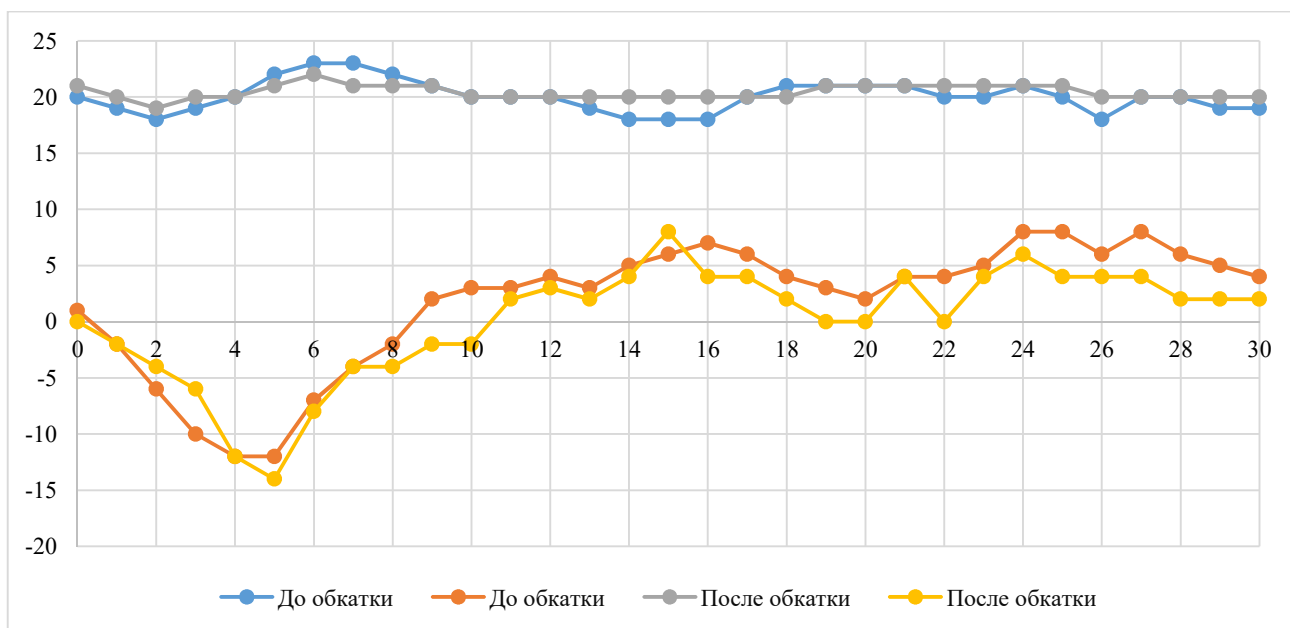


Рисунок 2.2 – Основні характеристики стану колії на дослідній ділянці
(прилади-датчики встановлені між точками 12-17)





Рисунок 2.3 – Фото дослідної ділянки

Аналіз таблиці 2.1 та графіка, наведеного на рисунку 2.2, показав, що на ділянці після обкатки був перекіс колії, що на 2 мм перевищував норми 3 ступеня [69].

2.2.2 Дослідний поїзд

Для виконання експериментальних досліджень впливу рухомого складу на колію в межах дослідної ділянки, використовувався поїзд №1762, що рухався за графіком та складався з локомотива ВЛ-11, п'яти вагонів з осьовим навантаженням до 25 т/вісь та 51 вагону з осьовим навантаженням до 23,5 т/вісь [2].

Схема дослідного поїзда приведена на рис. 2.4. Поїзд рухався зі швидкістю біля 75 км/год [2].

Фактичне навантаження вагонів визначалось за маршрутним листом. Тара вагонів та маса вантажу наведені в таблиці 2.2. Дослідний поїзд рухався зі сторони ст. Пришиб в напрямку ст. Бурчацьк.

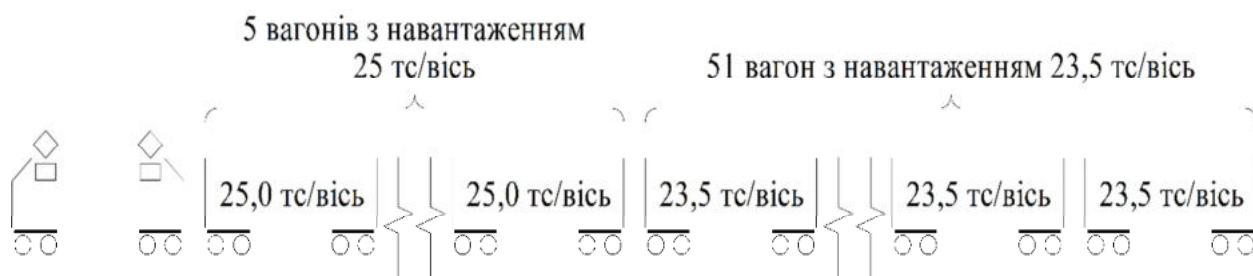


Рисунок 2.2 – Схема дослідного поїзда

Таблиця 2.2 – Завантаженість вагонів поїзда

№ п/п	№ вагона	Тара, т	Вантаж, т	Разом, т	Осьове, тс/вісь
1	2	3	4	5	6
0	ВЛ-11	184	0	184	23,000
1	62139845	23,5	76	99,5	24,875
2	62139878	23,5	76	99,5	24,875
3	62139852	23,5	75	98,5	24,625
4	63584981	23,5	76	99,5	24,875
5	62139860	23,5	76	99,5	24,875
середнє 25 тс/вісь		23,5	75,8	99,3	24,825
6	55081020	23,5	70	93,5	23,375
7	62783170	23,5	70	93,5	23,375
8	56732332	23,6	71	94,6	23,65
9	65576373	23,5	70	93,5	23,375
10	52183282	23,5	70	93,5	23,375
11	55210926	23,5	70	93,5	23,375
12	53007878	23,6	71	94,6	23,65
13	55531487	23,6	70	93,6	23,4
14	62073077	23,6	70	93,6	23,4
15	55267934	23,6	70	93,6	23,4
16	56653389	23,6	69	92,6	23,15
17	59787184	23,5	70	93,5	23,375
18	52283546	23,5	71	94,5	23,625
19	52244332	23,5	70	93,5	23,375
20	55732184	23,5	70	93,5	23,375
21	62782917	23,5	70	93,5	23,375
22	54008180	23,5	70	93,5	23,375
23	62783022	23,5	70	93,5	23,375
24	62783063	23,5	70	93,5	23,375

1	2	3	4	5	6
25	56264443	23,5	71	94,5	23,625
26	53148474	23,5	70	93,5	23,375
27	60736675	23,5	70	93,5	23,375
28	56936529	23,5	70	93,5	23,375
29	62073556	23,5	70	93,5	23,375
30	55483846	23,5	71	94,5	23,625
31	60808706	23,5	70	93,5	23,375
32	62649314	23,5	70	93,5	23,375
33	55440044	23,5	71	94,5	23,625
34	55531537	23,5	70	93,5	23,375
35	62783436	23,5	70	93,5	23,375
36	56462955	23,5	69	92,5	23,125
37	55371645	23,5	69	92,5	23,125
38	56843808	23,5	70	93,5	23,375
39	62479860	23,5	70	93,5	23,375
40	56592603	23,5	71	94,5	23,625
41	55459895	23,5	71	94,5	23,625
42	57656985	23,5	70	93,5	23,375
43	63679112	23,5	70	93,5	23,375
44	56367360	23,5	70	93,5	23,375
45	56846421	23,5	70	93,5	23,375
46	56479066	23,5	71	94,5	23,625
47	61236154	23,5	70	93,5	23,375
48	62309620	23,5	70	93,5	23,375
49	58140310	23,5	70	93,5	23,375
50	56002819	23,5	69	92,5	23,125
51	56850043	23,5	70	93,5	23,375
52	53587937	23,5	70	93,5	23,375
53	53586806	23,5	70	93,5	23,375
54	62932181	23,5	70	93,5	23,375
55	56421084	23,5	69	92,5	23,125
56	61102281	23,5	70	93,5	23,375
Середнє 23,5		23,51	70,08	93,59	23,398

2.2.3 Вимірювання впливу вагонів на колію

Вимірювання здійснювалось за допомогою інформаційно-виміральної апаратури «ПОНИЛ-Ц».

Для тарування датчиків по дослідній ділянці пропускалися локомотиви (2ТЭ116 та ЧС7) з невеликою швидкістю. На рисунку 2.5 наведено приклад запису датчиків від локомотива 2ТЭ-116.

Приклад запису датчиків під дослідним поїздом наведено на рисунку 2.6 та 2.7.



Рисунок 2.3 – Зразок записів датчиків під локомотивом 2ТЭ116



Рисунок 2.6 – Зразок записів датчиків під дослідним поїздом

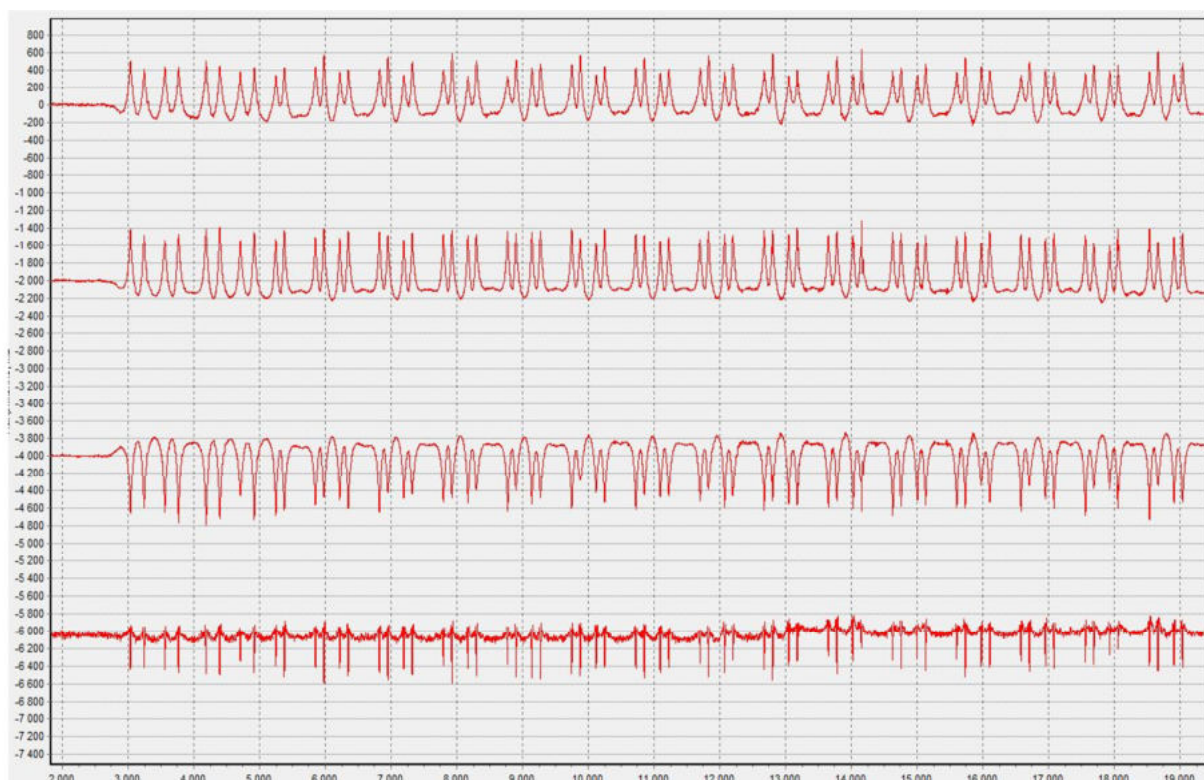


Рисунок 2.7 – Зразок записів датчиків під дослідним поїздом

(локомотив та перші 14 вагонів) в першому перерізі (зверху до низу 2 кромкові у підшві, 1 у головці та шийні)

2.2.4 Напруження в кромках підшви рейок

Напруження в кромках підшви рейок є одним з основних показників оцінки впливу на колію рухомого складу, як головний критерій міцності колії, а отже і безпеки руху по колії з різною конструкцією верхньої будови. Нормована величина цих напружень (240 МПа) визначає допустимі швидкості руху.

Перерізи, в яких вимірювались напруження в кромках підшви рейок, показані на схемі встановлення вимірювальних приладів (див. рис.2.1). Вимірювання проводились за допомогою тензорезисторів, які були наклеєні на підшву рейки поблизу зовнішньої і внутрішньої кромки рейок.

В результаті статистичної обробки експериментальних даних були отримані середні ($\bar{\sigma}$), максимальні ймовірні ($\sigma_{\max}^{\text{ймов}}$) і максимальні спостережені в досліді ($\sigma_{\max}^{\text{спос}}$) значення напружень в кромках підшви рейки. Результати наведені в таблиці 2.3.

Аналіз даних таблиці 2.3 показав, що найбільші середні значення напружень виникають під вагонами з навантаженнями до 25 тс/вісь, а максимальні під вагонами з осьовим навантаженням до 23,5 тс/всь. У всіх випадках напруження в кромках підшви рейок не перевищували допустимі 240 МПа.

Таблиця 2.3 – Середні ($\bar{\sigma}$), максимальні ймовірні ($\sigma_{\max}^{\text{ймов}}$) і максимальні спостережені ($\sigma_{\max}^{\text{спос}}$) значення напружень в кромках підшви рейки, МПа

Рухомий склад	$\bar{\sigma}$	$\sigma_{\max}^{\text{ймов}}$	$\sigma_{\max}^{\text{спос}}$
Локомотив (ВЛ11)	48,75	73,14	95,19
Піввагони (до 25 тс)	57,74	90,78	97,02
Піввагони (до 23,5 тс)	53,68	88,50	118,65

2.2.5 Вертикальні сили, що передаються від коліс на рейки

Вимірювання вертикальних сил, що передаються від коліс рухомого складу на рейки, проводилось в перерізах, які показано на рис.2.1.

Тарування приладів проводилось на основі стандартної методики: визначалось співвідношення середнього значення ординат запису навантажень від усіх коліс екіпажів при швидкості 5 км/год до середнього значення статичного навантаження на колесо.

В результаті проведеної статистичної обробки експериментальних даних отримані середні ($\bar{P}$), максимально ймовірні ($P_{\max}^{\text{ймов}}$) та максимально спостережені ($P_{\max}^{\text{спос}}$) значення вертикальних сил, що передаються на рейки від коліс екіпажів при русі з різними швидкостями. Результати наведені в таблиці 2. 2.3.

Аналіз даних таблиці 2.4 показав, що, як і кромкові напруження, найбільші середні значення вертикальних сил виникають під вагонами з навантаженнями до 25 тс/вісь, а максимальні – під вагонами з осьовим навантаженням до 23,5 тс/всь. У всіх випадках динамічні вертикальні сили не перевищували допустимі 210 кН [70].

Таблиця 2.3 – Середні ($\bar{P}$), максимальні ймовірні ($P_{\max}^{\text{ймов}}$) і максимальні спостережені ($P_{\max}^{\text{спос}}$) значення вертикальних сил, кН

Рухомий склад	$\bar{P}$	$P_{\max}^{\text{ймов}}$	$P_{\max}^{\text{спос}}$
Локомотив (ВЛ11)	121,95	151,91	143,58
Піввагони (до 25 тс)	121,17	158,94	171,57
Піввагони (до 23,5 тс)	112,15	147,61	176,69

2.2.6 Горизонтальні сили, що передаються від коліс на рейки

Для визначення величин горизонтальних поперечних (бокових) сил використовується триточковий метод, який був розроблений О. П. Єршковим [71]. За цим методом значення бокових сил визначаються на основі експериментально отриманих величин напружень в кромках підошви і в зовнішній грані головки рейки:

$$H = B \cdot \sigma_H^{\text{п}}, \quad (3.1)$$

де H – бокові сили, які діють на колію, в [71] вони наведені в кГс;
 B – коефіцієнт для визначення бокових сил, в [71] він представлений в см^2 ;
 σ_H^n – напруження, що виникають в зовнішній кромці підошви рейок від дії бокових сил, в [71] вони наведені в кГс/см^2 .

Коефіцієнт B визначається за формулою:

$$B = 4 \cdot W_z^n \cdot k_y^T, \quad (3.2)$$

де W_z^n – момент опору поперечного перерізу рейки відносно осі z , см^3 ;
 k_y^T – коефіцієнт відносної жорсткості рейки і підрейкові основи з урахуванням тертя в горизонтальній площині, см^{-1} .

$$W_z^n = \frac{2 \cdot I_z}{b_n}, \quad (2.3)$$

де I_z – момент інерції поперечного перерізу рейки відносно осі z , см^4 ;
 b_n – ширина підошви рейки, см .

Для рейок типу Р65 ($I_z = 569 \text{ см}^4$; $b_n = 15 \text{ см}$) $W_z^n = 75,87 \text{ см}^3$.

Коефіцієнт відносної жорсткості рейки і підрейкові основи визначається за формулою [72]:

$$k_y^T = \sqrt[4]{\frac{U_y^T}{4 \cdot E \cdot I_z}}, \quad (3.4)$$

де U_y^T – модуль пружності колії в горизонтальній площині з урахуванням тертя;
 E – модуль пружності рейкової сталі, $E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ МПа}$.

Модуль пружності U_y^T дорівнює [71]:

$$U_y^T = \frac{1}{\sqrt[3]{64 \cdot E \cdot I_z}} \left(\lambda \cdot \beta_y^n \right)^{\frac{4}{3}}, \quad (3.5)$$

де β_y^n – згинальна жорсткість рейки по підошві в горизонтальній площині, яка отримана з урахуванням тертя;

λ – коефіцієнт, що враховує кручення рейки, для рейок Р65 ($\lambda = 1$).

Підставивши значення модуля пружності U_y^T в формулу (3.4) отримаємо:

$$k_y^T = \sqrt[4]{\frac{(\lambda \cdot \beta_y^{\text{II}})^{\frac{4}{3}}}{(64 \cdot E \cdot I_z)^{\frac{1}{3}} \cdot 4 \cdot E \cdot I_z}} = 2 \sqrt[4]{\frac{(\lambda \cdot \beta_y^{\text{II}})^{\frac{4}{3}}}{(64 \cdot E \cdot I_z)^{\frac{4}{3}}}} = \sqrt[3]{\frac{\lambda \cdot \beta_y^{\text{II}}}{8 \cdot E \cdot I_z}}. \quad (3.6)$$

Підставивши отримані значення в формулу (3.2), отримаємо:

$$B = 4 \cdot W_z^{\text{II}} \cdot \sqrt[3]{\frac{\beta_y^{\text{II}}}{8 \cdot E \cdot I_z}} = 4 \cdot 75,87 \cdot \sqrt[3]{\frac{\beta_y^{\text{II}}}{8 \cdot 2,1 \cdot 10^6 \cdot 569}} = 0,143 \cdot \sqrt[3]{\beta_y^{\text{II}}}. \quad (3.7)$$

Згинальну жорсткість рейки по підшві в горизонтальній площині можна виразити через згинальну жорсткість по голівці наступним чином:

$$\beta_y^{\text{II}} = \varepsilon \cdot \beta_y^{\text{I}}, \quad (3.8)$$

де ε – коефіцієнт, що дорівнює відношенню експериментальних значень середніх віджимань по підшві до середніх віджимань головки в горизонтальній площині, взятому в одному перерізі колії при мінімальній швидкості ($V = 5$ км / год):

$$\varepsilon = \frac{y_{cp}^{\text{II}}}{y_{cp}^{\text{I}}}, \quad (2.9)$$

де $y_{cp}^{\text{II}}, y_{cp}^{\text{I}}$ – середні віджимання підшви і головки рейки в одному перерізі.

Тоді $\beta_y^{\text{II}} = 0,217 \beta_y^{\text{I}}$.

Підставивши це значення в формулу (3.7), отримаємо кінцеву формулу:

$$B = 0,086 \cdot \sqrt[3]{\beta_y^{\text{I}}}. \quad (2.10)$$

Оскільки в формулу (3.1) всі значення ми підставляємо в одиницях виміру системи СІ, то необхідно це врахувати в розрахунках за допомогою наступних коефіцієнтів:

а) напруження в рейках вимірюються не в кГс/см², а в МПа, при цьому 1 МПа = 10 кГс/см², тому вводимо перевідний коефіцієнт 10;

б) бічні сили в системі СІ вимірюються в кН, а не в кГс, при цьому 1 кН = 100 кГс, тому вводимо в праву частину формули перевідний коефіцієнт 0,01;

в) коефіцієнт B вимірюється в кН/МПа, замість см². При цьому експериментально виміряна жорсткість в формулу (2.10) підставляється в кН/мм, замість кГс/см, це враховується за допомогою коефіцієнта 103, тому що 1 кН/мм = 103 кГс/см.

Оскільки (2.10) входить співмножником в формулу (3.1), то всі коефіцієнти можемо підставити в (2.10). Тоді формула (2.10) набуде вигляду:

$$B = 0,086 \cdot 10 \cdot 0,01 \cdot \sqrt[3]{\beta_y^r \cdot 10^3} = 0,086 \cdot \sqrt[3]{\beta_y^r}. \quad (2.11)$$

Напруження, що виникають в кромці підшви рейок від дії бокових сил, визначається [71]:

$$\sigma_H^{\pi} = \frac{h_2}{h_1 + h_2} \cdot \frac{b_{\pi}}{b_r} \cdot \frac{z_1}{z_2} \cdot \sigma_P^{\pi} + \frac{h_1}{h_1 + h_2} \cdot \sigma_H^{\text{усл}} + \frac{h_2}{h_1 + h_2} \cdot \frac{b_{\pi}}{b_r} \cdot \sigma_{\text{зов}}^r, \quad (3.12)$$

де σ_P^{π} – напруження, що виникають в кромці підшви рейки від дії вертикальних сил;

$\sigma_H^{\text{усл}}$ – різниця напружень, що виникають у внутрішній і зовнішній кромках підшви рейки від дії бокових сил;

$$\sigma_P^{\pi} = \frac{\sigma_{\text{зов}}^{\pi} + \sigma_{\text{вн}}^{\pi}}{2}; \quad (3.13)$$

$$\sigma_H^{\text{усл}} = \frac{\sigma_{\text{зов}}^{\pi} - \sigma_{\text{вн}}^{\pi}}{2}, \quad (3.14)$$

де $\sigma_{\text{вн}}^{\pi}$, $\sigma_{\text{зов}}^r$ – експериментальні напруження в зовнішній і внутрішній кромці підшви і зовнішньої грані головки рейок, МПа;

$h_1, h_2, z_1, z_2, b_{\pi}, b_r$ – геометричні характеристики рейки, які вказані на рис.2.8.

Зазначені вище формули отримані з умови рівноваги всіх сил, прикладених до рейки.

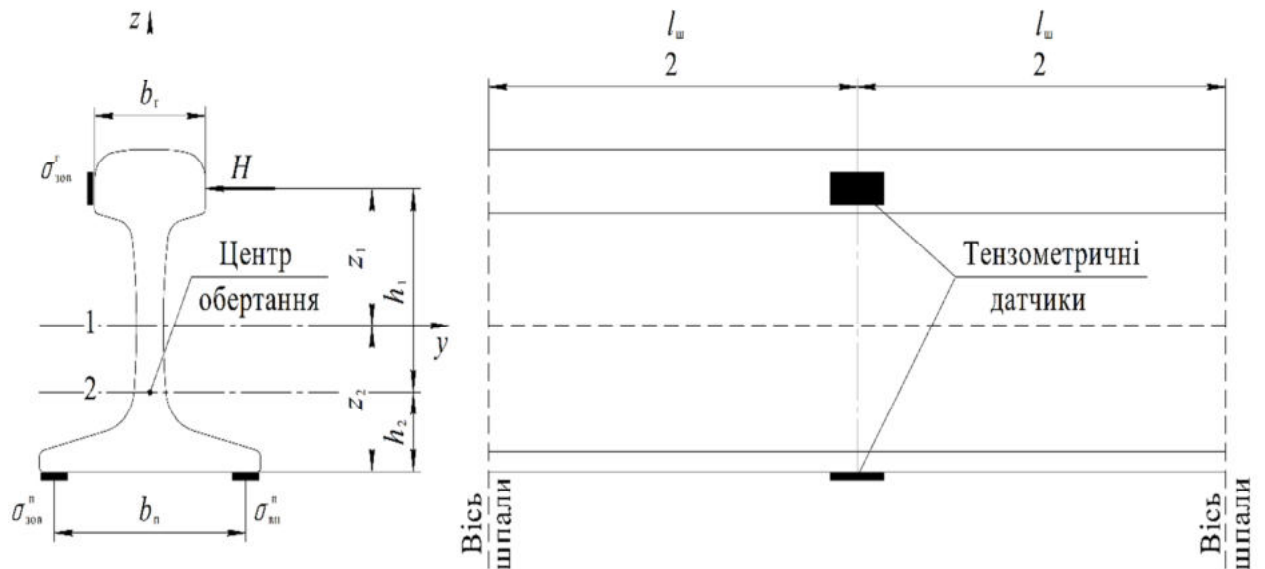


Рисунок 2.4 – Схема вимірювання напружень в кромках підшви і зовнішній кромці головки рейки

1 – нейтральна вісь; 2 – горизонтальна вісь, що проходить через центр обертання

Для зручності розрахунків вираз (3.12) приведені до вигляду [62]:

$$\sigma_H^n = A_1 \cdot \sigma_{зоб}^n + A_2 \cdot \sigma_{зоб}^r + A_3 \cdot \sigma_{зоб}^r, \quad (3.15)$$

$$A_1 = \frac{h_2}{h_1 + h_2} \cdot \frac{b_n}{b_r} \cdot \frac{z_1}{2 \cdot z_2} + \frac{h_1}{2 \cdot (h_1 + h_2)}; \quad (2.16)$$

$$A_2 = \frac{h_2}{h_1 + h_2} \cdot \frac{b_n}{b_r} \cdot \frac{z_1}{2 \cdot z_2} - \frac{h_1}{2 \cdot (h_1 + h_2)}; \quad (2.17)$$

$$A_3 = \frac{h_2}{h_1 + h_2} \cdot \frac{b_n}{b_r}. \quad (3.18)$$

Перерізи, в яких вимірювались бокові сили, показані на рис. 2.1.

