

Державний університет інфраструктури та технологій  
Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

СОРОКА ОЛЬГА ОЛЕКСІЇВНА

УДК 625.151:625.4:629.067

**ДИСЕРТАЦІЯ**

**ПРОГНОЗУВАННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ТА СТРОКІВ СЛУЖБИ  
СТРІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ В УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ РІЗНИХ  
ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ: МАГІСТРАЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ ТА  
МЕТРОПОЛІТЕНІВ**

05.22.01 – транспортні системи

27 – транспорт

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

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



О.О. Сорока

Науковий керівник

ДАНІЛЕНКО Едуард Іванович,  
доктор технічних наук, професор

Київ – 2024

## АНОТАЦІЯ

**Сорока О.О.** Прогнозування зносостійкості та строків служби стрілочних переводів в умовах експлуатації різних транспортних систем: магістрального транспорту та метрополітенів. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.01 – Транспортні системи. – Державний університет інфраструктури та технологій – Київ, 2024.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню науково-технічної проблеми прогнозування строків служби стрілочних переводів, які експлуатуються в умовах різних транспортних систем: магістрального транспорту та метрополітенів, що в свою чергу дозволяє визначати нормативні та гарантійні значення пропущеного тоннажу при досягненні нормованої величини зносу елементів стрілочних переводів.

Були проведені експериментальні дослідження зносостійкості стрілочних переводів в умовах експлуатації залізничних колій Київського метрополітену. В результаті отримані графоаналітичні залежності зносостійкості поверхні кочення стрілок і хрестовин в функції від пропущеного тоннажу. За допомогою вказаних залежностей можна визначати поточне значення зносу стрілок і хрестовин в будь-який період експлуатації, що характеризується пропущеним тоннажем, а також прогнозувати строки служби конструкції в будь-який період експлуатації чи в період проектування укладки стрілочного переводу.

Рішення задачі прогнозування нормативного тоннажу по хрестовинам виконано за допомогою нової методики, яка передбачає спільне застосування: експлуатаційних спостережень за роботою хрестовин на залізницях; математично-статистичний аналіз результатів спостережень; графоаналітичний аналіз та побудову графічних залежностей прогнозованого зносу у функції від пропущеного тоннажу. Розроблена та застосована нова розрахункова формула для визначення прогнозованого нормативного тоннажу, що очікується пропускати по хрестовинам при досягненні нормованої величини зносу

поверхні кочення. Визначені нормативні строки служби стрілок і хрестовин при різних експлуатаційних умовах.

Удосконалено розрахункову методику визначення гарантійних строків служби стрілок і хрестовин на основі статистичного аналізу імовірності вилучення з експлуатації дефектних конструкцій. Методика застосована для широкого спектру експлуатаційних умов