В результаті проведеної статистичної обробки експериментальних даних отримані середні ($\bar{H}$), максимально ймовірні ($H_{\max}^{\text{ймов}}$) та максимально спостережені ($H_{\max}^{\text{спос}}$) значення горизонтальних поперечних (бокових) сил, що передаються на рейки від коліс екіпажів при русі з різними швидкостями. Результати наведені в таблиці 2.5.

Аналіз даних таблиці 2.5 показав, що, як кромкові напруження, найбільші середні значення горизонтальних сил виникають під вагонами з навантаженнями до 25 тс/вісь, а максимальні – під вагонами з осьовим навантаженням до 23,5 тс/вісь. У всіх випадках бокові сили не перевищували допустимі 120 кН [70].

Таблиця 2.4 – Середні ($\bar{H}$), максимальні ймовірні ($H_{\max}^{\text{ймов}}$) і максимальні спостережені ($H_{\max}^{\text{спос}}$) значення бокових сил від осей, які набігають на рейки, кН

Рухомий склад	$\bar{H}$	$H_{\max}^{\text{ймов}}$	$H_{\max}^{\text{спос}}$
Локомотив (ВЛ11)	34,28	53,90	61,58
Піввагони (до 25 тс)	29,92	46,83	46,99
Піввагони (до 23,5 тс)	28,60	46,12	51,70

Отже, сучасна конструкція верхньої будови колії з рейками типу Р65 і важче, епюр шпал 1840 шт. / км і більш, при товщині щебеневого баласту не менше 50 см має достатню міцність для нормальної експлуатації вантажного рухомого складу з підвищеними осьовими навантаженнями. Величина підвищення осьового навантаження повинна встановлюватися з урахуванням експлуатаційних умов на основі техніко-економічного аналізу.

Дослідження і досвід експлуатації встановили, що підвищення осьових навантажень призводить до збільшення трудових, матеріальних і фінансових витрат на ремонти та поточне утримання колії.

2.3 Статистичні дослідження

Метою статистичних досліджень є аналіз змін в стані геометричних параметрів залізничної колії в залежності від пропущеного тоннажу при динамічній взаємодії з рухомим складом, навантаження на вісь якого становить 25 тс/вісь.

Статистичний аналіз здійснюється за показниками цифрових вимірювань стану колії вагонами-колієвимірювачами типу КВЛ-П.

За результатами статистичних вимірювань планується оцінювати вплив вагонів з осьовим навантаженням 25 тс/вісь на стан геометричних показників залізничної колії та його прогностні показники [2].

2.3.1 Дослідні ділянки

Статистичні дослідження проводились на одноколінійній ділянці ст. Українська – ст. Каховське Море (Структурний підрозділ «Мелітопольська дистанція колії» регіональної філії «Придніпровська залізниця»). На ділянці знаходиться станція Дніпрорудне [2].

Враховуючи, що зі сторони ст. Каховське Море до ст. Дніпрорудне всі вагони йдуть з навантаженням до 23,5 тс/вісь, а зі ст. Дніпрорудне в напрямку ст. Українка дослідні вагони з навантаженням до 25 тс/вісь, було розглянуто окремо 2 дослідні ділянки [2]:

1. з 30 по 22 км перегону ст. Каховське Море – ст. Дніпрорудне рухомий склад з осьовим навантаженням до 23,5 тс/вісь.
2. з 20 по 3 км перегону ст. Дніпрорудне – ст. Українська.

2.3.2. Розрахунок середньоквадратичних відхилень геометричних параметрів колії

Оснащення колієвимірювальних засобів і підприємств колійного господарства сучасної обчислювальної техніки дозволяє значно удосконалити методи оцінки геометрії рейкової колії і розширити круг практичних завдань, що вирішуються за допомогою цих методів.

Програма розрахунку середньоквадратичного відхилення (СКВ) геометричних параметрів колії розроблена на кафедрі «Колії і колійне господарство» ДНУЗТ в MS Excel. Ця програма дозволяє оцінити СКВ геометричних параметрів колії в межах дослідних ділянок. Перетворюючи записи колієвимірювальних вагонів була

отримана в табличному вигляді інформація щодо шістьох геометричних показників стану колії (просадка лівої і правої нитки, положення в плані лівої і правої нитки, шаблон, рівень). Інформація по кожному показнику розглядалась з кроком, що складає приблизно 1,84 м. Стан колії за показниками колієвимірювальних вагонів аналізувався за квітень – жовтень 2018 року. Приклад стану (квітень 2018 року на 1 ділянці) наведено на рис.2.9.

Враховуючи недостатню точність прив'язки початку вимірів до кілометражу, спочатку всі записи (за кожний місяць) були відкориговані таким чином, щоб співпадала початкова база.

Також враховуючи, що під час вимірів може відбуватися прослизання мірного колеса, заданий крок (1,84 м) може відрізняється від фактичного в різних заїздах. Цей крок в даних за кожний місяць спостережень також корегувався.

За запропонованою методикою були оброблені усі записи вагону – колієвимірювача за квітень – листопад 2018 року. Інформація за кожний місяць зберігалась в окремому листі MS EXEL з назвою листа, що відповідає місяцю і року.

Для кожного значення показника було розраховане його відхилення від рухомого середнього значення (рис. 2.10).

Рухоме середнє значення лінії знаходилось шляхом апроксимації фактичних значень, розташованих на відстані 20 метрів до і після від цього значення. Апроксимація здійснювалася за поліномом другого порядку.

Після визначення квадратів відхилень були визначені середньоквадратичні відхилення для кожного кілометра ділянки (див. рис. 2.11)

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data:

	A	B	C	D	E	F	G	N
1		Шаг	дискретизации		1,83783	м		
2		Длина	участка		9765,14	м		
3		2	1317	1297,1				
4		Значення параметрів						
5	Километри	Ур	Рихт пр	Рихт лев	Шабл	Пр П	Пр Л	
19	30	2,8	1,1	1	1516,1	-5,3	-3	
20	29,998162	7	0,4	1	1515,1	-2,2	-3,4	
21	29,996324	6,3	-0,4	0,1	1516,1	-0,5	-2,8	
22	29,994487	3,1	-0,4	-0,5	1515,8	-0,3	-0,2	
23	29,992649	1,7	-0,9	-1,2	1515,5	-0,2	0,8	
24	29,990811	5	-1,2	-0,7	1515,5	0	-2,4	
25	29,988973	0,5	-1,4	-0,6				
26	29,987135	1	-1,8	-1,5				
27	29,985297	3,3	-2,2	-1,6	1515,5	-0,4	0	
28	29,98346	3,8	-1,9	-0,7	1515,5	1,2	1	
29	29,981622	2,7	-1,4	-0,3	1515,5	1,4	1,4	
30	29,979784	1,8	-0,2	-1,1	1515,5	-0,9	-1,1	
31	29,977946	1,4	-1,3	-1,1	1514,5	-3,3	-2,5	
32	29,976108	2,3	-1,4		1514,4	-1,6	-1,1	
33	29,97427	3	-2		1515	0,3	0,4	
34	29,972433	2,9	-0,8	-0,6	1516,1	-0,2	0	
35	29,970595	2,8		0,1	1517,3	-0,7	0	
36	29,968757	3,8		0,7	1517,5	1,3	1,4	
37	29,966919	3,7	0,6	0,3	1517,8	-1,3	-1,4	
38	29,965081	2,8	-0,7	-0,6	1518	-1,8	-1,1	
39	29,963243	4	-1,3	-1,3	1516,8	-0,3	0,1	
40	29,961406	3	-1,6	-0,9	1516,8	-0,6	-0,2	
41	29,959568	4,8	-1,1	-0,4	1517,1	0,5	0	
42	29,95773	3	-1	-0,4	1517,2	-0,3	-0,2	
43	29,955892	3,2	-0,6	0	1516,9	-0,8	0	

A callout box labeled "Дата аналізу стану" points to the date "2018_04" in the bottom status bar.

Рисунок 2.9 – Розшифрування електронного файлу за квітень 2018 р.
(2018_04)

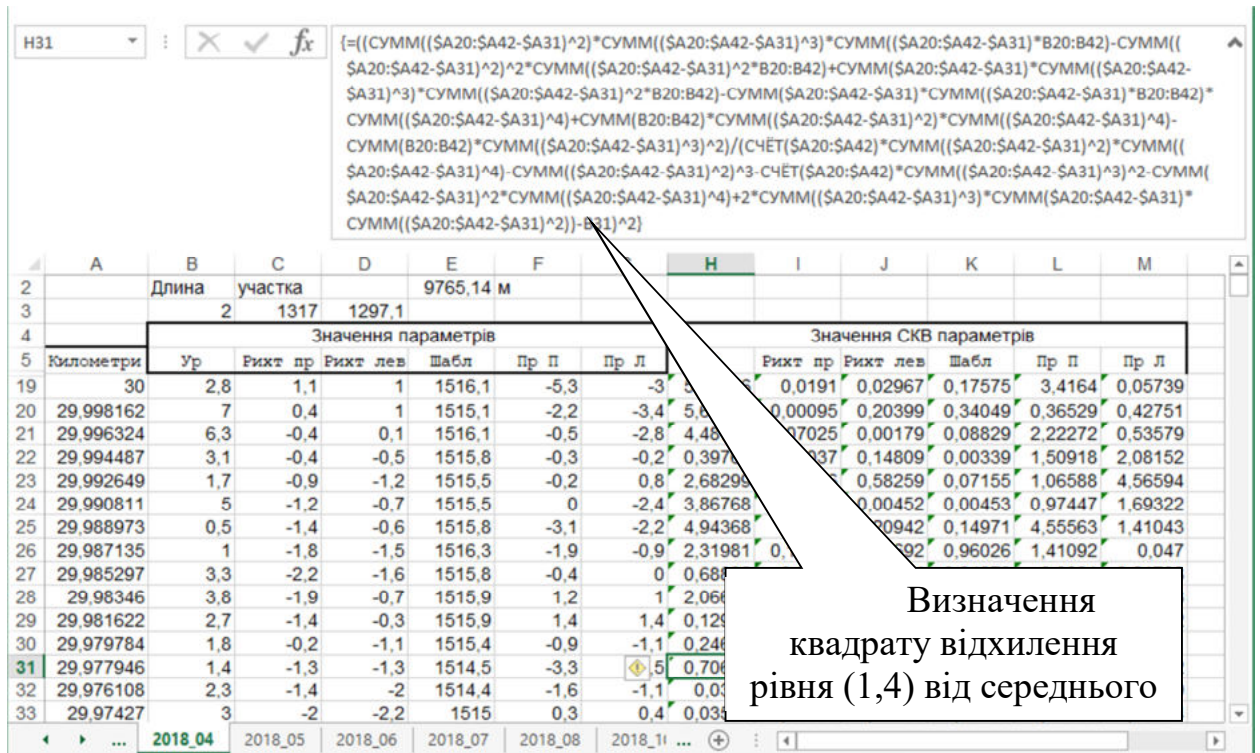


Рисунок 2.10 – Схема визначення середньоквадратичного відхилення

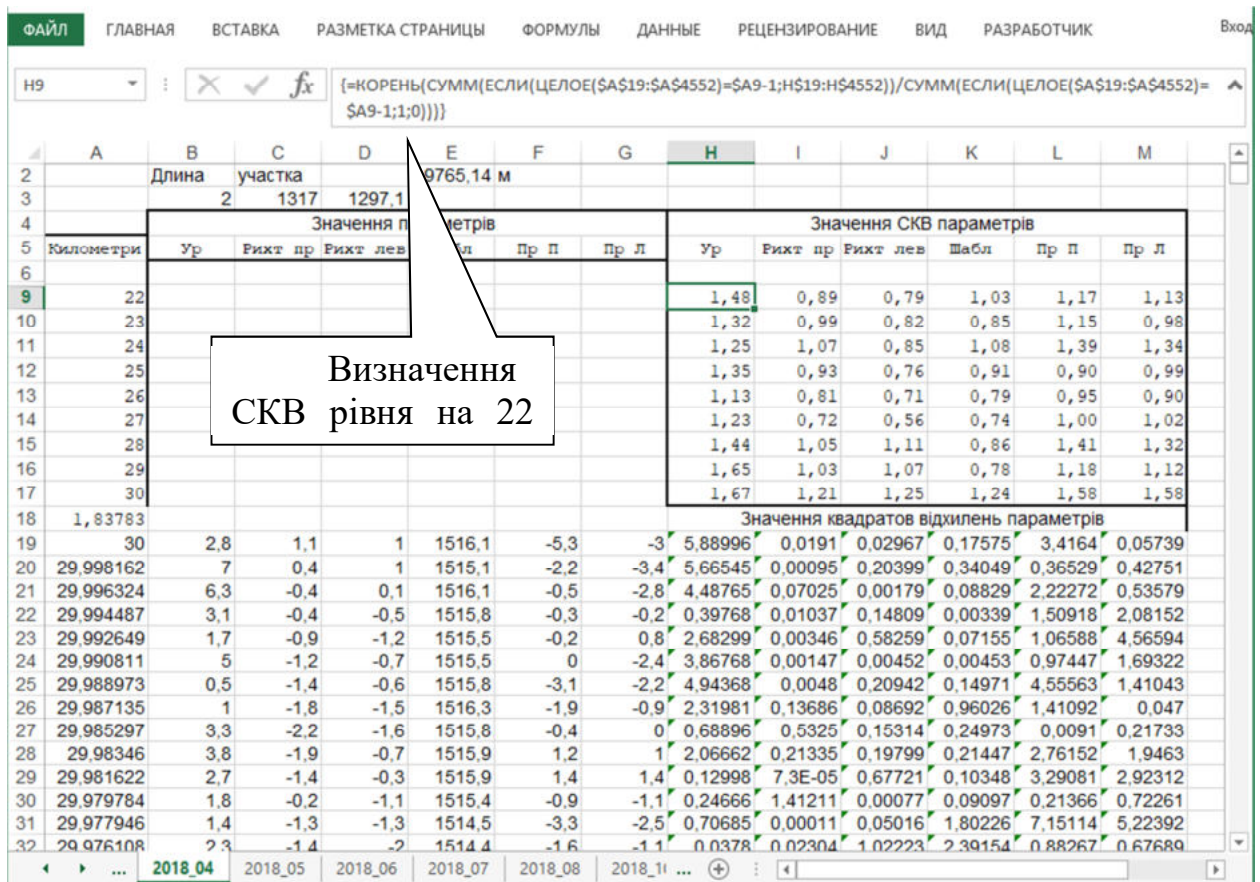


Рисунок 2.11 – Схема визначення середньоквадратичного відхилення

Після визначення СКВ всіх параметрів задля кожного кілометра кожної ділянки були створені зведені таблиці та побудовані графіки зміни СКВ за місяцями (пропущеним тоннажем). При цьому були отримані середні значення СКВ всіх параметрів.

$$S = \frac{Y + PP + PL + PPP + PL + SH}{6} \quad (2.19)$$

Зразки графіків зміни СКВ зображені на рисунках 2.12 – 2.19. На графіках зображені рівняння ліній тренду, за допомогою яких визначалися інтенсивності зміни СКВ за дослідний період для кожного кілометра.

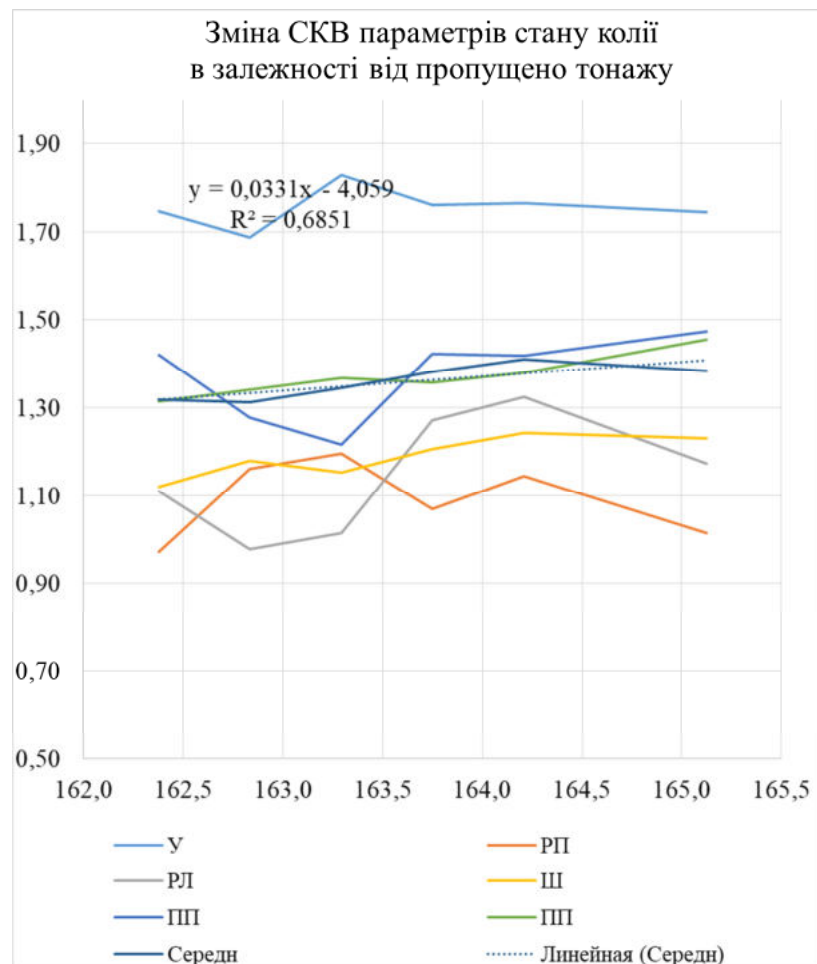


Рисунок 2.12 – Середнє квадратичне відхилення на 6 кілометрі

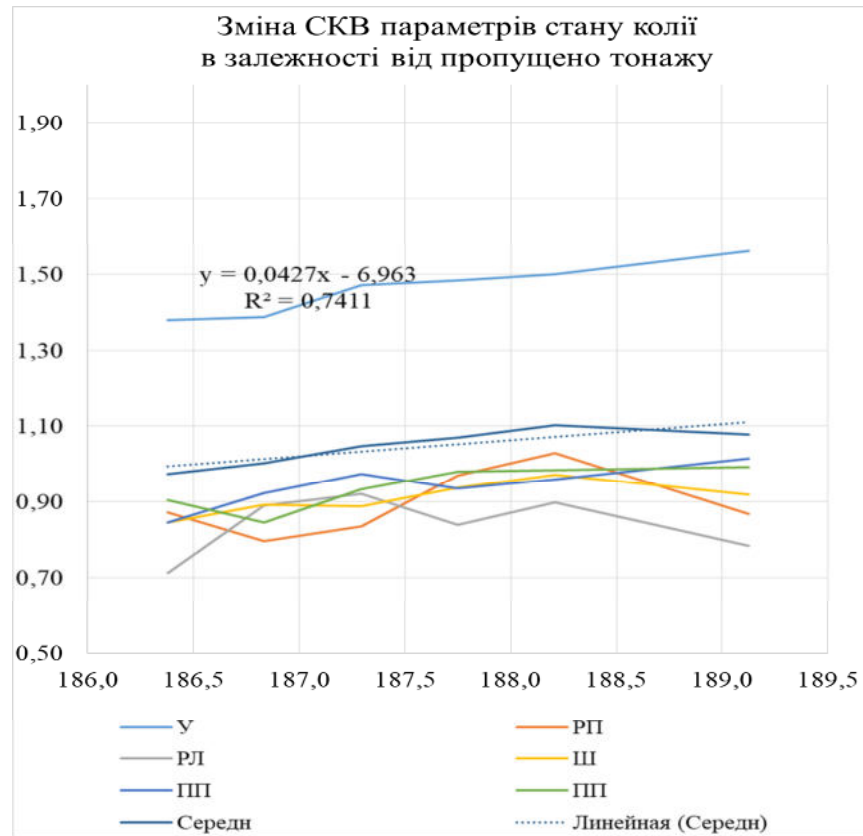


Рисунок 2.13 – Середнє квадратичне відхилення на 9 кілометрі

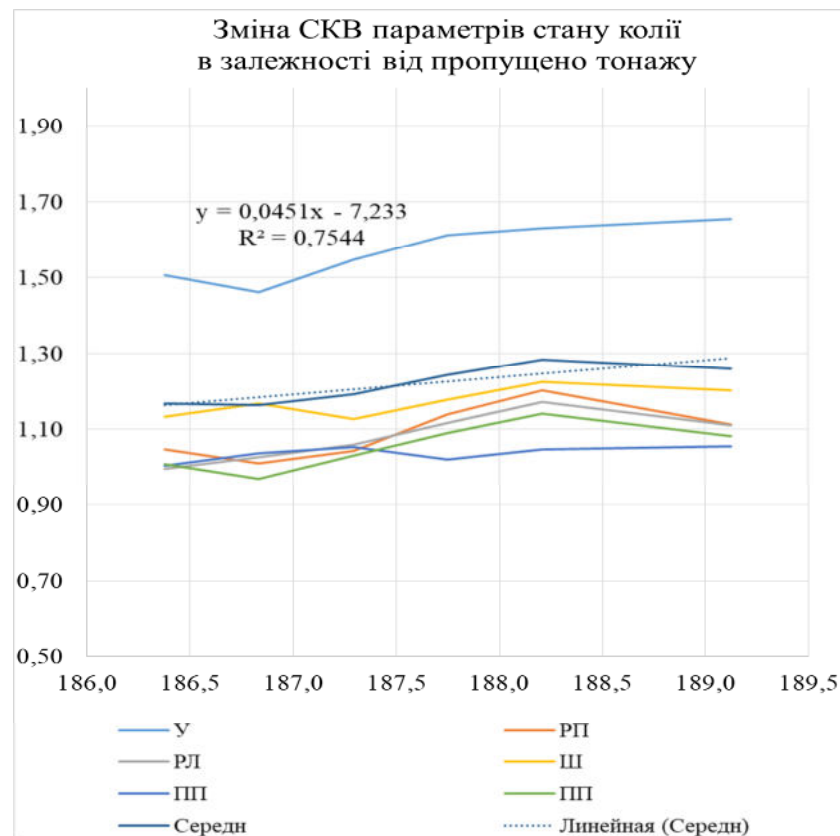


Рисунок 2.14 – Середнє квадратичне відхилення на 10 кілометрі

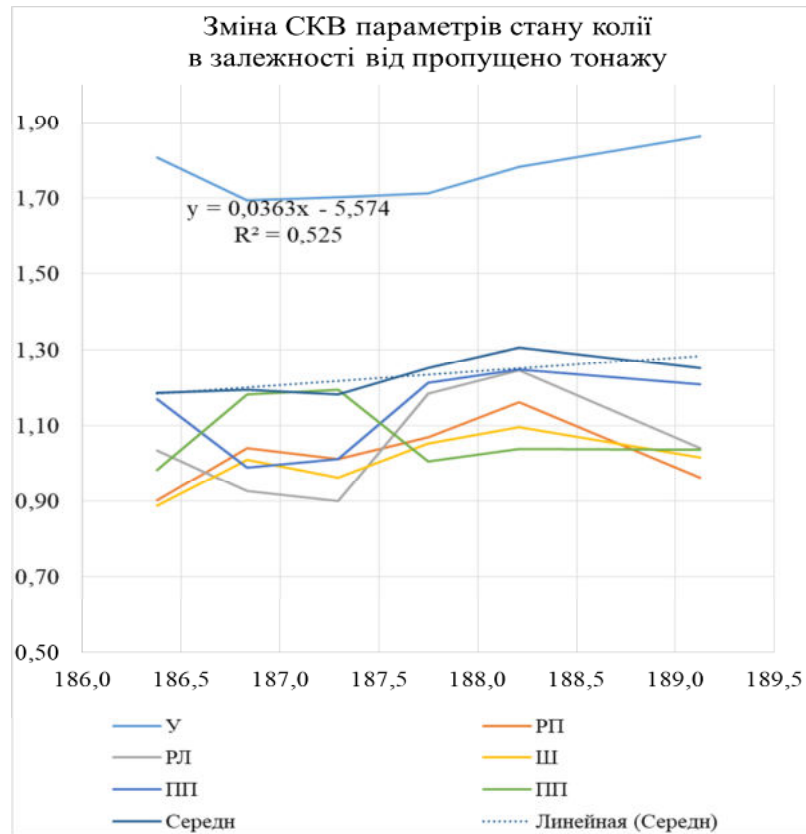


Рисунок 2.15 – Середнє квадратичне відхилення на 15 кілометрі

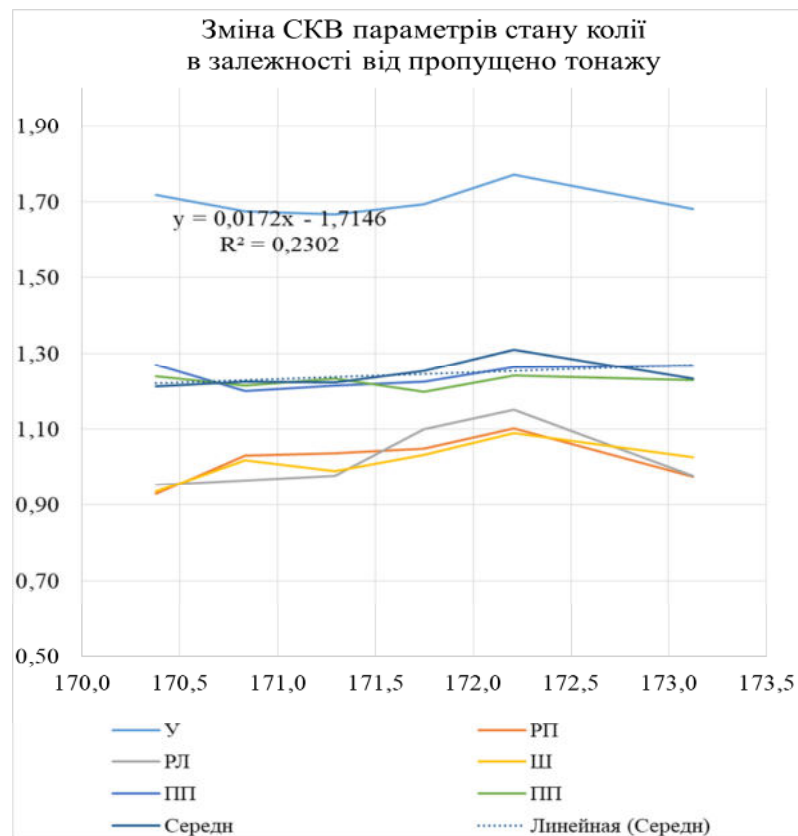


Рисунок 2.16 – Середнє квадратичне відхилення на ділянці 3-18 кілометрах

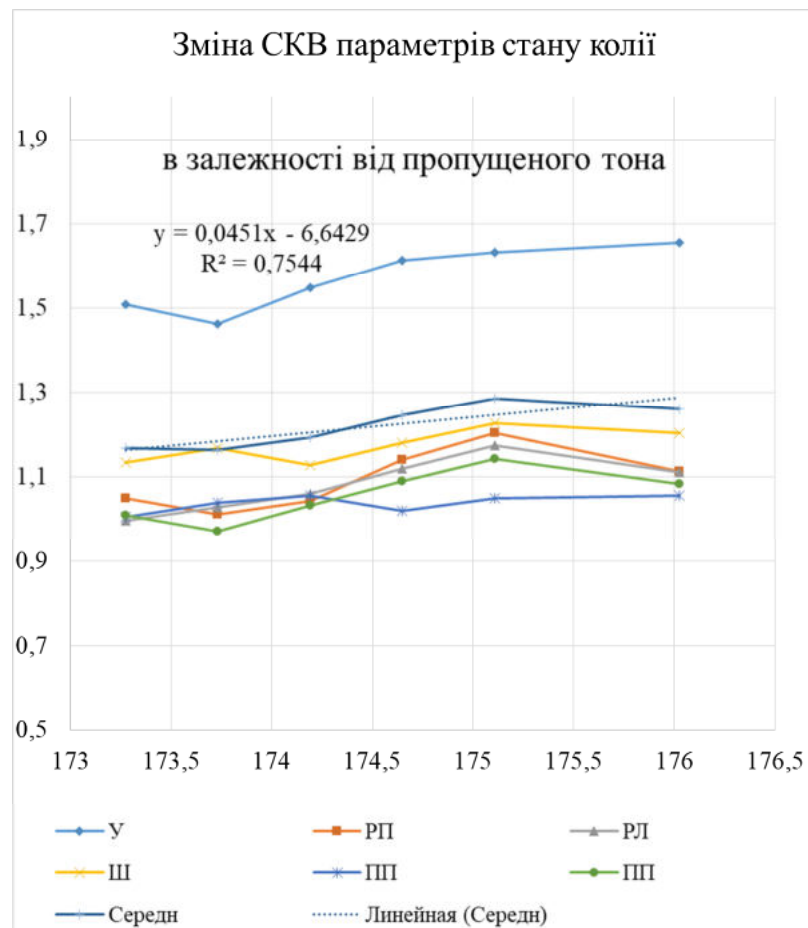


Рисунок 2.17 – Середнє квадратичне відхилення на 22 кілометрі

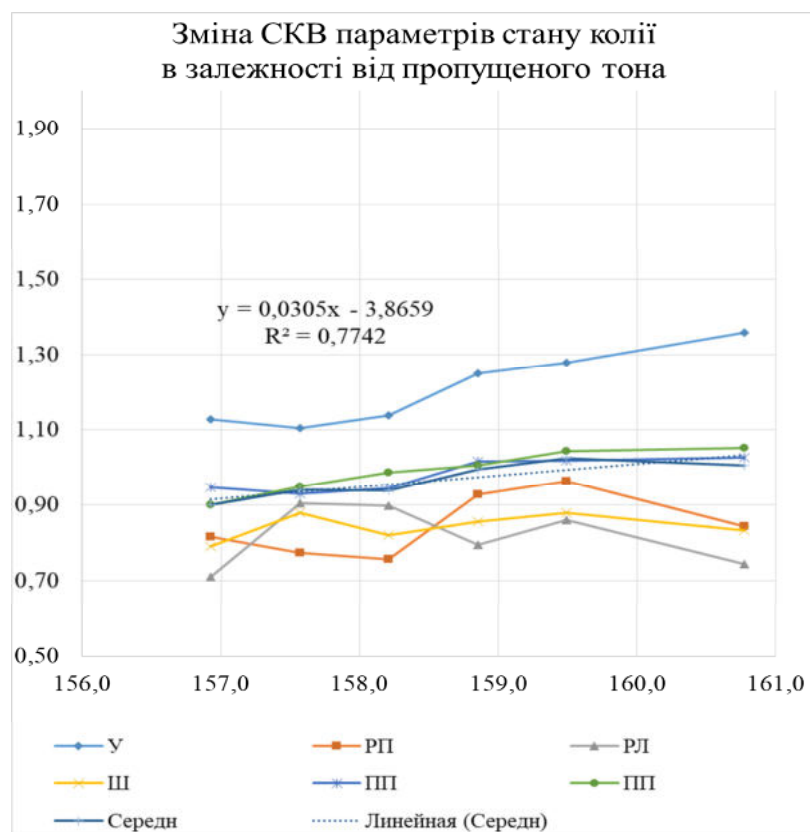


Рисунок 2.18 – Середнє квадратичне відхилення на 26 кілометрі

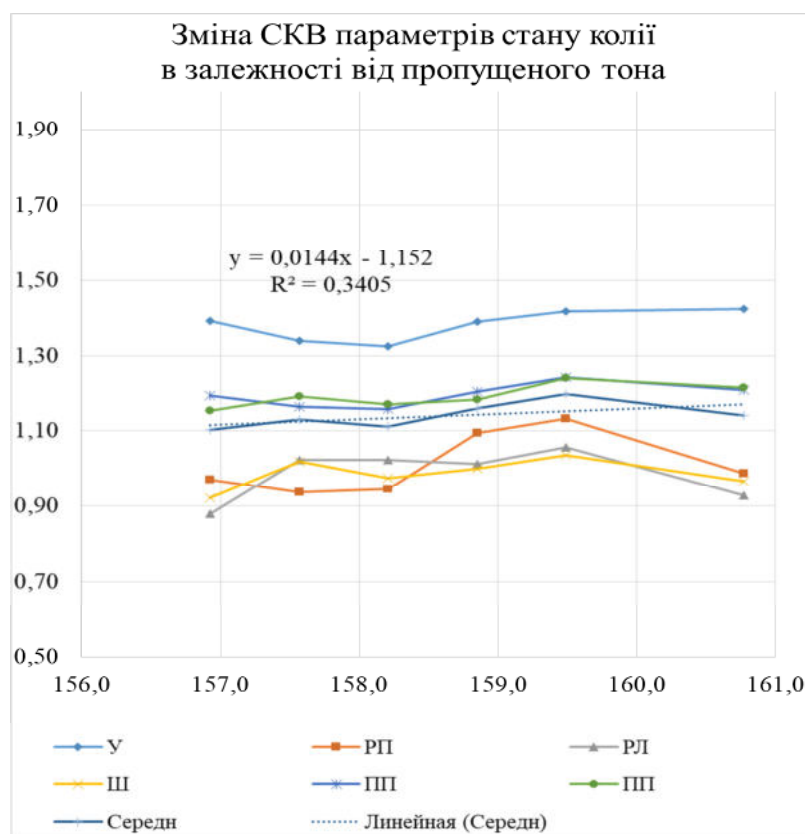


Рисунок 2.19 – Середнє квадратичне відхилення на ділянці 22-30 кілометрах

2.3.3 Факторний дисперсійний аналіз впливу осьового навантаження на інтенсивність зміни стану колії

Визначивши інтенсивність зміни СКВ геометричних параметрів колії залежно від пропущеного тоннажу на ділянках напрямку ст. Каховське Море – ст. Українська було за допомогою факторного дисперсійного аналізу оцінено вплив осьового навантаження на інтенсивність змін стану колії.

Для цього всі отримані інтенсивності (для кілометрів) розділені окремо для ділянок 1 (до 23,5 тс/вісь) та 2 (до 25 тс/вісь). Вихідні данні та результати проведеного факторного дисперсійного аналізу наведені на рис.2.20. Як видно з ймовірністю 0,95 не можна стверджувати, що за період спостережень, осьове навантаження вплинуло на інтенсивність зростання несправностей колії [2].

При цьому слід зазначити, що при вантажонапруженості ділянки 5,5 млн. ткм/км за рік, за період спостережень (квітень – жовтень 2018 р.) було пропущено

$5,5/12 \cdot 6 = 2,75$ млн. т. вантажу, а вагонами з осьовим навантаженням до 25 тс/вісь було перевезено біля 3 тис тон, що склало біля 0,1 % загальної вантажонапруженості [2].

Також слід зазначити, що згідно рис. 2.19 та 2.16 середня інтенсивність зростання несправностей на ділянках з осьовим навантаженням до 23,5 тс/вісь склала 0,0144 мм/млн.т, а на ділянках з осьовим навантаженням до 25 тс/вісь – 0,0172 мм/млн.т [2].

p1	p2	Однофакторний дисперсійний аналіз по СКВ					
0,0451	0,0451						
-0,023	0,0224						
0,0157	-0,001	Результати					
0,0289	0,0451	Групи	Рахунок	Сума	Середнє	Дисперсія	
0,0206	0,0451	p1	9	0,2689	0,02988	0,00143	
0,0156	0,0451	p2	18	0,4489	0,02494	0,00075	
0,1134	0,0451	Дисперсійний аналіз					
0,048	0,0451	Варіації	SS	df	MS	F	P-Значення
0,0041	0,0229	Між групами	0,00015	1	0,00015	0,1509	0,700966186
	0,0142	В групі	0,02425	25	0,00097		4,24169905
	0,0356	Результат	0,02439	26			
	0,0137						
	0,0363						
	0,0086						
	0,0577						
	0,0409						
	-0,03						
	-0,043						

Рисунок 2.20 – Факторний дисперсійний аналіз впливу вагонів з осьовим навантаженням на вісь до 25 тс/вісь на інтенсивність зростання несправностей колії

Отже, виконавши аналіз зміни СКВ ГПК залежно від вантажонапруженості, пропущеного тоннажу і ремонтів на ділянках перегону Українська – Каховське Море до і після виконання модернізації, можна визначити, що загальне середнє приведене значення СКВ ГПК дорівнює 1,62 мм.

На підставі проведеного аналізу можна зробити висновок, що за однакової кількості пропущеного тоннажу значення вантажонапруженості не впливає на величину СКВ ГПК.

2.4 Залежності стану колії від пропущеного тоннажу та інших факторів

Для раціонального ведення колійного господарства і вибору найбільш доцільних конструкцій верхньої будови колії необхідно визначати очікувані терміни служби верхньої будови колії в цілому і окремих його елементах. Аналіз фактичного стану рейкового господарства та планування ремонтів за фактичним станом колії є актуальною проблемою [73].

Найбільш небезпечними відмовами при експлуатації колії є злам рейок. Для попередження цього діє система контролю, яка дозволяє виявити тріщини в металі на ранній стадії розвитку і забезпечити вилучення потенційно небезпечних рейок до їх руйнування.

Для прогнозування термінів служби рейок необхідно оцінити фактори, що впливають на них, описати роботу рейок математичною моделлю, в якій необхідно враховувати вплив основних факторів експлуатаційної роботи залізничної колії та визначити кількісні зміни інтенсивності накопичення відмов рейок на ділянках з поступовим впровадженням високих осьових навантажень.

Існуючі норми встановлення періодичності проведення ремонтно-колійних робіт залежать від пропущеного тоннажу, а також додаткових критеріїв, в тому числі і поодинокого виходу рейок, який враховує фактичний стан колії. В свою чергу, умови роботи рейок залежать від колії, радіусів і довжин кривих, їх загальної протяжності, підйомів і спусків різної довжини. Інтенсивність потоків відмов рейок встановлюються на основі масових спостережень за їх роботою в різних умовах експлуатації [73].

Розробкою моделей відмов рейок знайшла своє відображення в працях докторів технічних наук В.Г. Альбрехта, О.Я. Когана, В.О. Певзнера, В.Л. Порошина, В.В. Рибкіна, Л.А. Сосновського, В.І. Тихомирова, і кандидатів технічних наук А.Ю. Абдурашитова, А.В. Гавриленка, М.В. Клокова, Л.Г.Крисанова, Л.П.Мелентьєва, О.М.Патласова, А.І.Скакова, О.С.Скворцова, Е.С.Спірідонова, Г.І.Тарнопольського, Г.І.Ядрошнікова, О.М.Баль. У всіх

розроблених моделях основним фактором впливу на відмови виступає пропущений тоннаж, у деяких роботах враховано також інші експлуатаційні фактори. Аналіз цих моделей показав, що вони можуть бути використані в межах тих умов, для яких вони розроблялись.

Останнім часом даним питанням займалась кандидат технічних наук О.М.Баль. В дисертаційній роботі [73] проведено експериментально статистичні дослідження і розроблена методика визначення інтенсивності відмов рейок у колії. Експериментальні статистичні дослідження проводились на основних напрямках Придніпровської залізниці. Загальні показники проведеного експерименту наступні: обсяг експерименту – загальна довжина дослідних ділянок, які прийняті в розрахунок, $L=3784,5$ км; кількість дослідних напрямків – 22 напрямки; кількість ділянок – 62 ділянки; мінімальна довжина ділянки – 20 км визначена виходячи із довірчої вірогідності $\beta=0,95$ і відносної похибки $\varepsilon=0,1$. Вплив коротких ділянок знижується коефіцієнтом K_ε ; термін проведення експерименту – протягом 5 років; загальна кількість відмов рейок на дослідних ділянках – 2331 шт.

В своїй роботі О.М.Баль [73] розробила методику збирання інформації про дослідні ділянки і зібрала наступні характеристики для кожного елемента: вантажонапруженість, середнє осьове навантаження, план та профіль лінії, пропущений тоннаж після модернізації, швидкість руху поїздів та режим ведення поїзда. При цьому вплив конструкції колії враховувався в першу чергу початковим розподіленням дослідних ділянок на ланкову та безстикову колію. Дані про поодинокі відмови рейок за період з 1999 по 2003 рік на дослідних ділянках Придніпровської залізниці отримано з «Відомості обліку рейок, знятих з ділянок колії» (форма ПУ-4).

Головною причиною відмов рейок є дефекти в основному контактено-втомного походження. Виникнення дефектів контактено-втомленого являє собою довгий процес. Вагомо впливає на його формування навантаження на вісь від рухомого складу.

Основним критерієм призначення суцільної заміни рейок на нові і старопридатні є суцільний знос рейок вище нормативної величини або такий же за

кількістю вихід рейок, як і при призначенні відповідного виду модернізації чи капітального ремонту колії [59]. При цьому вид супровідних робіт, кількість елементів скріплень і шпал, які треба замінити, визначається дистанціями колії за результатами комісійних оглядів [59].

В роботі [0] визначено кількісні зміни інтенсивності накопичення відмов рейок на ділянках з поступовим впровадженням високих осьових навантажень. Для отримання фактичних значень автори отримали трьовимірний масив інтенсивності потоку відмов рейок. За результатами досліджень виявлено, що головною причиною відмов рейок є дефекти в основному контактному-втомного походження. Основним фактором, який впливає на інтенсивність потоку відмов рейок є кількість пропущеного тоннажу. Вагомо впливає на цей процес величина осьового навантаження і кривизна лінії. Запропонована модель відмови рейок, яка може бути використана для оптимізації системи утримання колії. Авторами проведено дослідження щодо виявлення кількісних змін інтенсивності накопичення відмов рейок на ділянках з високими осьовими навантаженнями та виконана оцінка на їх вплив на планування термінів ремонтно-колійних робіт.

За результатами досліджень виявлено, що головною причиною відмов рейок є дефекти в основному контактному-втомного походження. Основним фактором, який впливає на інтенсивність потоку відмов рейок є кількість пропущеного тоннажу. Вагомо впливає на цей процес величина осьового навантаження і кривизна лінії. Запропонована модель відмови рейок, яка може бути використана для оптимізації системи утримання колії.

Інтенсивність потоку відмов залізобетонних шпал в залежності від пропущеного тоннажу будемо визначати шляхом апроксимації математичними функціями результатів спостережень.

Графіки інтенсивності потоку відмов зображені на рисунку 2.21.

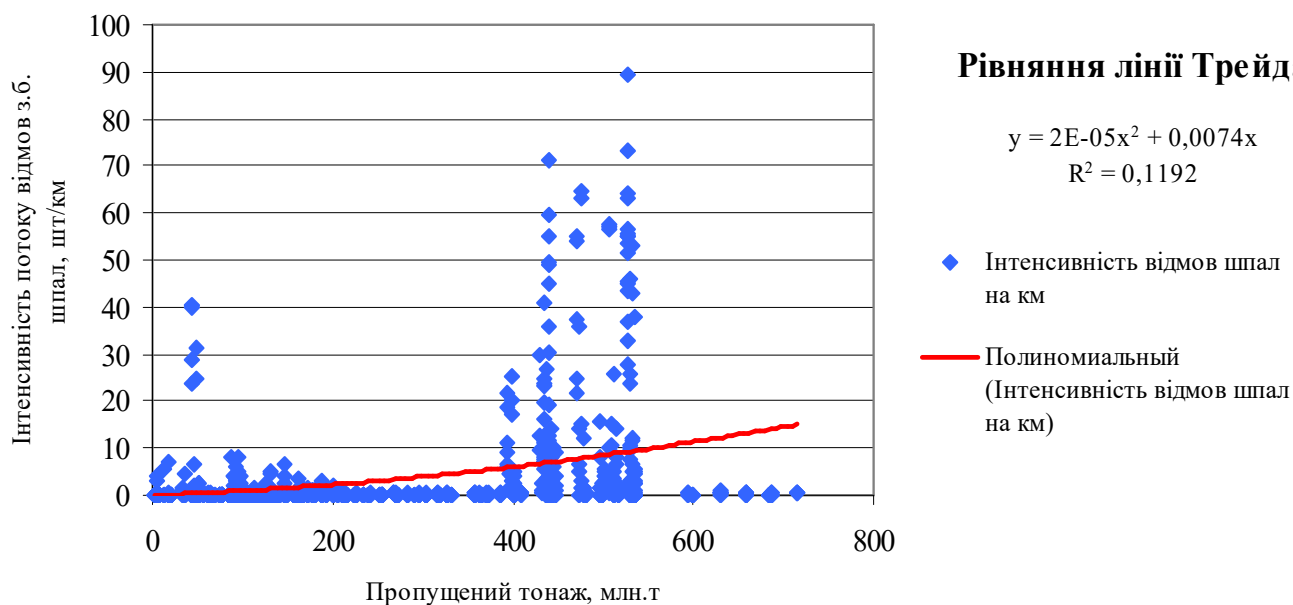


Рисунок 2.21 – Загальний графік інтенсивності потоку відмов залізобетонних шпал на ділянках

Отже, аналізуючи рис. 2.21 встановлено наступне: на графіку чітко виражене практично лінійне зростання інтенсивності потоку відмов шпал в залежності від пропущеного тоннажу по кожній з розглянутих ділянок колії, це свідчить про існування залежності, яка виражена рівнянням наведеним на рис. 2.21 отримання більш точної залежності між виходом шпал і пропущеним тоннажем також залежить від кількості оброблених даних і їх достовірності.

Аналіз опрацьованих даних і побудованих графіків дозволив зробити висновок, що отриману залежність можна використовувати при визначенні міжремонтного циклу для ділянок колії з різним пропущеним тоннажем і вантажонапруженістю.

2.5 Прогнозові розрахунки зростання витрат на утримання колії

В умовах нових форм і методів господарювання, дефіциту матеріальних, фінансових і людських ресурсів найважливішим критерієм удосконалювання

системи утримання залізничної колії є економічні показники. Це, у першу чергу мінімальні витрати на ремонти і поточне утримання колії при безумовному забезпеченні безпеки руху поїздів із встановленими або достатніми швидкостями і при забезпеченні заданих обсягів перевезення.

У залізничній колії та її елементах під впливом рухомого складу накопичуються залишкові деформації у вигляді нерівномірних осадів земляного полотна і баластного шару, зносу шпал, рейок і скріплень.

Інтенсивність накопичення залишкових деформацій залежить від багатьох факторів: типу і конструкції верхньої будови колії, плану і профілю лінії, вантажонапруженості, пропущеного тоннажу, виду та кількості проведених ремонтних робіт, навантаження на вісь рухомого складу, швидкості руху поїздів, кліматичних умов та ін.

Залежно від чинників, що впливають на накопичення залишкових деформацій і несправностей, вони поділяються на 3 групи:

1 – зумовлювані параметрами, прийнятими при розрахунку конструкції колії. Вони можуть бути розподілені рівномірно уздовж колії - загальний осад колії, осад польової рейкової нитки і т.д;

2 – проявляються при неправильному утриманні будь-яких елементів колії (наприклад, угон колії виникає при незадовільному утриманні протиугонних пристроїв або клемних болтів; просадки стиків збільшуються внаслідок ослаблення стикових болтів);

3 – що виникають внаслідок неоднорідності міцнісних та інших властивостей окремих елементів колії, особливо земляного полотна, баластного шару, шпал і частково металевих елементів верхньої будови. Ці деформації мають, як правило, точковий характер, можуть швидко розвиватися і викликати порушення плавності і безпеки руху.

Оскільки питання інтенсивності накопичення залишкових деформацій в колії безпосередньо пов'язано з економікою її експлуатації, то розрахунки та дослідження залізничної колії разом із параметрами міцності і тими, що вирішують питання безпеки, повинні давати можливість визначати інтенсивність накопичення

залишкових деформацій залежно від конструкції колії, системи її утримання та впливу рухомого складу і його режиму обертання по колії.

Тому, необхідним є розробка методів визначення витрат робочої сили в залежності від розладу колії на основі досягнення мінімальних витрат вартості життєвого циклу.

Періодичність ремонтів колії на залізницях України визначається за нормами, встановленими «Положенням про проведення планово-запобіжних ремонтно-колійних робіт на залізницях України» [59], яке передбачає виконання системи основних організаційно-технічних заходів по ремонту та утриманню колії, спрямованих на забезпечення безпеки руху поїздів з встановленими швидкостями. В свою чергу, «Положенням» розраховані однакові витрати на проведення ремонтно-колійних робіт незалежно від фактичного стану колії.

В умовах обмеженого фінансування норми витрат матеріалів і робочої сили на поточне утримання та ремонт колії й інших пристроїв колійного господарства залізниць України необхідно визначати за фактичним станом та показниками колії та колійних пристроїв [74].

При впровадженні на залізницях України рухомого складу з підвищеним навантаженням на вісь виникає додатковий вплив на об'єкти інфраструктури колійного господарства, що потребує додаткових витрат на їх утримання та на матеріали верхньої будови колії. Існуючі норми розроблені для рухомого складу з осьовим навантаженням не більше 23,5 тс/вісь.

Підвищення осьового навантаження призведе до зростання обсягів робіт і витрат праці з поточного утримання колії. Як відомо, обсяги робіт залежать від вантажонапруженості, осьового навантаження, швидкості руху поїздів, виду та кількості проведених ремонтів. Значний внесок у визначенні впливу зазначених факторів внесли професор Н. П. Кондаков, к.т.н. В. Я. Шульга, В. Н. Лященко [75].

Згідно проведених досліджень, річні обсяги основних робіт: виправка колії в плані і профілі (підбивка шпал – в сезон літніх колійних робіт, укладання прокладок – в зимовий період); виправка колії в плані (рихтування); регулювання зазорів, перешивка колії, одиночна заміна рейок, скріплень і шпал, ремонт шпал і зачистка

задинок, зміст баластної призми можуть бути визначені за питомою протяжністю колії, що підлягає виправленню після пропуску 1 млн т брутто за формулою :

Об'єм робіт з підбиття шпал визначається за формулою:

$$I_{с.п.} = B_n \kappa_{ш} \kappa_{д.р.п} \kappa_{б} \kappa_r \lambda_n \kappa_{вт} \kappa_{у.п} \Gamma_{р.з} \frac{t_c}{t_z} \quad (2.20)$$

В формулі (2.20) коефіцієнт λ_n враховує вплив середньозваженого осьового навантаження на накопичення залишкових деформацій в колії, що усуваються підбиттям шпал. При середньозваженому навантаженні на вісь 25 тс коефіцієнт λ_n прийнятий рівним 1.47.

При підвищенні середнього осьового навантаження з 23,5 тс/вісь до 25 тс/вісь (на вантажонапружених ділянках) призведе до зростання витрат на виправку колії до 8%. Аналогічно зміняться витрати на утримання колії в цілому.

Об'єм перевезеного вантажу, що характеризує виникнення відмов елементів колії, як випадкова величина може приймати різний розподіл.

Поступові відмови рейок утворюються під впливом багатьох факторів, одним з яких є осьове навантаження, яке надає, як правило, невеликий вплив на розвиток дефектів.

Ряд досліджень показав, що середнє осьове навантаження або отримане на її основі еквівалентне навантаження з достатньою для практичних розрахунків точністю характеризує вплив всього спектра навантажень на інтенсивність потоку відмов рейок.

Залежність інтенсивності потоку відмови рейок на 1 км для прийнятого періоду експлуатації згідно [76] визначається так:

$$\omega(T) = \frac{1}{\delta \sqrt{2\pi}} \exp \left(- \frac{\left(A - B \cdot p^m - \frac{C}{R} - T \right)^2}{2\delta^2} \right) \quad (2.21)$$

При підвищенні середнього осьового навантаження з 23,5 тс/вісь до 25 тс/вісь (на вантажонапружених ділянках) призведе до зменшення пропущеного тоннажу,

при якому буде та сама інтенсивність відмов рейок, на 7-8%. Аналогічно зміняться витрати на заміні інших елементів верхньої будови колії.

Висновки до розділу 2

За результатами експериментальних випробувань дії на колію виявлено:

- середні вертикальні навантаження, та відповідно середні вертикальні деформації, під вагонами з осьовим навантаженням до 25 тс/вісь більше ніж під вагонами з осьовим навантаженням до 23,5 тс/вісь на 8 відсотків.

- максимальні (що спостерігалися) вертикальні навантаження під вагонами з осьовим навантаженням 25 тс/вісь перевищували середні навантаження на 10,0 тс, а під вагонами з осьовим навантаженням до 23,5 тс/вісь перевищували середні значення на 12,8 тс. За абсолютним значенням максимальні вертикальні навантаження спостерігалися під вагонами з осьовим навантаженням до 23,5 тс/вісь та досягали 35,2 тс/вісь.

- середні горизонтальні сили, що діють на рейки від коліс вагонів з осьовим навантаженням до 25 тс/вісь дорівнювали 2,99 тс, а від коліс вагонів з осьовим навантаженням до 23,5 тс/вісь – 2,86 тс.

- максимальні горизонтальні сили дії на колію від коліс вагонів з осьовим навантаженням до 25 тс/вісь дорівнювали 4,7 тс, а від коліс вагонів з осьовим навантаженням до 23,5 тс/вісь на 5,2 тс.

За результатами статистичних досліджень отримані середньоквадратичні відхилення геометричних показників колії, що дозволяють оцінювати стан колії та планувати виконання колійних робіт, у тому числі й ремонтів колії з більшою ефективністю, ніж за чинними нормами. Перед проведенням ремонтів і після них доцільно було б проводити аналіз середньоквадратичні відхилення геометричних показників колії і надалі планувати ремонти колії згідно з цією методикою відповідно до фактичного стану колії. Для отримання середньоквадратичних відхилень у прямих, кругових і перехідних кривих базове значення для визначення

відхилень може бути знайдене апроксимацією фактичних значень поліномом другого порядку.

Лідируючу групу відмов рейок становлять дефекти контактно-втомного та втомного характеру. Вдосконалена ймовірнісна модель потоку відмов рейок типу Р65, за допомогою якої можна прогнозувати кількість відмов рейок залежно від основних експлуатаційних факторів. Запропонована модель відмов рейок може бути використана при оптимізації системи утримання колії, планування ремонтів з урахуванням фактичного стану та визначення термінів дефектоскопіювання рейок.

РОЗДІЛ 3

МЕТОДИКА ОПТИМІЗАЦІЇ СХЕМИ УТРИМАННЯ КОЛІЇ

3.1. Вибір розрахункової моделі роботи верхньої будови колії

Колійне господарство – одна з основних складових частин залізничного транспорту. Особливістю верхньої будови колії є перехід від одного стану до іншого, який протікає дуже повільно, тому окрім визначення фактичного стану, необхідно прогнозувати і її майбутній стан. Тому виникає потреба в оптимізації схеми утримання колії.

Основними напрямками реформування системи управління колійним господарством на сьогодні є вдосконалення системи, а саме: розширення сфер застосування інформаційних технологій, впровадження нових технологій утримання колії та зменшення собівартості перевезень в частині, яка визначається витратами колійного господарства.

Оптимізація системи управління колійним господарством вимагає великих витрат, так як існує багато невирішених завдань, а саме:

1. неефективність методів планування колійних робіт (технічний стан колії не прогнозується і не враховуються експлуатаційні умови);

2. дані про стан колії неефективно використовуються при плануванні робіт внаслідок того, що не враховуються тенденції зміни стану колії, і тому неможливо оцінити витрати на його утримання та ефективність планів ремонтно-колійних робіт;

3. недостатня економічна обґрунтованість рішень, оскільки для всіх умов експлуатації нормативи рекомендують практично одні і ті ж конструкції колії [12].

Важливим завданням колійного господарства, крім визначення фактичного стану колії, є прогнозування його життєвого циклу. Верхня будова відрізняється від інших елементів колії тим, що перехід від одного стану до іншого протікає дуже повільно, і тому інформація про те яким воно буде через рік або два іноді важливіше

опису фактичного стану.

Розглянемо спрощену математичну модель (3.1). Її технічна корисність невелика. Однак побудувати модель надійності верхньої будови колії, яка враховувала б усі зв'язки його елементів і мала б найбільшу користь не просто. Якщо в розрахунок прийняти один перегін, то надійність його роботи буде одна, а якщо в розрахунок прийняти напрямки, що зв'язують великі вузлові станції, то надійність роботи буде менше.

За цих обставин виглядає обґрунтованою передумова, що напруцювання на відмову верхньої будови колії як конструкції вцілому на даній ділянці колії характеризується середнім інтервалом часу (або середнім значенням перевезеної маси) між двома станами непрацездатності або їх кількістю і часом стану непрацездатності.

При такій передумові вираз надійності приймає порівняно нескладний вигляд:

$$R(t) = P(T \geq t) \quad (3.1)$$

де $R(t)$ - функція надійності роботи системи в момент t ;

$P(T \geq t)$ - ймовірність того, що система відмовить у момент T , більший або рівний моменту t .

Визначення надійності верхньої будови колії як системи в цілому функцією (3.1) зводить її до найпростішої моделі, заснованої на тому, що система складається з певної кількості не зв'язаних між собою елементів.

У теоретичному аспекті застосування такої системи можна припустити, а в практичному - логічно і дуже корисно, оскільки призводить до загально зрозумілих показників, спирається на легко доступну інформацію і дозволяє без будь-яких подальших перетворень вводити параметри надійності верхньої будови колії в систему оцінки надійності всієї залізничної мережі.

3.2. Застосування динамічного програмування в оптимізації термінів проведення основних планово-попереджувальних ремонтів

Основною задачею оптимізації системи утримання залізничної колії являється визначення такої системи, яка забезпечила б задані об'єми перевезень, безпеку руху поїздів і безперебійність роботи транспорту при мінімальних витратах на поточне утримання і ремонт колії.

Затрати на утримання колії в цілому залежать від кількості і видів виконаних ремонтів, а також періодичності і послідовності їх виконання. Ці залежності, як відомо, носять нелінійний характер. Самі витрати повинні визначатися поетапно з врахуванням попередніх процесів, тобто з врахуванням проведених ремонтів і їх періодичності за попередній період експлуатації.

В такій постановці задача оптимізації може бути вирішена методом динамічного програмування. Динамічне програмування, або інакше «динамічне планування» представляє собою математичний апарат, який дозволяє здійснювати оптимальне планування керованих процесів. Сутність цього методу закладається в тому, що оптимальне управління будується поступово, крок за кроком. На кожному кроці оптимізується управління тільки даного кроку. Разом з тим, на кожному кроці управління вибирається з урахуванням наслідків, так як управління оптимізує цільову функцію тільки для даного кроку і може призвести до неоптимального ефекту всього процесу. Тому управління на кожному кроці повинно бути оптимальним з точки зору процесу в цілому [76].

В дослідженнях [11,77] була проведена спроба використання динамічного планування, де кількість кроків визначалась виходячи з середньої вантажонапруженості на ділянці і норм періодичності капітального ремонту колії. Разом з тим сама величина нормативного тоннажу між капітальними ремонтами може бути оптимальною величиною і повинна встановлюватись на основі оптимізації. Таким чином задачу по визначенню раціонального терміну між реконструкцією і оптимальною міжремонтною схемою необхідно вирішувати в

комплексі. В загальному випадку (теоретично) схема утримання залізничної колії після капітального ремонту може бути самою різноманітною. На наступний рік після капітального ремонту можна здійснювати або тільки поточне утримання колії або додатково виконувати будь-який вид ремонту.

Таку ж стратегію можна здійснювати на другий і послідовні роки експлуатації. При цьому загальна кількість варіантів схеми утримання колії визначається по формулі:

$$N=k^n \quad (3.2)$$

де k – кількість варіантів управління,

n – число років експлуатації.

Якщо прийняти, що кількість управлінь дорівнює чотирьом (поточне утримання, комплексно – оздоровчий ремонт, середній і реконструкція) то за п'ять років залізничну лінію можна експлуатувати по одному з $4^5 = 1024$ варіантів.

Схема утримання колії, при якій буде мінімальна собівартість перевезення 1 млн. т бруто на 1 км в частині, яка залежить від витрат по верхній будові колії, являється оптимальною з економічної точки зору.

Таку задачу вже можна вирішити методом динамічного планування. Однак, навіть якщо ця задача буде вирішуватися з використанням електронно-обчислювальних машин, це призведе до значних затрат машинного часу. Тому більш раціональним буде таке рішення поставленої задачі, при якому термін проведення капітального ремонту визначається одним із методів нелінійного програмування, а саме наявність між двома капітальними ремонтами методом динамічного планування. Крім того, можна добитися скорочення варіантів виходячи з наступних міркувань.

На більш вантажонапружених ділянках не виникає значної зміни вантажонапруженості по рокам. Тому міжремонтний цикл на таких ділянках не повинен зазнавати змін при переході до наступного міжремонтного циклу, а саме якщо попередній міжремонтний цикл був тривалістю п'ять років, то теперішній і послідовні повинні бути також п'ять років. При цьому схема утримання залізничної колії в усіх міжремонтних періодах також повинна бути без змін.

Виконання капітального ремонту через рік (теоретично) експлуатації закінчує саму коротку міжремонтну схему. Звідси слідує при незмінних умовах експлуатації на наступний рік необхідно знову виконувати капітальний ремонт, а решта варіантів відпадають.

Таким чином, можна одержати схему можливих варіантів, зазначену на рис. 2.

Технічна система «залізнична колія» у процесі її експлуатації й у результаті впливу на неї різних факторів з часом змінює свій стан у визначених межах. У початковий момент система має конкретний стан " S_0 ". У результаті здійснення різних управлінь з часом t система переходить у стан " S_k ". Процес переходу системи з початкового стану в кінцеве може і повинний керуватися.

Спосіб впливу на систему U вибирається з можливих варіантів (поточне утримання протягом року і виконання якого-небудь проміжного ремонту наприкінці умовного року або тільки поточне утримання).

Теоретично можливі варіанти схеми утримання колії наведено на рисунку 3.1.

Можливі варіанти схеми утримання колії з урахуванням допущень і обмежень наведено на рисунку 3.2.

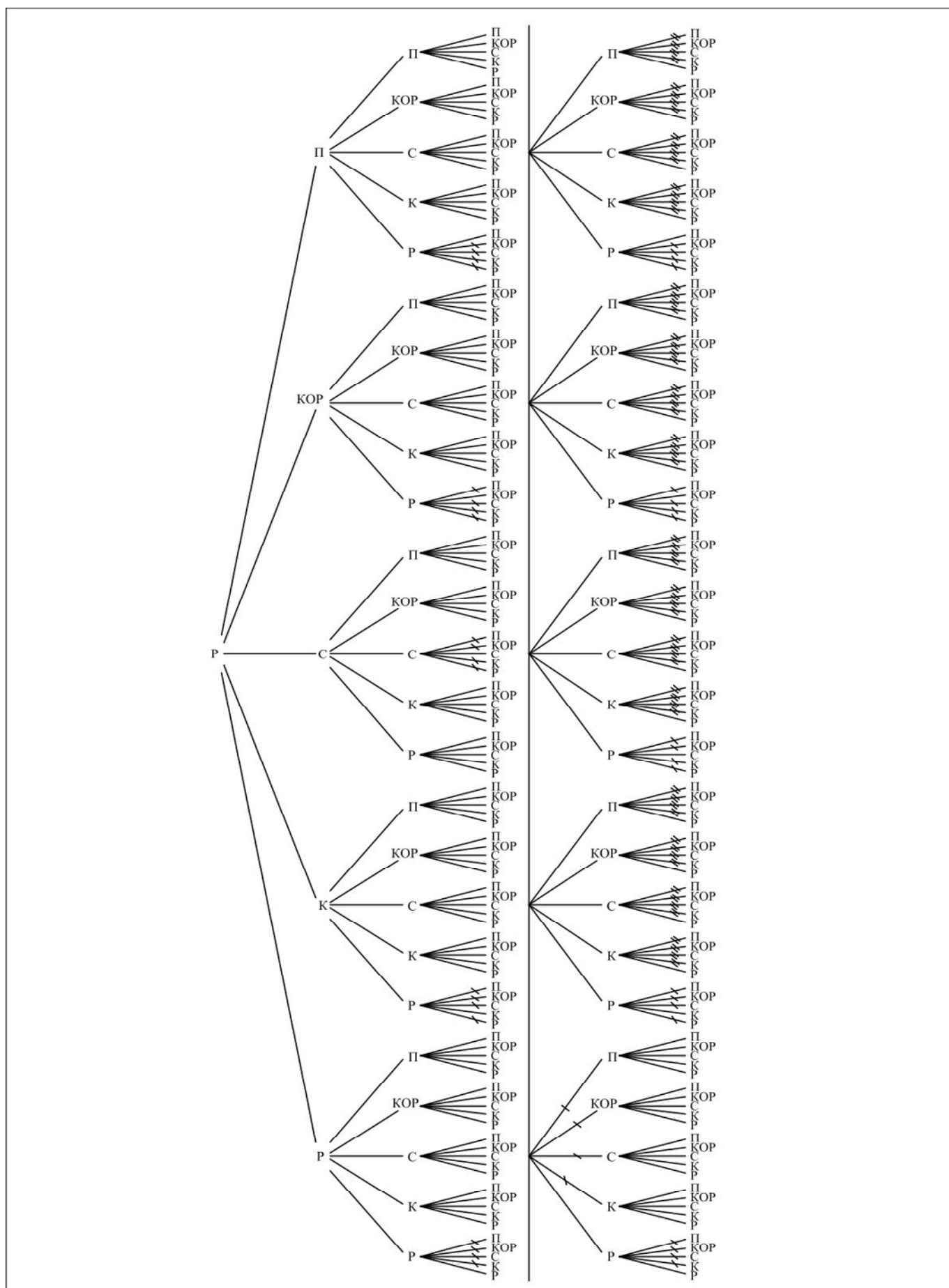


Рисунок 3.1 – Теоретично можливі варіанти схеми утримання колії

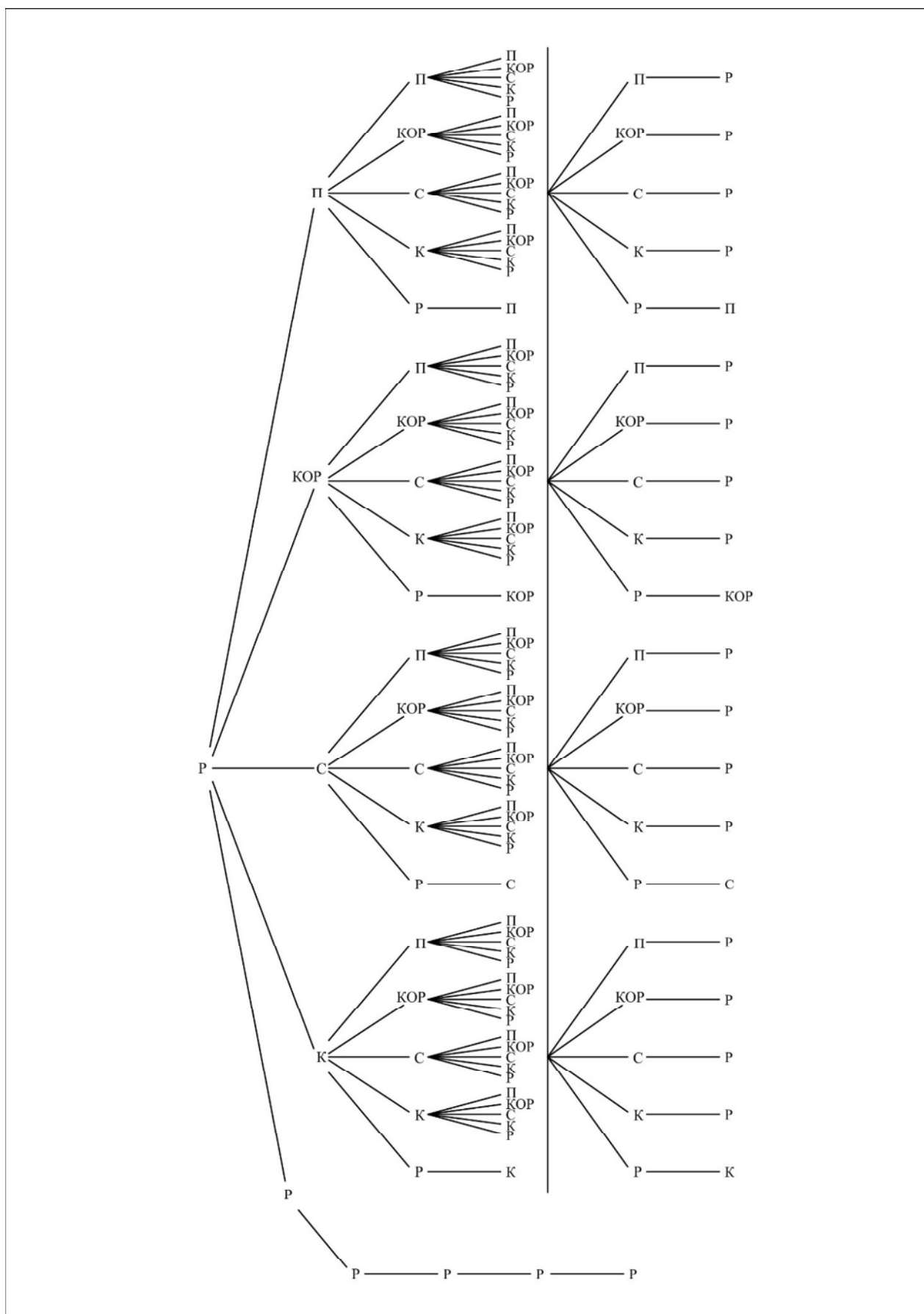


Рисунок 3.2 – Можливі варіанти схеми утримання колії з урахуванням допущень і обмежень

Ефективність W застосовуваних заходів буде залежати, у кінцевому рахунку, від того які управління й у якій послідовності будуть здійснюватися.

Траєкторія прямування системи зі стану " S_0 " до " S_n " залежить від процесу управління протягом перших " n " кроків (років). При цьому система після першого кроку управління переходить у деяку область можливих станів S^*_i , тому що будь-який конкретний стан системи після першого кроку S_i залежить від прийнятого управління U_i , що у свою чергу може бути різним (поточне утримання, комплексно-оздоровчий, середній або капітальний ремонт, суцільна заміна рейок або модернізація) і складає деяку сукупність U^*_i .

Оптимальне управління має таку властивість, що які б ні були початковий стан системи і управління на даному кроці, наступні управління повинні вибиратися оптимальними щодо стану, до якого прийде система наприкінці розглянутого кроку. Цей принцип оптимальності називається основним правилом динамічного програмування.

Використання принципу оптимальності гарантує, що керування, обране на будь-якому кроці, є кращим не локально, а з погляду всього процесу в цілому.

Так, якщо система на початку n -го кроку знаходиться в стані S_{n-1} і вибирається довільне керування з безлічі можливих керувань U^*_n , то система прийде в новий стан $S_n = f(S_{n-1}, U_n)$, і подальші управління $U_{n+1}, \dots, U_k$ повинні вибиратися оптимальними відносно S_n . Останнє означає, що при цих управліннях мінімізується показник ефективності на наступним до кінця процесу кроках $n+1$.

$$W = \sum_{i=n}^k \omega_i(S_{i-1}, U_i) \rightarrow \min, \quad (3.3)$$

де $w_i(S_{i-1}, U_i)$ - ефективність управління U на кроці i при переході системи від стану S_{i-1} до S_i .

Задача оптимізації процесу, починаючи з n -го до останнього k -го кроку, схожа на вихідну при початковому стані системи S_{n-1} і управлінні U_n . Вибравши оптимальне управління на що залишилися $k-(n-1)$ кроках, одержимо величину показника ефективності $W'_n = \min W'_k$, що залежить тільки від S_{k-1} .

$$W'_n(S_{n-1}) = \min_{U_n} \{W_n(S_{n-1}, U_n)\} = W_n(S_{n-1}, U'_n) \quad (3.4)$$

Величина W_n визначає значення критерію в залежності від попереднього стану і прийнятого управління на даному кроці, а величина W'_n є умовним показником ефективності, тому що процес оптимізувався тільки починаючи зі стану S_{n-1} .

Управління на n -ом кроці U_n необхідно вибрати так, щоб воно в сукупності з оптимальним керуванням на наступних кроках приводило б до загального мінімуму витрат на $k-(n-1)$ кроках, починаючи з n -го кроку і до кінця. Це положення в аналітичній формі для будь-якого початкового стану можна записати у вигляді наступного співвідношення

$$W'_n(S_{n-1}) = \min_{U_n} \{w_n(S_{n-1}, U_n) + W'_{n+1}(S_n)\} \quad (3.5)$$

Це співвідношення має назву основного функціонального рівняння динамічного програмування. Схематично це співвідношення показане на рис. 4.3.

У рівнянні (3.5) функція $w_n(S_{n-1}, U_n)$ повинна бути визначена на підставі теоретичних розрахунків і експериментальних спостережень. Невідомими залишаються функції $W'_n(S_{n-1})$ і $W'_{n+1}(S_n)$. З них перша виражається через другу. Функція $W'_k(S_{k-1})$ - умовний оптимальний виграш на останньому кроці встановлюється по мінімуму витрат на останньому кроці:

$$W'_k(S_{k-1}) = \min_{U_k} \{w_k(S_{k-1}, U_k)\} \quad (3.6)$$

Після цього будується ланцюжок умовних оптимальних управлінь аж до першого кроку, для якого визначається функція $W'_1(S_0)$ - умовний оптимальний виграш на всіх кроках, починаючи з першого і до останнього, котрий залежить тільки від початкового стану. Якщо необхідно оптимізувати схему утримання колії від модернізації (капітального ремонту) колії до наступної модернізації (капітального ремонту) то стан S_0 буде характеризувати стан залізничної колії відразу після модернізації (капітального ремонту). У випадку, коли необхідно виробити стратегію подальшого змісту, то S_0 буде характеризувати конкретний стан системи на даний момент експлуатації. $W'_1(S_0)$

При відомому початковому стані S_0 знаходиться оптимальне керування по ланцюжку:

$$S_0 \xrightarrow{U_1} S_1 \xrightarrow{U_2} S_2 \xrightarrow{U_3} \dots \xrightarrow{U_{k-1}} S_{k-1} \xrightarrow{U_k} S_k$$

Таким чином, у процесі ДП послідовність етапів проходиться двічі: перший раз - від кінця до початку, у результаті чого знаходиться мінімальне значення витрат W' і умовне оптимальне управління на кожному кроці; другий раз - від початку до кінця, у результаті чого знаходиться оптимальне управління на кожному кроці і стан системи після кожного етапу при оптимальному управлінні.

3.3 Визначення стану верхньої будови колії з застосуванням теорії відновлення

Стан системи «залізнична колія» характеризується такими показниками, як термін служби або пропущений тоннаж, види і терміни проведення проміжних ремонтних робіт, впливаючі фактори і їх кількісні характеристики. Похідними від них являються кількість дефектних елементів колії $N(t)$, зв'язані з ним об'єм ремонтних робіт і відповідні сумарні приведені затрати. В процесі експлуатації залізничної колії завжди створюється старіння його елементів. Кількість дефектних елементів залізничної колії з достатньою ступеню точності можна визначити з допомогою застосування теорії відновлення [78], тому як вона в найбільшій степені враховує кількість і терміни проведення проміжних ремонтних робіт.

В теорії відновлення прийняті наступні поняття і позначення:

$N(t)$ – кількість дефектних елементів на одиниці довжини залізничної колії в момент часу t при умові, що в момент $t=0$ всі елементи були новими;

N – кількість елементів на одиницю довжини залізничної колії;

$U(t)$ – ймовірність того, що за напрацювання в період t окремо взятий елемент буде дефектним;

γ – частина дефектних елементів, яка має бути замінена;

τ – момент, коли проводиться заміна дефектного елемента.

Якщо дефектний елемент замінюється елементом того самого напруцювання, то це означає, що елемент який вкладається в колію раніше, знаходився під дією навантаження теж в час τ , що і замінює цей елемент [91].

Оператор ремонту при укладанні в колію нових елементів має наступний вигляд (3.3):

$$R_{\tau}^{\gamma} H(t) = \begin{cases} H(t) n_{put} < \tau \\ \gamma * H(\tau) * U(t - \tau) + (1 - \gamma) * H(\tau) + (N - H(\tau)) * (U(t) - U(\tau)) \\ n_{put} \geq \tau \end{cases} \quad (3.3)$$

де $\gamma * H(\tau) * U(t - \tau)$ – вихід елементів (нових) на відріжку часу $[0, t - \tau]$;

$(1 - \gamma) * H(\tau)$ – кількість дефектних елементів, які залишилися в колії;

$(N - H(\tau)) * (U(t) - U(\tau))$ – вихід решти елементів по дефектності на відріжку часу $[t, \tau]$.

Оператор ремонту при укладанні в колію елементів, які раніше знаходилися під дією навантаження той самий час, що і замінює цей елемент, має наступний вигляд:

$$R_{\tau}^{\gamma} H(t) = \begin{cases} H(t) n_{put} < \tau \\ N - (1 - \gamma) * H(\tau) * (U(t) - U(\tau)) + (1 - \gamma) * H(\tau) \\ n_{put} \geq \tau \end{cases} \quad (3.4)$$

де $(1 - \gamma) * H(\tau)$ – кількість дефектних елементів, які залишилися в колії;

$N - (1 - \gamma) * H(\tau) * (U(t) - U(\tau))$ – вихід решти елементів по дефектності на відріжку часу $[t, \tau]$.

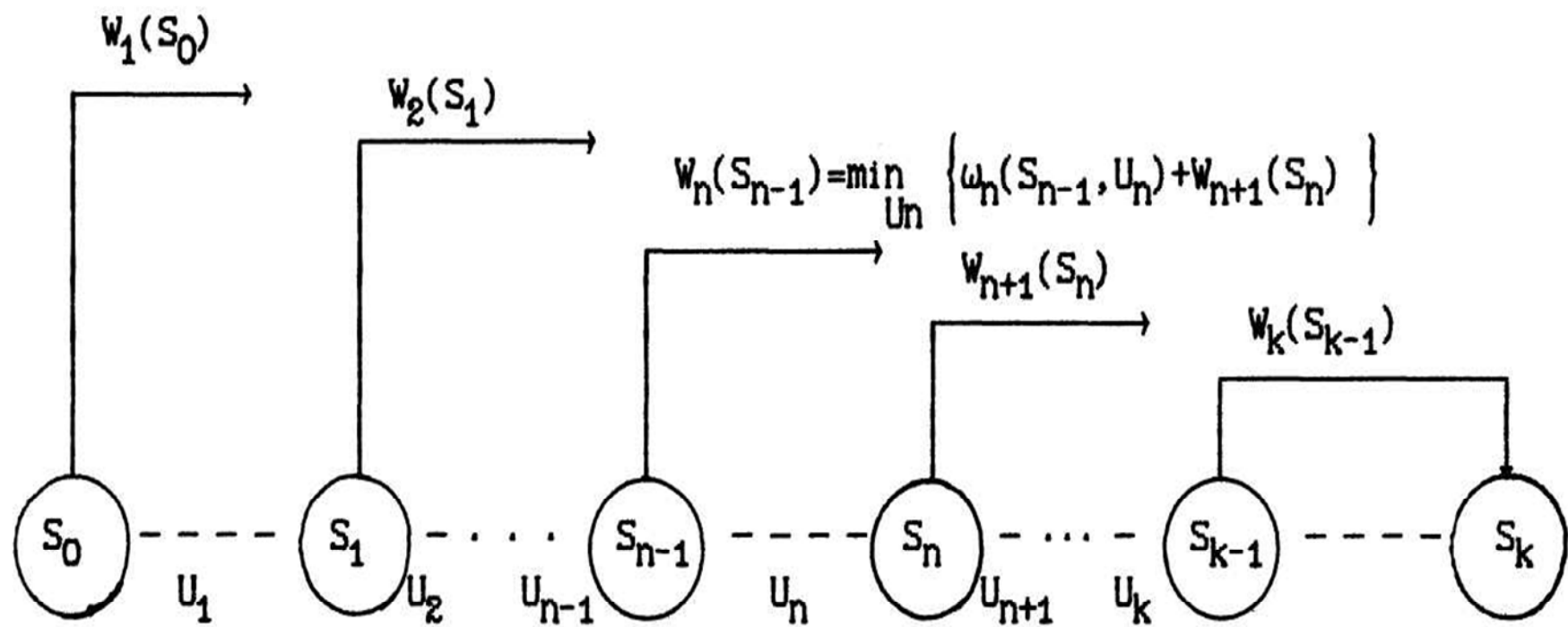


Рисунок 3.3 – Принцип основного функціонального рівняння динамічного програмування

Математичні моделі роботи елементів верхньої будови колії, при якій оператор ремонту відповідає виразу (3.3), в найбільшій ступені відповідають наступні елементи: баластний шар при очищенні і суцільному виправленню колії, скріплення проміжні і стикові, шпали дерев'яні.

При укладанні в колію старопридатних рейок і шпал оператор ремонту відповідає виразу (3.4). Цієї ж моделі відповідає робота баластного шару при частковій виправці колії в плані і профілі. Вказані залежності були використані при отриманні математичної моделі, яка відображає роботу елементів і верхньої будови колії в цілому, а також додаткового опору руху поїздів в залежності від термінів і видів ремонтних робіт, які проводяться.

3.4 Критерії оптимізації

При існуючій системі техніко-економічних показників ефективності заходів, які проводяться в колійному господарстві, критеріями оптимізації міжремонтних термінів і міжремонтних схем можуть бути: вартість затрат на утримання одного кілометра; трудові затрати; затрати матеріалів [79-81].

Затрати на матеріали в визначеній мірі залежать від технічно-обґрунтованих термінів служби елементів верхньої будови колії і при вже складеному дефіциті на переважну більшість з них оптимальний варіант по даному критерію практично не можливо і безперспективно при переході до ринкових відносин. Тому найбільш раціональним критерієм оптимізації в теперішній час буде сумарний економічний ефект [82] з урахуванням додаткових загально транспортних витрат, які залежать від колії.

Сумарний по рокам розрахункового періоду економічний ефект (E_t) визначається по формулі:

$$\mathcal{E} = \sum_{t=t_n}^{t_k} (P_t - 3_t) \cdot \eta_t \quad (3.5)$$

де P_t – вартісна оцінка результатів здійснення заходів варіанту в рік t розрахункового періоду;

Z_t – величина затрат на реалізацію варіанта схеми утримання в році t розрахункового періоду;

t_n, t_k – початковий і кінцевий рік розрахункового періоду;

η_t – коефіцієнт віддалення затрат.

$$\eta_t = \frac{1}{(1 + E_H)^t} \quad (3.6)$$

де E_H – норматив приведення різни в часі затрат і результатів, рівний 0,1 [80].

При равенстві результатів прийняття різноманітних варіантів при виборі оптимального варіанту може використовуватися тільки величина сумарних затрат. Варіант, який має мінімальні сумарні приведені затрати буде економічно найбільш вигідним.

Згідно [81] сумарні затрати розраховуються по формулі:

$$Z = \sum_{t=t_n}^{t_k} Z_t \cdot \eta_t = \sum_{t=t_n}^{t_k} (I_t + K_t) \cdot \eta_t \quad (3.7)$$

де I_t – поточні витрати при прийнятті даного варіанту управління в рік t без врахування амортизаційних відрахувань (експлуатаційні витрати);

K_t – одночасні затрати при прийнятті даного варіанту управління до року t з урахуванням затрат на надання «вікон» і повернення залишкової вартості основних фондів.

Принцип визначення оптимального терміну призначення реконструкції або капітального ремонту відображено у графічному вигляді на рис 3.4.

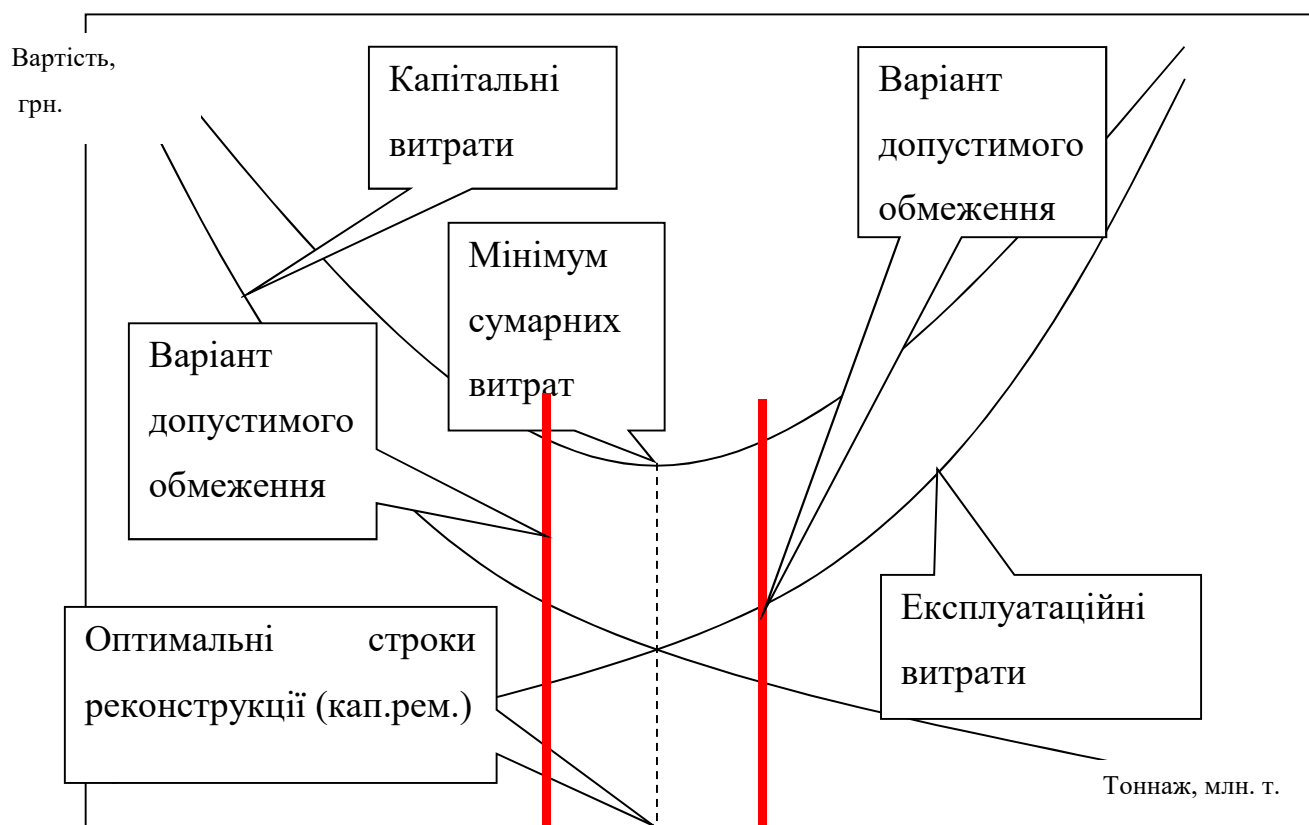


Рисунок 3.4 – Принцип визначення оптимального терміну призначення реконструкції або капітального ремонту

Слід зазначити, мінімум приведених витрат може бути при пропущеному тоннажі, що менше або більше максимального тоннажу, який визначається умовами зносу або іншими критеріями безпечної експлуатації.

Вибір оптимальної схеми утримання залізничної колії виконується для конкретної конструкції колії, яка має визначений термін служби, а різні терміни між капітальними ремонтами колії суттєво впливають на сумарні приведені витрати. Тому необхідно враховувати не одночасні капітальні затрати, а щорічні відрахування на відновлення конструкції R , які залежать як від капітальних затрат, так і від терміну служби конструкції [79] :

$$R = \alpha_p \cdot K ; \quad \alpha_p = \frac{E}{(1 + E_H)^{t_{cs} - 1}} \quad (3.8)$$

Експлуатаційні витрати складаються з наступних складових:

$$И = И_{пр} + И_{зп} + И_p + И_{ш} + И_6 + И_c + И_{oc} \quad (3.9)$$

де $I_{\text{пр}}$ – вартість виконуваних проміжних ремонтів, грн/км;

$I_{\text{зп}}$ – затрати на заробітну плату монтерам колії, зайнятих на поточному утриманні колії з урахуванням надбавок, грн/км;

$I_{\text{р}}$ – затрати на поодинокі заміну рейок й скріплень з урахуванням їх вартості і затрат залізничного транспорту в зв'язку з наданням «вікон» на їх заміну і обмеження швидкості руху поїздів від моменту виявлення дефектів в рейках до їх заміни, грн/км;

$I_{\text{ш}}$ – затрати на поодинокі заміну шпал, грн/км;

$I_{\text{б}}$ – затрати на поповнення баласту, грн/км;

$I_{\text{с}}$ – затрати, пов'язані з подоланням сил опору руху поїздів, які залежать від стану колії, грн/км;

$I_{\text{ос}}$ – затрати, викликані тривалими обмеженнями швидкості руху поїздів при наявності дефектних місць, які виникли в баластному шарі (вихлюпи, просідання, и т.п.), грн/км.

Вартість реконструкції та проміжного ремонтів на стадії техніко-економічних розрахунків можна прийняти згідно [83], а при розрахунках для конкретних умов по даним дистанції колії. При цьому умовно приймається, що вартість ремонту не залежить від попередніх процесів.

Вартість рейок, скріплень, шпал і затрати, які викликані наданням «вікон», визначаються по методиці, наведеної в [84] або [85].

Затрати на заробітну плату монтерам колії залежать від витрат робочої сили на утримання одного кілометра колії. За термін служби верхньої будови колії (період між двома суміжними капітальними ремонтами), вимірюємий, як правило, роками або пропущеним тоннажем, залізнична колія проходить через етапи поступового старіння, пов'язаного з фактором часу, наприклад, гниття шпал, часткове забруднення баластної призми, поступового зносу, зв'язаного з дією рухомого складу. Для забезпечення плавного і безпечного руху поїздів вимагається, щоб залізнична колія безперервно утримувалася в межах встановлених технічних норм і умов [69]. Тому по мірі старіння і зносу верхньої будови колії, а також з зростанням

вантажонапруженості затрати на її утримання збільшуються. Згідно досліджень [86] закономірність зростання затрат має параболічний характер в залежності від пропущеного тоннажу і від кількості і термінів проведення проміжних ремонтів. Однак безпосередньо залежність цього впливу засновувалась на існуючих на той час норм витрат робочої сили.

Річні витрати на заробітну плату визначають по формулі [69,87] :

$$I_{\text{зп}} = H_p * C_T * 12 * k_n \quad (3.10)$$

де H_p – розрахункова норма затрат праці на поточне утримання колії одного кілометра (людино-годин);

C_T – середньомісячна тарифна ставка монтера колії, грн.;

12 – кількість місяців в році;

k_n – коефіцієнт нарахувань на заробітну плату.

Розрахункова норма залежить від табличної норми витрат робочої сили, забезпеченості дистанції колії колійними машинами і визначається по формулі [88]:

$$H_p = H_T * \left(1 + \sum (k_i - 1) \right) \quad (3.11)$$

де H_T – основна норма витрат робочої сили на поточне утримання колії, люд /год.;

k_i – поправочні коефіцієнти до основної норми, які враховують місцеві умови.

Затрати на поодинокую заміну рейок I_p визначаються величиною щорічної кількості заміни рейок γ_p і затратами транспорту, викликані перервами в русі поїздів при заміні дефектних рейок (I_p^o , грн./шт.) :

$$I_p = \gamma_p * C_p + I_p^o, \quad (3.12)$$

де C_p – вартість рейок, грн.

Враховуючи особливу роль роботи рейок в системі «залізнична колія», закономірність поодинокого виходу рейок, яку в своїй роботі отримала О.М.Баль (γ_p , шт./км в рік), більш детально описано в третьому розділі даної роботи.

Затрати транспорту, викликані перервою в русі поїздів, визначаються по методиці, викладеній в [89] :

$$I_p^o = C_{п-ч} * \sum \Pi, \quad (3.13)$$

де $\sum \Pi$ – витрати поїздо-годин в «вікно» для виконання робіт;

$C_{п-ч}$ – вартість 1 год простою поїзда, грн.

Тривалість перерви в русі поїздів складає в середньому 2,5 години для заміни однієї рейки, довжиною 25 м.

Витрати на поодинокую заміну шпал визначаються об'ємом поодиноких відмов. Річні затрати на поодинокую заміну шпал $I_{ш}$ в грн. будуть дорівнювати:

$$I_{ш} = V_{ш} * C_{ш} \quad (3.14)$$

де $C_{ш}$ – вартість залізобетонної шпали по даним дистанції колії;

$V_{ш}$ – витрати шпал.

Затрати на поповнення баласту визначаються виходячи з наступної залежності:

$$I_6 = V_6 * C_6 \quad (3.15)$$

де C_6 – вартість 1 куб. м. баласту, грн./куб.м.;

V_6 – витрати баластних матеріалів при роботах з поточного утримання колії відповідно [78,89] визначаються пропорційно нормі витрат робочої сили, а відповідно при цьому враховується прострочення в виконанні ремонтів колії:

$$V_6 = H_p * N_{рд} * d * m * k_p \quad (3.16)$$

де $H_{рд}$ – число робочих днів на рік;

d – частина робіт по виправленню колії від усіх робіт з поточного утримання колії;

m – витрати баласту в м³/люд-дн (для щебеневого баласту $m = 0,12$);

k_p – коефіцієнт який враховує довжину рейок (при $L=25\text{м}$ $k_p = 0,95$).

Згідно [69] частина затрат на роботи по виправленню колії по рівню від всіх затрат на роботи з поточного утримання колії суттєво залежить від вантажонапруженості.

Вплив конструкції верхньої будови колії і його стан впливає не тільки на витрати робочої сили і матеріалів на поточне утримання колії, але й на величину додаткового опору руху поїздів в частині, яка залежить від колії, і на додаткові

витрати на ремонт ходових частин рухомого складу, які згідно [78,85] визначаються з наступної залежності:

$$I_c = f * W_{\Pi} * \Gamma \quad (3.17)$$

де f – коефіцієнт, який залежить від виду тяги ;

W_{Π} – додатковий питомий опір руху поїздів.

Згідно багаточисленних досліджень, процес зношення в більшості випадків підкорюється лінійній залежності від пропущеного тоннажу.

Відповідно опір, який залежить від зношення стиків можна записати наступною залежністю:

$$W_{\text{изн}} = k * T \quad (3.18)$$

де k – інтенсивність росту опору;

T – пропущений тоннаж, млн. т. брутто.

Опір від зміни модуля пружності колії, викликаного накопиченням залишкових деформацій в баластному шарі, зносом шпал, втрати рівнопружності колії ряд досліджень описуються показовим законом [77,78] :

$$W_{\text{мод}} = A * \exp(B * T) \quad (3.19)$$

Таким чином, підібравши для кожної частини опору відповідну залежність, а також враховуючи вплив проведених ремонтів, підсумковий математичний вираз буде виглядати наступним чином:

$$W = W_p * \{ \exp[\alpha * (T - T_{\text{ш}})] - \exp[\alpha * (T_p - T_{\text{ш}})] + \exp[\beta * (T_p - T_{\text{ш}})] + k * T \} \quad (3.20)$$

де W_p – розрахункове значення частини опору для нової верхньої будови колії;

$\exp$ – основа натурального логарифму;

α – коефіцієнт, який характеризує вплив пропущеного тоннажу на опір, залежний від проміжних ремонтів при їх відсутності;

β – коефіцієнт, який характеризує вплив пропущеного тоннажу на опір, не «знімаємий» комплексно-оздоровчим ремонтом;

T_p – пропущений тоннаж після капітального ремонту до останнього проміжного ремонту;

$T_{\text{ш}}$ – пропущений тоннаж після капітального ремонту до останнього середнього ремонту з очищенням щебеня.

В виразі 3.20 перша складова враховує збільшення опору після останнього капітального ремонту, друга – величину, яка залишилась після ремонту «накопичуваний» опір, третя – величину, яка залежить від ремонтів опору.

Отриманий вираз не враховує вплив осьового навантаження і справедливий для ділянок з середнім осьовим навантаженням 200 кН/вісь.

Випробування, що були проведені М.П. Вериги [92], показали, що опір руху прямо пропорційний навантаженню на колесо. Відповідно з урахуванням впливу осьового навантаження на колесо опір руху слід визначати з наступної залежності:

$$W = \frac{P}{200} W_p * \{ \exp[\alpha * (T - T_{ш})] - \exp[\alpha * (T_p - T_{ш})] + \exp[\beta * (T_p - T_{ш})] + k * T \} \quad (3.21)$$

де P – осьове навантаження, кН.

Затрати через зниження швидкості руху поїздів, викликані тривалими обмеженнями швидкості поїздів при виниканні дефектних місць в баластному шарі (вихлюпи, просідання і т.п.), в решті решт залежать від укомплектованості колійних бригад монтерами колії.

Висновки до розділу 3

Аналіз роботи верхньої будови колії показав, що шлях можна представити як систему, що складається з певної кількості не пов'язаних між собою елементів.

В результаті аналізу існуючих методик оптимізації системи утримання колії розроблена методика, заснована на використанні динамічного програмування та теорії відновлення, що найбільшою мірою враховує стан системи «залізнична колія».

Запропонована методика дозволяє оптимізувати стратегію подальшого утримання колії за її фактичним станом.

Отриману математичну модель додаткового опору руху поїздам, що залежить від стану колії, можна використовувати як при оптимізації колії, так і при визначенні витрат в залежності від фактичного стану верхньої будови колії та при складанні річного плану ремонтних робіт.

РОЗДІЛ 4

ВИКОРИСТАННЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ МЕТОДИКИ ДЛЯ КОНКРЕТНИХ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

4.1 Оптимізація схеми утримання колії для конкретних умов

Для визначення річних обсягів ремонтно-колійних робіт, а відповідно, потреби в матеріальних, трудових й фінансових ресурсах, для правильного планування об'ємів ремонту колії як по окремій залізниці, так й по мережі залізниць в цілому, встановлюються міжремонтні норми.

Тривалість періодів між ремонтами колії (міжремонтні норми) залежить від ряду факторів: вантажонапруженість ділянки, швидкість руху поїздів, осьове навантаження від рухомого складу, вид конструкції колії та інші місцеві експлуатаційні умови ділянки [76].

Міжремонтні норми вимірюються обсягом пропущеного тоннажу (млн. т брутто) або календарним строком служби конструкції верхньої будови колії (роки).

Період між суміжними ремонтами становить міжремонтний (ремонтний) цикл. Тривалість цього циклу дорівнює фактичному строку служби конструкції ВБК на ділянці залізниці.

При призначенні ремонтів колії додатково (окрім міжремонтних норм) враховуються критерії, що характеризують фактичний стан верхньої будови колії на ділянці .

Нормативами [59] визначаються умови призначення ремонтно-колійних робіт для залізничних колій I-VII категорій. Схема, що визначає види ремонтів колії, черговість й терміни їх виконання на ділянці залізниці в межах ремонтного циклу, розглядається як міжремонтна схема.

Міжремонтна схема складається для кожної ділянки залізниці з урахуванням її експлуатаційних умов й виду конструкції верхньої будови колії.

При користуванні нормами періодичності ремонтів необхідно враховувати, що : норми встановлені для певних умов роботи колії; для деяких конструкцій верхньої будови колії норми не встановлені. Тому при користуванні нормами періодичності ремонтів, установленими Положенням, здійснюють їх «прив'язку» до місцевих умов.

Положенням не враховується вплив осьових навантажень на норми міжремонтного тоннажу. Тим часом можуть бути ділянки, де розглядається осьове навантаження 25 тс/вісь.

4.2 Визначення залежності між затратами праці на поточне утримання і видами за термінами проведення ремонтів

Техніко-економічна оцінка ефективності форм організації поточного утримання колії встановлюється на основі аналізу показників, що характеризують розглянуті варіанти. Розрахунковим вимірником є 1 км приведеної довжини колії.

В якості показників приймаємо наступні характеристики:

- технічні, тобто ступінь відповідності варіантів вимогам забезпечення безперебійності і безпеки руху поїздів;
- терміни служби елементів верхньої будови колії в цілому;
- економічні:
- капітальні вкладення;
- експлуатаційні витрати;
- термін окупності;
- витрати праці;
- продуктивність праці;
- рівень механізації робіт;
- ступінь використання основних машин і механізмів на роботах поточного утримання колії.

Кожен з елементів верхньої будови колії, як і вона в цілому, в залежності від конкретних умов має свій строк служби [90]. Наприклад, для колії з дерев'яними шпалами терміном служби верхньої будови колії являється період між двома капітальними ремонтами.

Недоліком діючих норм затрат робочої сили на роботи з поточного утримання залізничної колії являється те, що в них не враховується фактор часу і пропущений тоннаж, а відповідно не враховуються зміни в стані колії, викликані його старінням та зносом. Крім того, це порушує їх зв'язок з нормами періодичності ремонтів колії, в основу яких закладений фактор часу. Тільки через нього може бути встановлений зв'язок затрат праці на поточне утримання з періодичністю ремонтів колії.

Об'єм робіт з поточного утримання колії будь-якої конструкції залежить від вантажонапруженості, тобто від річного об'єму перевезень, який характеризує умови експлуатації колії. Діючими диференційованими нормами така залежність враховується. При цьому затрати праці в людино-роках на поточне утримання 1 км колії визначеної конструкції в даному році можуть бути визначені з формули :

$$N = a + bQ^n \quad (4.1)$$

де a - затрати праці на роботи, не пов'язані з рухом поїздів ;

b - питомі затрати праці, віднесені до одиниці вантажонапруженості, на роботи, викликані рухом поїздів;

Q^n - вантажонапруженість ділянки в даному році, на якій знаходиться колія даної конструкції;

n - показник, який характеризує вплив вантажонапруженості на трудові затрати.

В визначенні затрат по формулі (4.1) відсутній фактор часу, виражений в роках або пропущеному тоннажі за ряд років, і тому затрати праці при незмінній Q будуть постійними на протязі всього терміну служби верхньої будови колії. Крім того, вони можуть бути викладені по різному, в залежності від того, яке значення буде закладено в коефіцієнт b . Якщо коефіцієнтом b характеризувати конструкцію верхньої будови колії і її стан (новий, мало зношений, зношений, сильно зношений),

то задача стає невизначеною, так як стан колії з кожним роком змінюється. В такому випадку, необхідно кожен раз встановлювати, до якого стану колії відноситься коефіцієнт b .

Можна, наприклад, коефіцієнт b віднести до деякого «середнього» стану верхньої будови колії для всього періоду його служби, при цьому будуть мати місце суттєві похибки в визначенні затрат праці на поточне утримання колії в початковий і особливо кінцевий період існування даної конструкції. Звідси слідує, що цим коефіцієнтом можна характеризувати тільки конструкцію колії і не можна характеризувати її стан; він повинен бути єдиним і однаковим для всієї конструкції. Такій умові відповідають лише колії з нових елементів верхньої будови.

Таким чином, вираз 4.1, як не пов'язаний з фактором часу, було б вірно назвати вихідним значенням норми затрат на поточне утримання колії визначеної нової конструкції, яка характеризується коефіцієнтом b_1 і покладеної на ділянці з вантажонапруженістю Q . Причому, вантажонапруженість приймається для року, який є попереднім перед укладанням, або для року укладання верхньої будови.

В процесі експлуатації з першого року до вихідного значення норм затрат праці повинні щорічно додаватись затрати, пов'язані з фактором часу – L і відповідними сумарним об'ємом перевезень – T , а не з подальшими річними значеннями вантажонапруженості – Q . З аналізу робіт по поточному утриманню колії можна встановити наступний вираз для загальних затрат праці на ці роботи з врахуванням часу:

$$N = a + b_1 Q^n + c L^m + d T^p \quad (4.2)$$

де $a + b_1 Q^n$ – вихідне значення норм затрати праці;

c – коефіцієнт, виражений в долях норми, яка приходить на один рік і відноситься до робіт, об'єм яких зростає тільки від часу;

L – кількість років з моменту укладання верхньої будови колії при його капітальному ремонті;

d – коефіцієнт, виражений в долях норми, яка приходить на 1 млн. т бруто пропущеного вантажу і відноситься до робіт, об'єм яких зростає від пропущеного тоннажу;

T – тоннаж в млн т бруто, пропущений по колії з моменту його капітального ремонту. Цю величину можна виразити і через роки:

$$T = Q_{cp} L;$$

де Q_{cp} – середня вантажонапруженість за L років ;

m і p – показники, які визначають характер впливу часу L і пропущеного тоннажу T на трудові затрати.

Якщо вирази 4.1 і 4.2 представити двома кривими, тоді необхідну величину затрат праці для виконання робіт з поточного утримання 1 км колії на черговий рік можна представити в наступному вигляді :

$$H_p = a_1 + b_1 Q + \Delta_3 L_{np} + \Delta_2 T_c / Q + \Delta_1 T \quad (4.3)$$

де a_1 – затрати праці на роботи, не пов'язані з рухом поїздів;

b_1 – коефіцієнт питомі затрати праці, віднесені до одиниці вантажонапруженості, на роботи, викликані рухом поїздів;

Q - вантажонапруженість ділянки в даному році, на якому лежить колія даної конструкції;

L_{np} – кількість років з моменту укладання верхньої будови колії при його капітальному ремонті;

T_c – тоннаж після ремонту з очищенням баластної призми (середнього, капітального або модернізації);

T_n – тоннаж після останнього виправлення колії.

В послідовних розрахунках будемо використовувати вираз 4.3, який дозволяє встановити зв'язок затрат праці на поточне утримання колії з видами і термінами ремонтів колії, які проводяться.

Для подальшого аналізу необхідно дати визначення наступним поняттям:

- інтервал, який виражений в роках або пропущеному тоннажі, від капітального до наступного капітального ремонту колії називається, ремонтним циклом;
- встановлений в ремонтному циклі порядок виконання інших видів ремонту – середнього і комплексно-оздоровчого називається ремонтною схемою;
- сукупність всіх елементів верхньої будови колії в такому виді, в якому вони укладені в колію на даній ділянці, називається варіантом конструкції верхньої будови колії;
- зниження затрат праці на поточне утримання, до якого приводить виконання того чи іншого виду ремонту (на наступний рік після його проведення) називається ефектом ремонту в поточному утриманні колії.

Одним із важливих варіантів сукупності затрат праці на поточне утримання колії з видами і термінами його ремонтів на протязі ремонтного циклу схематично показаний на рисунку 4.1, де $L_c = 10$ рокам, а $T_u = 500$ млн т бруто при постійній вантажнапруженості $Q = 50$ млн ткм бруто на 1 км в рік.

Якщо в ремонтному циклі відсутні проміжні ремонти колії, то при лінійній залежності затрат праці по поточне утримання, починається з ординати om . Рівної вихідному значенню норми $(a_1 + b_1 Q)$ будуть зростати на величину $(c + dQ_{cp})$ пропорційно кількості років. Цьому відповідає лінія mn , по якій розташовуються стовпчики 1-10, які дорівнюють ординатам затрат праці, в відповідні роки при умові, що всередині кожного року контингент робочої сили не змінюється і до кінця року він повинен бути рівним ординаті, яка пересікається з лінією mn . Очевидно, що різниця в висоті сусідніх стовпчиків дорівнює річному приросту $(c + dQ_{cp})$, а максимальні затрати будуть в точці n , тобто на 10 – му році експлуатації колії.

Припустимо, що в ремонтному циклі встановлена ремонтна схема показана на рисунку 4.1 : KOP_1 перший комплексно – оздоровчий ремонт через 150 млн т бруто, або на 3 – й рік експлуатації, C – середній ремонт через 250 млн т бруто,

або на 5 – й рік експлуатації, KOP_2 – другий комплексно – оздоровчий ремонт через 400 млн т бруто, або на 8 – й рік експлуатації; K – капітальний ремонт, яким закінчується ремонтний цикл, через 500 млн т бруто, або на 10 – й рік експлуатації.

Виконання проміжного ремонту знижує затрати праці з поточного утримання колії на величину ефекту цього виду ремонту, після чого знову відбувається зростання затрат праці також по лінійній залежності на величину річного приросту пропорційно числу років.

Для визначення ефекту ремонту в поточному ремонті необхідно по характеру і відповідному розділенню робіт, які складають загальний річний приріст затрат праці $\Delta = (c + dQ_{cp})$, встановити долі, які приходяться на роботи по рейкам і скріпленням (Δ_p), по шпалам ($\Delta_{ш}$) і по баласту (Δ_b).

Тоді при відсутності проміжних ремонтів ординати затрат праці при поточному утриманні за рахунок рейок і скріплень будуть знаходитися між лініями mf і mn .

При наявності проміжних ремонтів, знаючи їх характеристику, а саме що комплексно – оздоровчий ремонт являється в основному виправним, а середній шпально – баластним, і маючи на увазі що комплексно – оздоровчим ремонтом знімаються з баластного шару всі дефекти, від яких виникло підвищення затрат праці при поточному утриманні колії до моменту виконання цього ремонту, а середнім ремонтом знімаються всі дефекти з баластного шару і зі шпал, при схемі показаній на рисунку 4.1 ремонтній схемі ефект від першого комплексно – оздоровчого ремонту можна визначити відрізком pr , від середнього відрізком st і від другого комплексно – оздоровчого ремонту відрізком uv .

В останньому випадку відрізок повинен закінчуватися на лінії tg , по якій буде йти збільшення ординат затрат праці за рахунок шпал після середнього ремонту. Зміна ж загальних затрат праці на поточне утримання колії при наявності проміжних ремонтів буде відбуватися по лініям mp, rs, tu і vh .

Таким чином, звідси слідує, що якщо в затратах праці на поточне утримання колії враховується фактор часу і відповідний йому об'єм перевезень (пропущений по колії тоннаж), то встановлюється зв'язок з ремонтами колії, з яких очевидна роль їх своєчасного виконання в зниженні цих затрат з середньорічним N_g при відсутності ремонтів до середньорічного N_g' при наявності ремонтів у відповідності з ремонтною схемою.

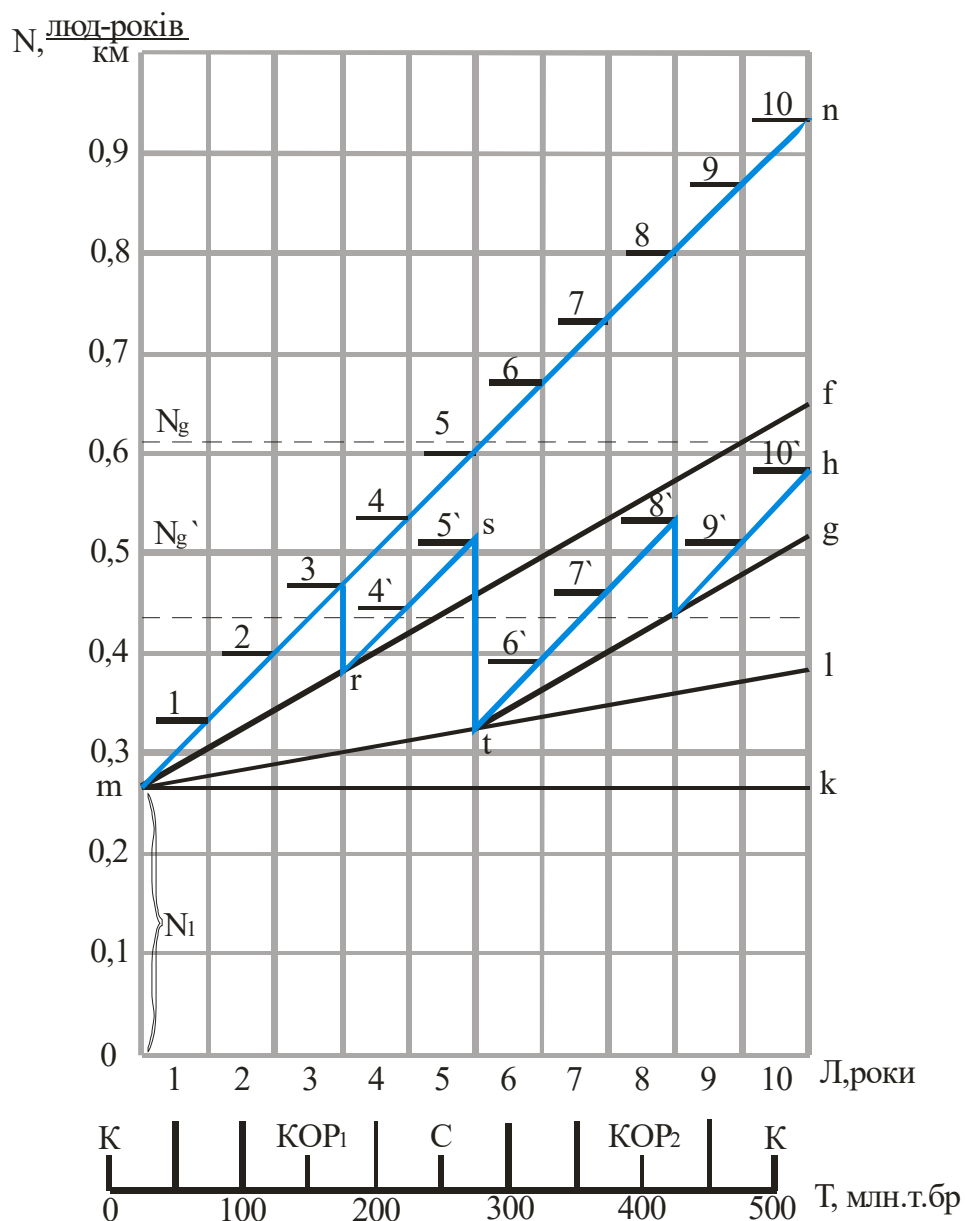


Рисунок 4.1 – Залежність витрат праці на поточне утримання колії при відповідних видах та термінах проведення ремонтів

За результатами апроксимації даних наведених у [90] для безстикової колії з рейками типу Р65 визначено, що в рівнянні (4.3):

$$a_1 = 0,2088, b_1 = 0,0009$$

$$\Delta = 0,0018 \cdot Q - 0,0214$$

$$\Delta_1 = \Delta \cdot 0,07 / (6 \cdot (0,018 \cdot 25 - 0,124))$$

$$\Delta_3 = (\Delta \cdot 9 / (6 \cdot (0,018 \cdot 25 - 0,124) - 0,07 - 0,19) / (9 \cdot (0,0018 \cdot 25 - 0,0214)))$$

$$\Delta_2 = \Delta - \Delta_1 - \Delta_3.$$

Таким чином, рівняння 4.3 визначає залежність витрат праці на утримання колії з урахуванням вантажонапруженості, строків та видів виконаних ремонтів колії і може бути використано при визначенні оптимальних міжремонтних схем.

Тоді при відсутності проміжних ремонтів ординати затрат праці при поточному утриманні за рахунок рейок і скріплень будуть знаходитися між лініями mk і ml (рис 4.1), за рахунок шпал – між лініями ml і mf і за рахунок баласту – між лініями mf і mn .

При наявності проміжних ремонтів, знаючи їх характеристику, а саме, що комплексно – оздоровчий ремонт являється в основному баластним, а середній – шпально – баластним, і маючи на увазі, що комплексно - оздоровчим ремонтом знімаються з баластного шару всі дефекти, від яких виникло підвищення затрат праці при поточному утриманні колії до моменту виконання цього ремонту, а середнім ремонтом знімаються всі дефекти з баластного шару і з шпал, при показаній на рис. 4.1 ремонтній схемі ефект від першого комплексно оздоровчого ремонту можна визначити відрізком pr , від середнього відрізком st і від другого комплексно – оздоровчого ремонту відрізком uv .

В останньому випадку відрізок повинен закінчуватися на лінії tg , по якій буде йти збільшення ординат затрат праці за рахунок шпал після середнього ремонту. Зміна ж загальних затрат праці на поточне утримання колії при наявності проміжних ремонтів буде відбуватися по лініям mr , rs , tu і vh , і величина річних затрат при цьому буде відповідати ординатам стовпиків 1-3, 4' - 10.

Таким чином, звідси слідує, що якщо в затратах праці на поточне утримання колії враховувати фактор часу і відповідний йому об'єм перевезень (пропускаємий по колії тоннаж), то встановлюється зв'язок з ремонтами колії, з яких очевидна роль їх своєчасного виконання в зниженні цих затрат з середньо річної N_g при відсутності ремонтів до середньорічної N_g при наявності ремонтів в відповідності з ремонтною схемою.

4.3 Варіантні розрахунки визначення термінів проведення основних планово-попереджувальних ремонтів

За допомогою розробленого програмного забезпечення були виконані багатоваріантні розрахунки термінів проведення основних планово-попереджувальних ремонтів залізничної колії.

При цьому прийнятті наступні вихідні дані:

Вантажонапруженість, млн. т/км/км за рік.....	20...150
Приріст вантажонапруженості.....	0.0
Середня маса поїзда, т.....	3000
Середнє осьове навантаження, кН.....	200
Середній радіус, м.....	1200
Середня заробітна платня, грн.	8500
Нормативний коефіцієнт капітальних вкладень.....	0.1
розрахункове значення долі опору, W_r	0.137
Середня епюра шпал.....	1840
Вартість КОР, грн.....	46000
Вартість середнього ремонту, грн.....	214000
Вартість капітального ремонту/ реконструкції, грн.....	703000/2875000
Середній термін служби шпал, рік.....	45
Вартість рейки, грн.....	15750
Вартість шпали, грн.	450

Вартість м ³ баласту, грн.....	190
Початковий процент забрудненості баласту	5
Інтенсивність забрудненості баласту	0.23
Встановлена швидкість, км/год	140
Середня вартість однієї тони вантажу, грн.....	800

Результати багатоваріантних розрахунків наведені в таблицях 4.1 – 4.5.

Таблиця 4.1 – Розрахунки міжремонтних схем для $\Gamma=50$ млн т км/км за рік

Період між реконструкціями, рік	Міжремонтна схема*	Приведена річна вартість утримання, тис. грн.
1	Р-Р	2644
2	Р-П-Р	1279
3	Р-П-П-Р	827
4	Р-П-П-П-Р	605
5	Р-П-П-П-П-Р	473
6	Р-П-П-П-П-П-Р	388
7	Р -П-П-П-КОР-П-П- Р	328
8	Р -П-П-П- КОР -П-П-П- Р	283
9	Р -П-П-П- КОР -П-П-П-П- Р	250
10	Р -П-П-П-П-КОР -П-П-П-П- Р	227
11	Р -П-П-П- КОР -П-П-П-С-П-П- Р	212
12	Р -П-П-П- КОР -П-П-П-С-П-П-П- Р	194
13	Р -П-П-П- КОР -П-П-П-П-С-П-П-П- Р	179
16	Р-П-П-П-КОР-П-П-П-П-С-П-П-П-КОР-П-П-Р	149

Примітка – Літерами позначено:

Р-реконструкція, П- поточне утримання колії, С–середній ремонт, КОР – комплексно-оздоровчий ремонт, К- капітальний ремонт

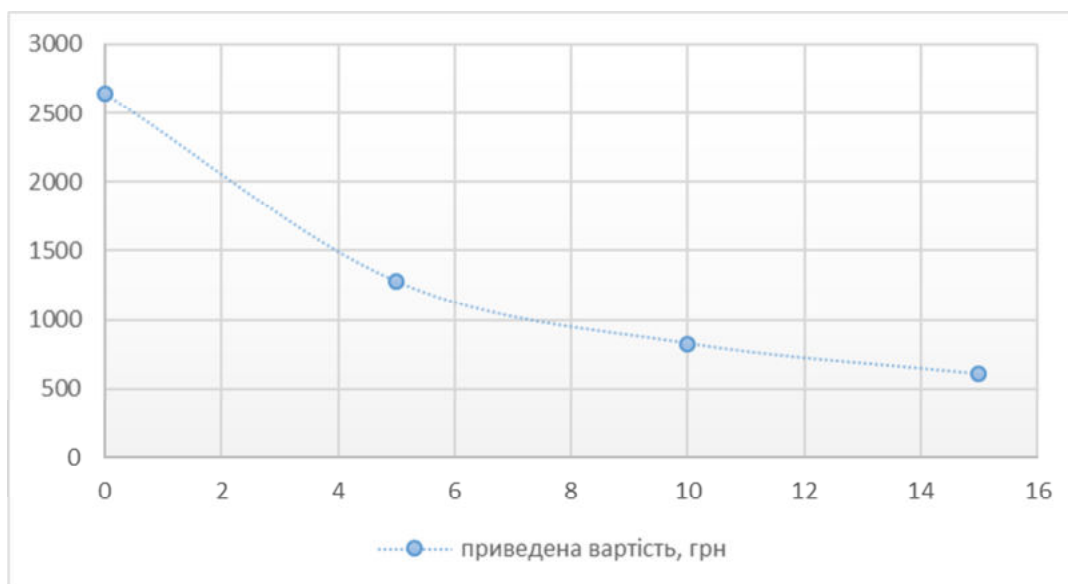


Рисунок 4.2 – Приведена вартість при $\Gamma = 50$ млн т·км/км за рік

Таблиця 4.2 – Розрахунки міжремонтних схем для $\Gamma=100$ млн т·км/км за рік

Період між реконструкціями, рік	Міжремонтна схема	Приведена річна вартість утримання, тис. грн.
1	Р-Р	7983
2	Р-П-Р	3906
3	Р-П-П-Р	2586
4	Р-П-П-П-Р	1938
5	Р-П-П-П-П-Р	1596
6	Р-П-П-П-П-П-Р	1380
7	Р-П-П-П-КОР-П-П-Р	1206
8	Р-П-П-П-КОР-П-П-П-Р	1083
9	Р-П-П-П-КОР-П-П-П-П-Р	1011
10	Р-П-П-П-П-КОР-П-П-П-П-Р	951
11	Р-П-П-П-КОР-П-П-П-С-П-П-Р	894
12	Р-П-П-П-КОР-П-П-П-С-П-П-П-Р	849
13	Р-П-П-П-КОР-П-П-П-П-С-П-П-П-Р	825
14	Р-П-П-П-КОР-П-П-П-П-С-П-П-П-В-П-П-Р	798

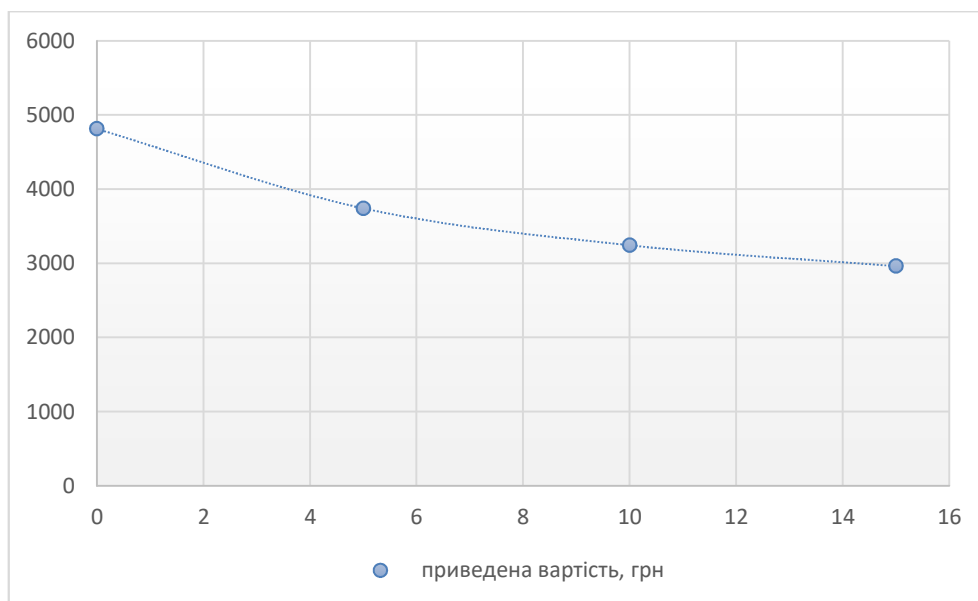


Рисунок 4.3 – Приведена вартість при $\Gamma = 100$ млн т·км/км за рік

Таблиця 4.3 – Розрахунки міжремонтних схем для $\Gamma=150$ млн т·км/км за рік

Період між реконструкціями, рік	Міжремонтна схема	Приведена річна вартість утримання, тис. грн..
1	Р-Р	7983
2	Р-П-Р	4026
3	Р-П-П-Р	2736
4	Р-П-П-П-Р	2211
5	Р-П-П-П-П-Р	1839
6	Р-П-П-П-П-П-Р	1614
7	Р-П-П-П-КОР-П-П-Р	1506
8	Р-П-П-П-КОР-П-П-П-Р	1386
9	Р-П-П-П-КОР-П-П-П-П-Р	1299
10	Р-П-П-П-П-КОР-П-П-П-П-Р	1263
11	Р-П-П-П-КОР-П-П-П-С-П-П-Р	1206
12	Р-П-П-П-КОР-П-П-П-С-П-П-П-Р	1164
13	Р-П-П-П-КОР-П-П-П-П-С-П-П-П-Р	1152

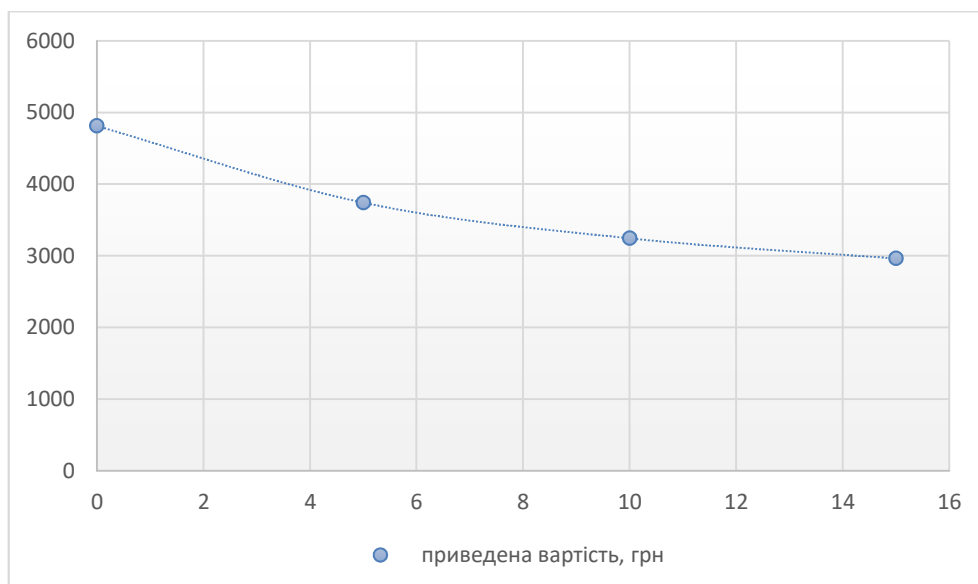


Рисунок 4.4 – Приведена вартість при $\Gamma = 150$ млн т·км/км за рік

Таблиця 4.4 – Розрахунки міжремонтних схем для $\Gamma=300$ млн т·км/км за рік

Період між реконструкціями, рік	Міжремонтна схема	Приведена річна вартість утримання, тис. грн..
2	P-C- P	4812
3	P -C-C- P	3741
4	P -C-C-C- P	3243
5	P -C-C-C-C- P	2961
6	P -C-C-C-C-C- P	2793
7	P -C-C-C-C-C-C- P	2691
8	P -C-C-C-C-C-C-C- P	2628
9	P -C-C-C-C-C-C-C-C- P	2595
10	P -C-C-C-C-C-C-C-C-C- P	2583
11	P -C-C-C-C-C-C-C-C-C-C- P	2586
12	P -C-C-C-C-C-C-C-C-C-C-C- P	2604

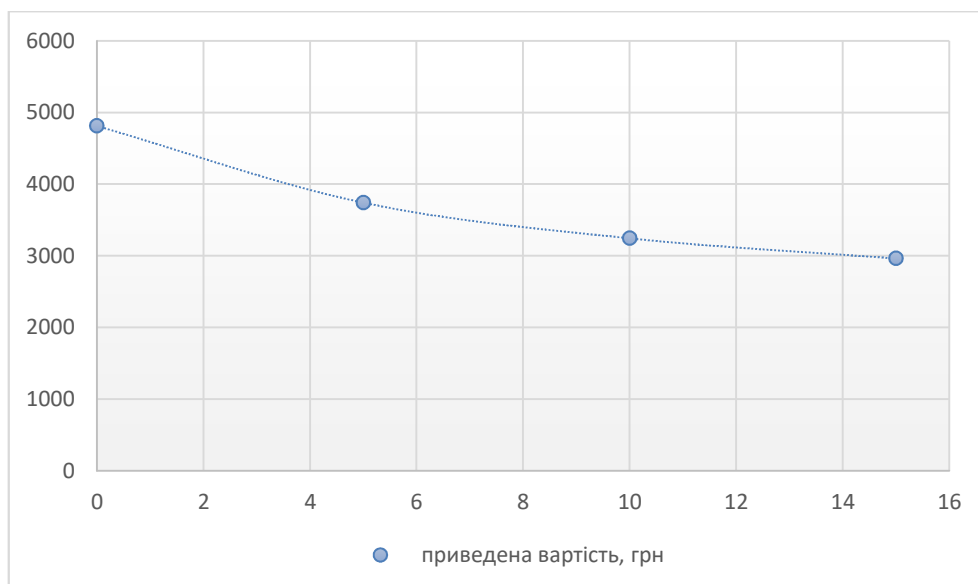


Рисунок 4.4 – Приведена вартість при $\Gamma = 300$ млн т·км/км за рік

Аналіз розрахунків показав, що сумарні приведені витрати в межах реального терміну служби мають мінімум тільки для умовної ділянки з вантажонапруженістю 300 млн т·км/км рік при пропуску 3 млрд. т. вантажу. (див. табл. 4.4 та рис. 4.5).

Для ділянок колії з вантажонапруженістю до 150 млн т·км/км за рік приведені витрати в межах терміну служби, що визначається зносом рейок не досягає мінімуму. Однак ці витрати залежать від міжремонтної схеми.

Комплексно-оздоровчий ремонт доцільно призначати через 150-200 млн.т, а середній через 400-450 млн. т після реконструкції або середнього ремонту.

Висновки до розділу 4

Використовуючи розроблену методику та отримані залежностей відмов елементів залізничної колії, за допомогою розробленого програмного забезпечення розраховані оптимальні міжремонтні норм для усереднених умов експлуатації.

Аналіз розрахунків показав, що для ділянок колії з вантажонапруженістю до 150 млн т·км/км за рік приведені витрати в межах терміну служби, що визначається

зносом рейок не досягає мінімуму. Однак ці витрати залежать від міжремонтної схеми.

Комплексно-оздоровчий ремонт доцільно призначати через 150-200 млн.т, а середній через 400-450 млн. т після модернізації, або середнього ремонту.

Запропоновані норми можуть використовуватися для планування обсягу робіт в межах залізниць або їх структурних підрозділах. Раціональні норми періодичності ремонтів для конкретних ділянок та умов експлуатації можуть відрізнятися від усереднених значень.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі на основі результатів теоретичних і експериментальних досліджень вирішено наукову задачу визначення раціональних міжремонтних термінів для ділянок з підвищеним впливом рухомого складу на колію, яка є важливою та актуальною.

Висновки, що узагальнюють отримані результати, полягають у наступному:

1. Аналіз наукових публікацій, проведений у першому розділі дисертації, дозволив зробити висновок про те, що експлуатація залізничної колії в сучасних умовах відбувається в умовах дефіциту матеріально-технічних ресурсів і робочої сили. В таких умовах стоїть питання про підвищення термінів надійної роботи колії та скорочення матеріальних і трудових витрат. Одним з важливих напрямків у вирішенні цього питання є наукове обґрунтування термінів проведення ремонтних робіт планування ремонтів з урахуванням вартісних витрат та дотримання безпеки руху поїздів.

2. Виконані експериментальні дослідження впливу сучасного та перспективного рухомого складу з високими осьовими навантаженнями показали, що характеристики напружено-деформованого стану верхньої будови колії досліджуваного типу не перевищують допустимих величин.

За результатами експериментальних випробувань дії на колію (ділянка ПЧ Мелітополь, Придніпровської залізниці з відступами (перекіс) 3 ступеня) 5-ти вагонів з осьовим навантаженням до 25 тс/вісь, які були включені до складу вантажного поїзда (56 вагонів, вантаж – руда), в якому решта вагонів мали осьове навантаження до 23,5 тс/вісь, виявлено:

– середні вертикальні навантаження, та відповідно середні вертикальні деформації, під вагонами з осьовим навантаженням до 25 тс/вісь більше ніж під вагонами з осьовим навантаженням до 23,5 тс/вісь на 8 відсотків.

– максимальні вертикальні навантаження, що спостерігалися, під вагонами з осьовим навантаженням 25 тс/вісь перевищували середні навантаження на 10,0 тс, а під вагонами з осьовим навантаженням до 23,5 тс/вісь перевищували середні

значення на 12,8 тс. За абсолютними значеннями максимальні вертикальні навантаження спостерігалися під вагонами з осьовим навантаженням до 23,5 тс/вісь та досягали 35,2 тс/вісь.

–середні горизонтальні сили, що діють на рейки від коліс вагонів з осьовим навантаженням до 25 тс/вісь дорівнювали 2,99 тс, а від коліс вагонів з осьовим навантаженням до 23,5 тс/вісь – 2,86 тс.

– максимальні горизонтальні сили дії на колію, що спостерігалися, від коліс вагонів з осьовим навантаженням до 25 тс/вісь дорівнювали 4,7 тс, а від коліс вагонів з осьовим навантаженням до 23,5 тс/вісь 5,2 тс.

За результатами статистичних досліджень отримані середньоквадратичні відхилення геометричних показників колії, що дозволяють оцінювати стан колії та планувати виконання колійних робіт, у тому числі й ремонтів колії з більшою ефективністю, ніж за чинними нормами. Перед проведенням ремонтів і після них доцільно було б проводити аналіз середньоквадратичні відхилення геометричних показників колії і надалі планувати ремонти колії згідно з цією методикою відповідно до фактичного стану колії. Для отримання середньоквадратичних відхилень у прямих, кругових і перехідних кривих базове значення для визначення відхилень може бути знайдене апроксимацією фактичних значень поліномом другого порядку.

Лідируючу групу відмов рейок становлять дефекти контактно-втомного та втомного характеру. Вдосконалена ймовірнісна модель потоку відмов рейок типу Р65, за допомогою якої можна прогнозувати кількість відмов рейок залежно від основних експлуатаційних факторів. Запропонована модель відмов рейок може бути використана при оптимізації системи утримання колії, планування ремонтів з урахуванням фактичного стану та визначення термінів дефектоскопіювання рейок.

3. Запропонована методика оптимізації схеми утримання колії дозволяє оптимізувати не тільки міжремонтну схему, але й терміни між капітальними ремонтами, а також визначити оптимальну стратегію подальшого утримання колії при визначеному його стані.

Отриману математичну модель додаткового опору руху поїздам, яка залежить від стану колії, можна використовувати як при оптимізації схеми утримання колії, так і визначені витрат, які залежать від фактичного стану верхньої будови колії при складанні річного плану ремонтних робіт. В основу моделі покладені положення теорії відновлення.

Запропоновано методику оптимізації схеми утримання колії, на основі використання динамічного програмування, математичних моделей, що враховують стан «залізнична колія». Дана методика дозволяє оптимізувати не тільки міжремонтну схему, терміни між реконструкцією, а також визначати оптимальну стратегію подальшого утримання колії щодо її стану.

4. Вдосконалено математичну модель витрат праці на поточне утримання колії в залежності від вантажонапруженості, пропущеного тоннажу, видів та строків проведення ремонтів. Отримано математичні залежності, які будуть використовуватися при розрахунках оптимальних міжремонтних схем.

Аналіз розрахунків показав, що сумарні приведені витрати в межах реального терміну служби мають мінімум тільки для умовної ділянки з вантажонапруженістю 300 млн ткм/км рік при пропуску 3 млрд. т. вантажу.

Для ділянок колії з вантажонапруженістю до 150 млн ткм/км за рік приведені витрати в межах терміну служби, що визначається зносом рейок не досягає мінімуму. Однак ці витрати залежать від міжремонтної схеми.

Вдосконалено алгоритми та методику щодо визначення оптимальної стратегії утримання залізничної колії та планування проведення реконструкції в межах дороги з урахуванням фактичного стану при обмежених матеріальних ресурсах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Patlasov O. The Intensity of Rail Failure Flow [Electronic resource] / Oleksandr Patlasov, Yelyzaveta Fedorenko // MATEC Web of Conferences. – 2019. – Vol. 294 : 2nd International Scientific and Practical Conference «Energy-Optimal Technologies, Logistic and Safety on Transport» (EOT-2019). – P. 1–5.
DOI: <http://doi.org/10.1051/matecconf/201929403020>
2. Патласов О. М. Вплив вагонів з осьовим навантаженням 25 тс на стан залізничної колії / О.М. Патласов, Є.М. Федоренко// Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. 2019. – No. 3(81). – С. 87-89.
DOI: <http://doi.org/10.1051/10.15802/stp2019/171297>.
3. Patlasov O., Fedorenko Y., Shulha D. (2021). Development of methods to increase the efficiency of railway maintenance. ScienceRise, (2), 11-22.
DOI: <https://doi.org/10.21303/2313-8416.2021.001816>
4. Патласов О. М., Федоренко Є. М. Допустимі значення динамічної дії рухомого складу на залізничну колію в разі підвищення осьового навантаження. Наука та прогрес транспорту. 2021. № 3 (93). С. 15–23. DOI: <http://doi.org/10.15802/stp2021/242048>.
5. Даренський О.М., Бугаєць Н.В., Вітольберг В.Г., Потапов Д.О., Саяпін О.С., Талавіра Г.М. Експлуатація залізничних колій: Навчальний посібник. – Харків: УкрДАЗТ, 2009. – 114 с.
6. Машкін О. М. Залізниці, залізничні шляхи на українських територіях в 19 – 20 ст. // Енциклопедія історії України: у 10 т. / редкол.: В. А. Смолій (голова) та ін. ; Інститут історії України НАН України. – К. : Наук. думка, 2005 – 672 с.
7. Шеронова Т.Н. Совершенствование системы технического обслуживания пути с целью увеличения межремонтного ресурса. Автореферат диссертации. Москва, 2008. – 24 с.

8. Пикапов А. С. Повышение эффективности реконструкции железнодорожного пути за счет применения современных технологий Автореферат диссертации на соискание ученой степени к.т.н. Новосибирск, 2013. – 24 с.
9. Управління колійним господарством залізниць: Підручник / В.М. Астахов та ін. – Харків: УкрДУЗТ, 2015. – 210 с., рис. 21, табл. 49. ISBN 978-617-654-030-4
10. Загальні відомості про залізничний транспорт України. [Електронний ресурс] – https://otherreferats.allbest.ru/transport/00183914_0.html
11. Положення про систему ведення колійного господарства на залізницях України: ЦП-0237 : затв. наказом Державної адміністрації залізничного транспорту України від 22.12.2010 № 807-Ц / Е.І. Даніленко, М.І.Карпов, В.О. Яковлев та ін. – К.:ТОВ «НВП Поліграфсервіс», 2011. – 96 с.
12. Янин В.М. Исследование оптимального распределения ремонтов пути в межремонтный период в связи с повышением скоростей движения грузовых поездов. Автореферат дис. на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Л: ЛИИЖТ, 1978. – 28 с.
13. Певзнер В.О., Малинский С.В. Принципиальные возможности совершенствования методов оценки состояния железнодорожного пути // Транспорт. Управление Техника Наука – ВИНТИ А.Н.СССР-М. –1991 – №6 – С.6–15.
14. Коваленко, Н. И. Организация участковой системы / Н. И. Коваленко, Х. Р. Аймалетдинов // Путь и путевое хоз-во. –2008. - № 12. – С. 22-23 .
15. Поляков Н.М. Оценка интенсивности расстройств пути в условиях эксплуатации Приволжской железной дороги// Современные проблемы совершенствования работы железнодорожного транспорта: Труды РГОТУПС. – М. –2000 г. – с.184 – 185
16. Рыбкин В.В. Оптимизация системы ведения путевого хозяйства в новых условиях эксплуатации железных дорог Украины. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. Днепропетровск. 1999 г. – 36 с.

- 17.Ермаков В.М. Инновационные технологии в путевом хозяйстве // Путь и путевое хозяйство, 2012 – № 12–2 – 5 с.
- 18.Мишин В.В. Совершенствовать планирование ремонта пути // Путь и путевое хозяйство №7, 2007.6 – 8 с.
- 19.Филлипов В.М. Управление состоянием технических средств. – Железнодорожный транспорт, 1986, – № 10, с. 40–41.
- 20.Филиппов В.М. Верхнее строение пути отдельного железнодорожного направления как сложная техническая система. Повышение надежности и эффективности работы железнодорожного пути на грузонапряженных участках. Тр., НИИЖТ. Новосибирск, 1985 г. с. 77– 80.
- 21.Филиппов В.М. К методике определения аналитической зависимости остаточных деформаций пути от срока службы от срока службы. Вопросы пути и путевого хозяйства. Тр. МИИТа. Вып. 646. – М., 1979, с. 112 – 117
- 22.Ильяшенко А.А. К вопросу о периодичности ремонтов железнодорожного пути на участках с высокой грузонапряженностью.- Куйбышев, 1984. – 29 с. – Деп. В ЦНИИТЭИ МПС. № 2498жд – 84. Деп. 30.01.84.
- 23.Ильяшенко А.А. Осевые нагрузки и их связь с осадками железнодорожного пути // Вопросы взаимодействия пути и подвижного состава: Межвуз. Сб.начн.тр. - Днепропетровск, 1989. – С.47 – 52
- 24.Коваленко Н.И. Влияние продолжительности межремонтного периода на структуру дефектов в элементах пути на линиях с высокой грузонапряженностью. – Куйбышев, 1985.
- 25.Шахунянц Г.М. Железнодорожный путь. Издание третье переработанное и дополненное. – Учебник для студентов и аспирантов вузов железнодорожного транспорта. – Москва: Транспорт, 1987. – 479 с.
- 26.Каличева Н.Є. Особливості інноваційного розвитку колійного господарства залізничного транспорту України / Н.Є. Каличева, С.М. Тихонравов Я.Б. // Вісник економіки транспорту і промисловості: збірник наукових праць. – Харків, УкрДУЗТ. – 2016. – 68-72 с.

27. Крейнис З. Л. Техническое обслуживание и ремонт железнодорожного пути [Электронный ресурс] : [учебник] / Н. Е. Селезнева, З. Л. Крейнис . – М. : ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2012 – 569 с. Режим доступа: <https://rucont.ru/efd/200021>
28. Прохоров В.М. Влияние интенсивности расстройство пути на его текущее содержание /Железнодорожный транспорт в современных условиях/ Сб.науч.тр. ВНИИЖТ – М.: Интекст, 2000. – 183 с.
29. Трукунов А.Г. Причины нарушения безопасности движения поездов в путевом хозяйстве и мероприятия по их устранению./Труды научно-практической конференции «Безопасность движения поездов». – М.: МИИТ, 2002 г.
30. Иванчина О.В. Техничко-экономическая оценка продолжительности ремонтно-путевых работ// Бюллетень транспортной информации. – 2006. – №10. С 18 – 20
31. Коларж С.А. Создание системы мониторинга технического состояния горных и путевых машин/ С.А. Коларж, А.А. Игумнов // Наука, образование кадры: материалы конференции в рамках V Международного форума «Транспорт Сибири». – Новосибирск: СГУПС, 2016. – С.10 – 13.
32. Кузнецов В.В. Исследование способов повышения надежности пути в зоне рельсовых стыков при повышенных осевых нагрузках, Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук, Москва, 2001
33. Сеньковский А.А. Интенсивность накопления деформаций и совершенствование системы диагностики железнодорожного пути, Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук, Москва, 2000
34. Карпущенко Н.И. Тарнапольский Г.И. Надежность железнодорожного пути/Уч пос.//Новосибирск:НИИЖТ. –1989. –109 с.
35. Экономика путевого хозяйства: Учебник для вузов ж.д. трансп. / В.Я. Шульга, В.И. Ангеленко, А.А. Комаров и др. Под ред. В.Я. Шульги. – М: Транспорт, 1988. – 303 с.
36. Проектирование организации и планирование путевого хозяйства. Н.П. Кондаков, В.Я. Шульга, В.Н. Лященко.-М.:Транспорт. – 1962. – 268 с.

- 37.Рибкін, В. В. Поодинокий вихід рейок - важливий фактор для прогнозування строку ремонту колії / В. В. Рибкін, М. І. Уманов, О. М. Баль // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2007. – Вип. 18. – С. 62–70.
DOI:<http://doi.org/10.15802/stp2007/17443>
- 38.Блажко Л.С. Автореферат Технико-технологическое обоснование усиления конструкции пути на участках обращения подвижного состава с осевыми нагрузками до 300 кН. Автореферат диссертации, Санк-Петербург, 2003.
- 39.Каменский В.Б. Направление совершенствования системы ведения путевого хозяйства. Москва ИКЦ «Академкнига» 2006 г. С.9 – 13.
- 40.Рибкін В. В. Історичний аналіз теоретичних та експериментальних досліджень динаміки взаємодії колії, стрілочних переводів та рухомого складу / В. В. Рибкін, П. В. Панченко, С. О. Токарев // Збірник наукових праць ДонІЗТ. – Донецьк, 2012. – Вип. 31 – С. 277–288.
- 41.Вплив фізичних та геометричних характеристик залізничної колії на її напружено-деформований стан : авт. дис. к. т. н. : 05.22.06 / М. П. Сисин. – Д., 2008.
<http://eadnurt.diit.edu.ua/jspui/handle/123456789/104>
- 42.Курган М. Б., Вербицький В. Г., Курган Д. М. Дослідження відмінностей української та європейської залізничної інфраструктури. Наука та прогрес транспорту. 2019. № 5 (83). С. 52 – 70.
DOI:<http://doi.org/10.15802/stp2019/184497>
- 43.Звіт про виконання Угоди про асоціацію між Україною та ЄС за 2019 рік [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/55-GOEEI/ar-aa-implementation-2019-4.pdf>
44. Ukrainian Railways [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://old2.niss.gov.ua/content/articles/files/Transport-9eadb.pdf>
- 45.Making the railway system work better for society [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.era.europa.eu>

- 46.RFID Railway Management System [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://gaorfid.com/gao-railway-management-system>
47. Путь и путевое хозяйство [Електронний ресурс] // Белорусская железная дорога – Режим доступу: https://www.rw.by/corporate/belarusian_railway/infrastructure/track_and_track_facilities
- 48.Программа модернизации железных дорог Чехии // Железные дороги мира. – 2016 .– № 1. – С. 13–16
- 49.Canadian Pacific Railway official website [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу <https://www.cpr.ca/en>
- 50.Уроки железных дорог США для Украины [Електронний ресурс] – https://biz.censor.net/resonance/3190852/uroki_jeleznyh_dorog_ssha_dlya_ukrainy
- 51.Кірпа Г. М. Інтеграція залізничного транспорту України у європейську транспортну систему: Монографія. 2-ге вид., переробл. і допов. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2004. – 248 с.
- 52.Костюк, М. Д. Удосконалення конструкцій і технологій верхньої будови колії для сучасних умов експлуатації залізниць України : автореф. дис. канд. техн. наук: 05.22.06 / М. Д. Костюк ; Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2008. – 28 с. Захист – 19 червня 2008 р.
- 53.Міністерство інфраструктури України [Електронний ресурс] – <http://mtu.gov.ua/content/reformi-zaliznichnogo-transportu.html>
- 54.Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року [Електронний ресурс] // М-во інфраструктури України. – Режим доступу: <https://mtu.gov.ua/news/28581.html>
- 55.Горбенко А.П. Підвищення експлуатаційної ефективності вантажного рухомого складу: Навчальний посібник. – Харків: УкрДАЗТ, 2009. – 102 с.
- 56.Патласов О. М., Адаптація параметрів осевого навантаження в Україні до вимог європейського союзу / О.М. Патласов, Є.М. Федоренко , О.В. Хлівний // Тези доповідей 78 міжнародної науково-практичної конференції – Дніпро – 2018.
- 57.Патласов О. М., Визначення нормативів дії рухомого складу на залізничну колію залежно від навантаження на вісь 25т, ваги поїздів та впливу на розлад колії /

О.М. Патласов , Є.М. Федоренко , О.В. Хлівний // Тези доповідей 78 міжнародної науково-технічної конференції – Дніпро – 2018.

- 58.Правила технічної експлуатації залізниць України, затверджені наказом Міністерства транспорту України від 20 грудня 1996 р. № 411, Київ 2002 р.
- 59.Положення про проведення планово-запобіжних ремонтно-колійних робіт на залізницях України : ЦП-0113 : затв. наказом Укрзалізниці від 03.11.2014 № 470-ЦЗ / А. Бабенко, Г. Линник, К. Мойсеєнко [та ін.]. – Київ, 2015. – 45 с.
60. ДБН В.2.3-19:2008. Залізничні колії 1520. Норми проектування. – Київ : Мінрегіон України, 2018. – 132 с.
- 61.Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України: ЦП-0269 / Е. І. Даніленко, А. М. Орловський, М. Б. Курган, В. О. Яковлев [та ін.]. – Київ: ТОВ «НВП Поліграфсервіс», 2012. – 465 с.
- 62.Норми допустимих швидкостей руху рухомого складу по залізничних коліях державної адміністрації залізничного транспорту України шириною 1520 мм: ЦП – 0235 / В. В. Рибкін, А. М. Орловський, В. В. Циганенко, В. Є. Савлук. – К. : НВП Поліграфсервіс, 2011. – 72 с.
- 63.Мямлін, С. В. Розробка конструкцій та машинобудівних технологій створення вантажних вагонів нового покоління // Вагонный парк. – 2014. – № 10 (91). – С. 4–9.
- 64.Інноваційний рухомий склад нового покоління для залізничного транспорту України [Електронний ресурс]: Газета Кабінету Міністрів України «Урядовий кур'єр»/ Київ, 2012– . – Режим доступу: <http://www.ukurier.gov.ua>
- 65.Інноваційні вантажні вагони та впровадження рухомого складу з навантаженням 25 т/вісь в залізничних адміністраціях країн СНД [Електронний ресурс] : rail cargo spring 2019, цитати спікерів/ Київ, 2019 – Режим доступу: <https://logist.academy/ulb/2019/05/27/tsytata-myamlin>
- 66.Донченко А.В., Ільчишин В.В., Білецький О.М. Оцінка якості руху вітчизняних візків з навантаженням 25 тс/вісь. Рейковий рухомий склад. 2010. Вип. 2. С. 69 - 76.

- 67.Патласов О.М. Вплив вагонів з осьовим навантаженням 25 тс на стан залізничної колії / О.М. Патласов, Є.М. Федоренко, П.В. Ковтун // матеріали 79 міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» Дніпровський національний університет зал. транс. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпро: 16-17 травня 2019. – С. 273.
- 68.Патласов О.М. Вплив на залізничну колію вагонів з високими осьовими навантаженнями / О.М. Патласов, Є.М. Федоренко // матеріали 8 міжнародної науково-практичної конференції «Перспективи взаємодії залізниць та промислових підприємств» Дніпровський національний університет зал. транс. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпро: 28-29 листопада 2019. – С. 115-116.
- 69.Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України / Е.І.Даніленко, В.О.Яковлев, А.М.Орловський, М.І.Карпов та інші. – К.: Транспорт України, 2006 р. – 336 с.
- 70.Норми допустимих швидкостей руху рухомого складу по залізничних коліях державної адміністрації залізничного транспорту України шириною 1520 мм: ЦП – 0235 / В. В. Рибкін, А. М. Орловський, В. В. Циганенко, В. Є. Савлук. – К. : НВП Поліграфсервіс, 2011. – 72 с.
- 71.Ершков О. П. Исследование жесткости железнодорожного пути и её влияние на работу рельсов в кривых участках / О. П. Ершков // Труды ЦНИИ МПС, вып. 264. – М.: Трансжелдориздат, 1963. – с. 39-98.
- 72.Даніленко, Е. І. Правила розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість : ЦП – 0117 / Е. І. Даніленко, В. В. Рибкін. – Київ : Транспорт України, 2005. – 119 с.
73. Рибкін, В. В. Поодинокий вихід рейок - важливий фактор для прогнозування строку ремонту колії / В. В. Рибкін, М. І. Уманов, О. М. Баль // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2007. – Вип. 18. – С. 62–70. – DOI: 10.15802/stp2007/17443.
- 74.Патласов О.М. Витрати робочої сили в залежності від стану колії / О.М. Патласов, Є.М. Федоренко // матеріали 81 міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту»

Дніпровський національний університет зал транс. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпро: 22-23 квітня 2021. – С. 168-169.

75. Проектирование организации и планирование путевого хозяйства : Учеб. пособие для вузов / Н.П. Кондаков, В.Я. Шульга, В.Н. Лященко. - М. : Транспорт, 1974. - 200 с.
76. Патласов, А. М. Совершенствование системы планирования ремонтов железнодорожного пути : дисертация, Петербург. ин-т инж. ж.-д. трансп. – Санкт-Петербург, 1991. – 167 с.
77. Ковеленко Н.И. Аналитическая модель выбора схем межремонтного цикла и срока эксплуатации пути на линиях с высокой грузонапряженностью. Рук. деп. ЦНИИТЭИ МПС № 3097/–1985 г.
78. Босов А.А. Аксоматический подход к построению математической модели восстановления // Вестник ХГУ, № 174, серия « Прикладная математика и механика», вып. 43. – Харьков. – 1978. – с. 50-55.
79. Шахунянц Г.М. Железнодорожный путь: Учебник для вузов ж.д. трансп. –3-е изд., перераб. и доп. – М: Транспорт, 1987. – 479 с.
80. Экономика путевого хозяйства: Учебник для вузов ж.д. трансп. / В.Я. Шульга, В.И. Ангеленко, А.А. Комаров и др. Под ред. В.Я. Шульги.-М: Транспорт, 1988. – 303 с.
81. Инструкция по определению экономической эффективности капитальных вложений на железнодорожном транспорте. – М.: Транспорт, 1973. – 200 с.
82. Патласов О.М., Методика оптимізації схеми утримання колії / О.М. Патласов , Є.М. Федоренко// Тези доповідей 80 міжнародної науково-практичної конференції – Дніпро – 2020.
83. Методические рекомендации по определению экономической эффективности мероприятий научно – технического прогресса на железнодорожном транспорте. М.: ВНИИЖТ. – 1990. 111 с.
84. Андреев Г.Е., Смыков Е.К., Столярова Т.А. Выбор конструкции верхнего строения пути: Учеб. пособ. – 4-е издание., перер. и доп. / БелИИЖТ, ЛИИЖТ – Гомель: БелИИЖТ, 1987. – 64 с.

85. Основы устройства и расчетов железнодорожного пути / Т.Г. Яковлева, В.Я. Шульга, С.В. Амелин и др.; Под. ред. С.В. Амелина и Т.Г. Яковлевой. – М.: Транспорт, 1990. – 367 с.
86. Стельмашов В.И., Антонов Ф.И. Затраты труда на содержание пути. Тр. ЦНИИ МПС, вып. 357, М.: Транспорт, 1968 г. – 73 с.
87. Рыбкин, В. В. Напряженно-деформированное состояние пути при взаимодействии вагонов с повышенной осевой нагрузкой / В. В. Рыбкин, А. М. Патласов, В. И. Климов // Проблемы механики железнодорожного транспорта. Повышение надежности и совершенствование конструкций подвижного состава : тез. докл. Всесоюз. конф. (Днепропетровск, май 1988 г.). – Днепропетровск, 1988. – С. 96.
88. Організація та планування поточного утримання колії. Методичні вказівки до курсового і дипломного проектування / Дніпропетр. держ. техн. ун-т залізн. трансп. Укл: Гнатенко В.П., Трякін А.П., Уманов М.І., Чернік В.І. – Д.: 2001. – 36 с.
89. Рыбкин В.В. и др. Планирование и организация содержания пути. Часть 1. Методические указания к выполнению курсового проекта по дисциплине «Путевое хозяйство» – Днепропетровск: ДИИТ, 1989. – 56 с.
90. Затраты труда на содержание пути. В.И. Стельмашов, Ф.И. Антонов, труды ЦНИИ МПС, вып. 357, «Транспорт», 1968. – 73 с.
91. Патласов О.М. Визначення змін технічного стану колії з використанням теорії відновлення / О.М. Патласов, Є.М. Федоренко, Д.А. Шульга // матеріали XV міжнародної конференції «Проблеми механіки залізничного транспорту. Безпека руху, динаміка, міцність рухомого складу та енергозбереження» Дніпропетровський національний університет зал. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпро: 22-22 жовтня 2020. – С. 75-77
92. Вериги, М. Ф. Взаимодействие пути и подвижного состава / М. Ф. Вериги, А. Я. Коган. – Москва : Транспорт, 1986. – 559 с.

ДОДАТОК А
ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ВИКОНАННЯ
НАУКОВО-ДОСЛІДНОЇ РОБОТИ

Міністерство освіти і науки України
Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор філії «НДКТІ»
ПАТ «Укрзалізниця»

_____ В. О. Зайцев

« ____ » _____ 20 ____ р.

**Програма та методика
досліджень, проведення випробувань впливу на колію рухомого складу з
навантаженням до 25 т/вісь, великовагових поїздів**

ПОГОДЖЕНО

Директор
Департаменту колії та споруд
ПАТ «Укрзалізниця»

_____ О. М. Віннічук

« ____ » _____ 20 ____ р.

Заступник начальника
Департаменту колії та споруд
ПАТ «Укрзалізниця»

_____ Г. О. Линник

« ____ » _____ 20 ____ р.

РОЗРОБЛЕНО

Ректор університету,
д-р техн. наук, професор

_____ О. М. Пшінько

« ____ » _____ 20 ____ р.

Завідувач кафедри
«Колія та колійне господарство»,
канд. техн. наук, доцент

_____ М. А. Арбузов

« ____ » _____ 20 ____ р.

Керівник НДР,
канд. техн. наук, доцент

_____ О. М. Патласов

« ____ » _____ 20 ____ р.

2018

1 Загальні положення

1.1 Впровадження на залізницях України рухомого складу з підвищеним навантаженням на вісь, а також великовагових поїздів дозволяє збільшити провізну спроможність залізниць та забезпечити конкурентоздатність при перевезенні транзитних вантажів. При цьому виникає додатковий вплив на об'єкти інфраструктури колійного господарства, що потребує додаткових витрат на матеріали верхньої будови колії. Існуючі норми розроблені для рухомого складу з осьовим навантаженням не більше 23,5 тс/вісь, тоді як на сьогодні впроваджується рухомий склад з навантаженням 25 тс/вісь.

Таким чином, необхідно визначити допустимі значення динамічної дії рухомого складу на залізничну колію при підвищенні осьового навантаження та інтенсивність розладу колії для подальшого обґрунтування необхідності зміни нормативів витрат матеріалів верхньої будови колії та робочої сили.

1.2 Підставою для виконання досліджень є договір № 4/69 – 17 від 14.11.2017 р. між філією «НДКТІ» ПАТ «Укрзалізниця» і Дніпропетровським національним університетом залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.

1.3 Робота виконується кафедрою «Колія та колійне господарство» і Колієвипробувальною галузевою науково-дослідною лабораторією, яка акредитована у складі випробувального центру ДНУЗТу (атестат акредитації НААУ № 2Н0011, дійсний до 28 березня 2019 року).

2 Мета роботи

Метою роботи є визначення експериментально-розрахунковим шляхом значень параметрів, що характеризують динамічну дію рухомого складу на залізничну колію, обґрунтування максимально допустимих (граничних) величин динамічного впливу рухомого складу на колію, а також надання рекомендацій щодо нормативів витрат матеріалів верхньої будови колії та робочої сили у зв'язку з підвищенням осьового навантаження до 25 тс/вісь та використання великовагових поїздів.

3 Об'єкт досліджень

Об'єктом досліджень є стан залізничної колії та процеси, які відбуваються в колії під впливом рухомого складу, і визначення напружено-деформованого стану колії при наявності допустимих несправностей в стані колісних пар та залізничної колії при використанні вагонів з осьовим навантаженням 25 тс/вісь. Крім того будуть визначені еквівалентні навантаження та класи рухомого складу для визначення умов пропуску по мостах.

4 Програма виконання роботи

Програма виконання роботи складається з наступних етапів:

перший етап:

- аналіз та узагальнення інформації, що стосується оцінки впливу рухомого складу на колію у зв'язку зі змінами умов експлуатації при підвищенні осьового навантаження. Аналіз результатів попередніх досліджень, які виконані провідними науковими установами України та світу;

- вибір напрямків та ділянок для проведення експериментальних досліджень;

другий етап:

- організація і проведення динаміко-міцнісних випробувань;
- розшифрування та обробка експериментальних даних, аналіз отриманих результатів;

третій етап:

- статистичні дослідження з використанням математичної моделі вантажного вагона для визначення динамічної взаємодії колії і рухомого складу;

- розробка математичної моделі, яка дозволить спрогнозувати стан залізничної колії на ділянках впровадження вагонів з осьовим навантаженням до 25 тс/вісь;

четвертий етап:

- розробка рекомендацій щодо встановлення нормативів допустимого динамічного впливу рухомого складу на залізничну колію в залежності від швидкості руху поїздів та пропозицій щодо зміни нормативів витрат елементів верхньої будови колії і робочої сили.

5 Методика проведення експериментальних досліджень

Мета проведення експериментальних досліджень – отримання експериментальним шляхом динамічних характеристик взаємодії колії і рухомого складу.

Випробування здійснюються на підставі наказу (розпорядження) директора регіональної філії. Супутні витрати на експериментальні дослідження відносяться до експлуатаційних витрат відповідних підрозділів залізниці.

5.1 Вимоги до випробувальної ділянки

5.1.1 Випробування повинні проводитись на ділянці залізниці, що експлуатується: план лінії – пряма або крива, що не обмежує максимальну швидкість руху поїздів; конструкція колії: ланкова або безстикова; рейки типу Р65; шпали дерев'яні або залізобетонні, 2000 (1840) шт./км; баласт щебеневий, товщина під шпалою не менше 30 см.

5.1.2 Стан прилеглих колій та самої дослідної ділянки повинні відповідати вимогам нормативних документів [6, 13], і оцінюватися не нижче оцінки «задовільно».

5.1.3 Для визначення фактичного впливу рухомого складу на колію, під час проведення випробувань на дослідній ділянці повинні бути створенні максимальні відступи (при їх відсутності) від норм утримання колії, при яких дозволено рух без обмеження швидкості відповідно до інструкції [6, 13].

5.2 Дослідний поїзд з навантаженням до 25 тс та швидкості його руху

5.2.1 Визначення показників напружено-деформованого стану на дослідній ділянці виконується під дією маршрутного поїзда, до складу якого включені вагони з осьовим навантаженням 23,5 та 25 тс. Доцільно зазначені вагони розташовувати одним «зчепом» в голові поїзда (рис. 5.1).

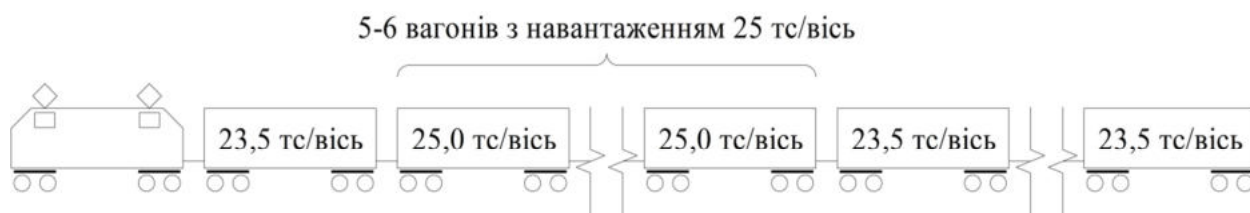


Рис. 5.1. Схема дослідного поїзда

5.2.2 Для оцінки максимального динамічного впливу рухомого складу на колію обов'язково в кожному з напіввагонів необхідно допустити наявність колісної пари з вибоїною (повзуном) (рис. 5.2) глибиною f не більше 1 мм та (або) довжиною a не більше 60 мм на поверхні кочення коліс (див. рис. 5.2) [7, 10].

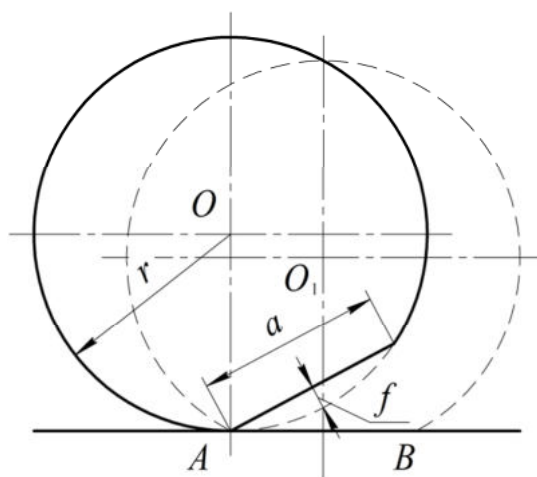


Рис. 5.2. Схема вибоїни (повзуна) на колесі

5.2.3 Поїздки здійснюються при встановленій швидкості руху поїздів та при швидкості руху, що на 20-30 км/год нижче встановленої.

5.2.4 З метою виконання тарування вимірювальних приладів виконується необхідна кількість поїздок рухомого складу з відомим навантаженням зі швидкістю 5 км/год.

5.2.5 Кількість заїздів повинна бути такою щоб забезпечити достовірність отриманих експериментальних даних на рівні ймовірності 0,994 при наявних похибках вимірювальної апаратури. У випадку, якщо отримані величини перевищують допустимі значення для типового рухомого складу при нормальних умовах експлуатації, дослідження припиняються.

5.3 Маршрутні великовагові поїзди

5.3.1 Для оцінки впливу великовагових поїздів на появу розладів колії необхідно провести вимірювання (поздовжні переміщення рейок) саме під маршрутними поїздами різної маси на різних ділянках, по можливості, при однакових умовах на виїзді зі станції або на перегоні.

5.3.2 Вимірювальні ділянки необхідно обирати таким чином, щоб вони розташовувались поза зон, що мають температурні переміщення.

5.4 Методика проведення вимірювань показників напружено-деформованого стану

5.4.1 На ділянці, що зазначена у п. 5.1.1, вимірювання показників впливу на колію дослідного поїзда повинно проводитись на ділянці, довжина якої $l_{\text{досл}}$ складає:

$$l_{\text{досл}} > 2\pi r, \quad (5.1)$$

де r – радіус максимального кола кочення колеса.

Безпосередньо місце знаходження дослідної ділянки вибирається на основі аналізу стрічки вагона-колієвимірювача, результатів обміру колії та натурного огляду.

5.4.2 Обміри колії проводяться в кожному шпальному ящику протягом довжини дослідної ділянки та на підходах до неї на відстані 10 м. Результати обмірів ширини колії, рівня, зносу елементів на дослідній ділянці повинні реєструватись в журналі випробувань.

5.4.3 В процесі виконання випробувань безпосередньо на колії необхідно визначити наступні параметри напружено-деформованого стану колії:

- напруження в зовнішній і внутрішній кромках підшви і головки рейок;
- вертикальні сили, що діють на рейки;
- залишкові деформації колії, якщо вони з'являються під час випробувань.

5.4.4 Допустимі значення показників оцінки напружено-деформованого стану колії приведені в [11-12].

5.4.5 Орієнтовна схема встановлення вимірювальних приладів наведена на рис. 5.3.

Остаточна кількість приладів визначається безпосередньо на місці проведення випробувань і може бути як збільшена, так і зменшена в залежності від фактичного стану колії та форм і амплітуд вертикальних та горизонтальних нерівностей. Прилади встановлюються в зоні стику.



Рис. 5.3. Схема встановлення вимірювальних приладів на дослідній ділянці

5.4.6 Для реєстрації напружень в рейках, вертикальних сил, що передаються від коліс на рейки, використовуються тензорезистори КФ5П1 прямокутні з базою 20 мм опором $200,0 \pm 0,5$ Ом. Датчики однократного застосування.

5.5 Методика обробки експериментальних даних

5.5.1 Показники напружено-деформованого стану колії – це випадкові величини, які підкорюються закону нормального розподілу. Задачею експерименту є визначення основних характеристик цих випадкових величин.

5.5.2 За показаннями кожного приладу складається первинна вибірка (вибіркова сукупність), яка вважається випадковим витягом з генеральної сукупності, на підставі чого здійснюється статистична обробка дослідних даних.

5.5.3 Для кожної вибірки визначаються за стандартною методикою основні статистики, а саме: середньоквадратичне відхилення і максимальне ймовірне значення при прийнятому в розрахунках колії на міцність [1] рівні ймовірності неперевикнення 0,994. Ці вибірки можуть групуватися для однієї або декількох осей кожного екіпажу з перевіркою можливості об'єднання по встановленим критеріям.

5.5.4 Придатність отриманих експериментальних даних для подальшого статистичного оброблення оцінюють коефіцієнтом варіації, що характеризує однорідність вибірки.

5.5.5 Якщо випробування виконують на випробувальних ділянках залізничної колії з горизонтальними та вертикальними нерівностями в межах другого та третього ступенів, то для сформованих вибірок коефіцієнт варіації має бути не більше ніж 0,4.

5.5.6 За результатами статистичної обробки вимірювань визначають максимальні ймовірні та ті, що спостерігалися значення показників напружено-деформованого стану колії залежно від рівня довірчої ймовірності.

5.6 Засоби вимірювань

5.6.1 Відомості про засоби вимірювальної техніки та випробувального обладнання, яке буде використовуватись при випробуваннях наведені в таблиці 1.

5.6.2 Випробувальне обладнання повинно бути атестовано, а засоби вимірювальної техніки повинні мати атестат калібрування або бути повірені.

Таблиця 1 – Відомості про засоби вимірювальної техніки і випробувального обладнання

Найменування обладнання і засобів вимірювання	Основні метрологічні характеристики випробувального обладнання і засобів вимірювання	Похибка визначення показника
1	2	3
Інформаційно-вимірювальна апаратура «ПОНІЛ-Ц»	Діапазон вимірювання: напружень 0÷400 МПа, вертикальна сила 0÷300 кН	5,0 %
Шаблон колієвимірювальний ПШ-1520, зав. № 20149	±1 мм	±1 мм
Лінійка вимірювальна 300 мм	±0,1 мм	±0,1 мм

Штангенциркуль коліїний ПШВ, № 6410	0-290 мм	±0,2 мм
Набір щупів	0,05-1,0	±0,016 мм
Рулетка вимірювальна ЗПКЗ-20 АУТ/1	0-20 м	+2 мм

5.7 Вимоги безпеки

5.7.1 До початку проведення випробувань повинні бути завершені заходи щодо підготовки випробувань, які передбачають наявність на місці проведення випробувань засобів матеріально-технічного забезпечення і створення безпечних умов для персоналу, що приймає участь у випробуваннях.

5.7.2 Всі роботи по підготовці і проведенню випробувань повинні проводитись під безпосереднім керівництвом і контролем керівника випробувань.

5.7.3 Персонал, який приймає участь у роботі з підготовки та проведенню випробувань, повинен пройти заняття і перевірку знань з питань охорони праці. З даним персоналом проводиться цільовий інструктаж з записом у «Журналі реєстрації інструктажів з питань охорони праці» [8].

5.7.4 Учасники випробувань повинні пройти медичний огляд відповідно до [9].

5.7.5 Обладнання і прилади, які використовуються під час випробувань, повинні знаходитись в технічно справному стані і забезпечувати безпеку їх обслуговування і використання відповідно до [2].

5.7.6 Під час проведення випробувань та обмірів колії повинна забезпечуватись безпека руху дослідного поїзда відповідальними працівниками відповідно до вимог [3-5, 10].

5.7.7 Випробування повинні проводитись в світлий час доби у «вікно» при незамерзлому баластному шарі.

6 Статистичні дослідження

6.1 Метою статистичних досліджень є аналіз змін в стані геометричних параметрів залізничної колії в залежності від пропущеного тону при динамічній взаємодії з рухомим складом, навантаження на вісь якого становить 25 тс.

6.2 Статистичний аналіз здійснюється за показниками цифрових вимірювань стану колії вагонами-колієвимірювачами типу КВЛ-П.

6.3 Оцінка змін в стані колії здійснюється шляхом розрахунку середньквадратичного відхилення геометричних параметрів від середнього розрахункового значення на заданій ділянці.

6.4 Для аналізу вибираються прямі та криві ділянки колії.

6.5 Перед розрахунком середньоквадратичних відхилень визначається уточнення прив'язки вимірів до кілометражу з точністю не більше 5 м.

6.6 За результатами статистичних вимірювань оцінюється вплив вагонів з осьовим навантаженням 25 тс на стан геометричних показників залізничної колії та його прогностичні показники.

7 Розробка рекомендацій та пропозицій

7.1 Отримані динамічні характеристики вагона з навантаженням 25 тс/вісь будуть співставлені з аналогічними значеннями для вагонів типової конструкції при різному ступені навантаження до 23,5 тс/вісь.

7.2 Виявивши характер зміни динамічних показників взаємодії та статистичних характеристик за допомогою методів апроксимації розробити рекомендації, щодо встановлення нормативів допустимого динамічного впливу рухомого складу на залізничну колію та пропозицій щодо зміни нормативів витрат елементів верхньої будови колії і робочої сили на ділянках впровадження вагонів з осьовим навантаженням 25 тс.

Список літератури

1. Даніленко, Е. І. Правила розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість : ЦП – 0117 / Е. І. Даніленко, В. В. Рибкін. – Київ : Транспорт України, 2005. – 119 с.
2. ДСТУ ГОСТ 12.2.061:2009. Система стандартів безпеки праці. Обладнання виробничого. Загальні вимоги безпеки до робочих місць / Затверджено Державним Комітетом України з питань технічного регулювання та споживчої політики від 22.12.2008 р. № 495.
3. Інструкція з забезпечення безпеки руху поїздів при виконанні колійних робіт на залізницях України: ЦП-0273 / А. П. Татуревич, В. В. Рибкін, А. І. Бабенко, О. В. Губар [та ін.]. – Київ: ТОВ «НВП Поліграфсервіс», 2012. – 108 с.
4. Інструкція з руху поїздів і маневрової роботи на залізницях України. – Міністерство транспорту та зв'язку України. – К.: Транспорт України, 2005. – с.462.
5. Інструкція з сигналізації на залізницях України. - Міністерство транспорту України. – К.: Транспорт України, 1995. – с. 237.
6. Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України: ЦП-0269 / Е. І. Даніленко, А. М. Орловський, М. Б. Курган, В. О. Яковлев [та ін.]. – Київ: ТОВ «НВП Поліграфсервіс», 2012. – 465 с.
7. Колісні пари вантажних вагонів. Правила технічного обслуговування, ремонту та формування: СТП 04-001:2015 / Затв. Держ. адміністр. зал. трансп. України 16.05.2015 р. – К., 2015. – 138 с
8. НПАОП 0.00-4.12-05. Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці / Затверджено наказом Державного комітету України з нагляду за охороною праці від 26.01.2005 № 15.
9. Порядок проведення медичних оглядів працівників певних категорій / Затверджено наказом Міністерства охорони здоров'я України від 21.05.2007 № 246.
10. Правила технічної експлуатації залізниць України, затверджені наказом Міністерства транспорту України від 20 грудня 1996 р. № 411 із змінами і доповненнями, внесеними наказами Міністерства транспорту України: від 8 червня 1998 р. № 226, від 23 липня 1999 р. № 386, від 19 березня 2002 р. № 179.

11. Рухомий склад залізниць. Норми допустимого впливу на залізничну колію 1520 мм: ДСТУ 7571:2014. – [Чинний від 2014–02–12]. – Київ: Мінекономрозвитку України, 2014. – 33 с. – (Національний стандарт України).

12. Технічні вказівки з проведення натурних випробувань рухомого складу щодо впливу на колію та стрілочні переводи / В. Є. Савлук, В. В. Рибкін, О. М. Патласов // Затв. наказом «Укрзалізниці» від 4 березня 2010 р. за № 028-ЦЗ. – К.: 2010. – 15 с.

13. Технічні вказівки щодо оцінки стану рейкової колії за показниками колієвимірювальних вагонів та забезпечення безпеки руху поїздів при відступах від норм утримання рейкової колії: ЦП-0267. – Київ: ТОВ «НВП Поліграфсервіс», 2012. – 40 с.

ДОДАТОК Б
ПРОТОКОЛИ

Міністерство освіти і науки України
Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна (ДНУЗТ)

ПРОТОКОЛ АТЕСТАЦІЇ ДОСЛІДНОЇ ДІЛЯНКИ

1. Основні дані про дослідну ділянку: парна колія (км 1174 ПКЗ) напрямку між ст. Пришиб та ст. Бурчацьк Регіональної філії «Придніпровська залізниця», рейки типу Р65 зварені у пліті, скріплення типу КБ-65, шпали залізобетонні типу Ш-1, баласт щебеневий.

2. Характеристики, що перевіряються:

Відповідність технічного стану ділянки колії діючій документації. Визначення швидкості руху по ділянці. Визначення можливості встановлення вимірювального обладнання.

3. Умови проведення атестації:

Таблиця 1 – Умови проведення атестації

№ з/п	Найменування	Температура довкілля, °С	Відносна вологість, %	Атмосферний тиск, кПа	Освітленість, лк
1	Парна колія (км 1174 ПКЗ) напрямку між ст. Пришиб та ст. Бурчацьк	8-10	50-60	101-102	1000-1500

РЕЗУЛЬТАТИ АТЕСТАЦІЇ

1. Зовнішній огляд: ділянка колії, що атестується, забезпечує реалізацію руху дослідного поїзда зі швидкостями, що відповідають умовам, для яких дана ділянка призначена. Технічний стан ділянки, що атестується відповідає вимогам «Правил технічної експлуатації залізниць України» та «Інструкції з улаштування та утримання колії залізниць України» (ЦП – 0269).

2. Характеристика засобів вимірювання, що використовуються для проведення атестації дослідної ділянки

Стан колії на дослідній ділянці перевірявся натурними вимірами до початку встановлення вимірювальних приладів та після проходження дослідного поїзда.

Таблиця 2 – Засоби вимірювання, що використовуються для проведення атестації дослідної ділянки

№ з/п	Найменування засобів вимірювання тип (марка) заводський (інвентарний) номер	Метрологічні характеристики	
		Діапазон вимірювань	Клас точності, похибка вимірювань
1	Штангенциркуль колійний ПШВ, № 6410	0-290 мм	±0,2 мм
2	Лінійка вимірювальна металева	300 мм	±0,1 мм
3	Шаблон колійний ПШ-1520 № 20149	1505-1555мм 0-160 мм 100-1500 мм 1472 ⁺²⁸ ₋₇₂ мм 1435±15 мм 40÷140 мм 0÷20 мм	Δ ±1 мм
4	Термометр цифровий «Тесто» №8	-30...+150	± 2 °C
5	Барометр-анероїд БАММ-1, №4019	80-106 кПа	± 0,2 кПа
6	Психрометр аспіраційний МВ-4М № 23339	10-100	± 2

3. Значення характеристик дослідної ділянки, отримані під час атестації:

На дослідній ділянці допустима швидкість руху встановлена 120 км/год відповідно «Норм допустимих швидкостей руху рухомого складу по залізничних коліях державної адміністрації залізничного транспорту України шириною 1520 мм» (ЦП – 0235).

Результати вимірювання геометричного стану колії на дослідній ділянці наведені у додатку А.

4. Висновки комісії:

Ділянка колії (км 1174 ПКЗ): знаходиться в зоні примикання рейкових плітей, що утворені з рейок типу Р65 до зрівнювальних прольотів; шпали залізобетонні; баласт щебеневий (товщина під шпалою 35-40 см), середнє значення ширини колії в – 1520 мм, положення рейкових ниток у плані та за рівнем відповідають вимогам нормативної документації.

Дана дослідна ділянка може бути використана для проведення випробувань з оцінки взаємодії колії та рухомого складу з навантаженням до 25 тс.

Голова комісії:

Шляховий майстер ПД-2
ВП «Мелітопольська дистанція колії»



С. С. Сластухін

Члени комісії:

Бригадир колії ПДБ-3
околотку ПД-2
ВП «Мелітопольська дистанція колії»



Ю. М. Бобров

Керівник НДР,
канд. техн. наук, доц.



О. М. Патласов

Завідувач
Колієвипробувальної ГНДЛ ДНУЗТ



С. О. Токарев

Додаток А

Таблиця Д. А. 1 – Стан колії на дослідній ділянці

№ п/п	До встановлення вимірювальних приладів		Після проходження дослідного поїзда	
	Шаблон, мм	Рівень, мм	Шаблон, мм	Рівень, мм
0 ¹	20	1	21 ²	0
1	19	-2	20	-2
2	18	-6	19	-4
3	19	-10	20	-6
4	20	-12	20	-12
5	22	-12	21	-14
6	23	-7	22	-8
7	23	-4	21	-4
8	22	-2	21	-4
9	21	2	21	-2
10	20	3	20	-2
11	20	3	20	2
12	20	4	20	3
13	19	3	20	2
14	18	5	20	4
15	18	6	20	8
16	18	7	20	4
17	20	6	20	4
18	21	4	20	2
19	21	3	21	0
20	21	2	21	0
21	21	4	21	4
22	20	4	21	0
23	20	5	21	4
24	21	8	21	6
25	20	8	21	4
26	18	6	20	4
27	20	8	20	4
28	20	6	20	2
29	19	5	20	2
30	19	4	20	2

¹ нумерація точок починається з високомічного рейкового стика;² додатні значення рівня відповідають підвищенню положення правої рейкової нитки відносно лівої.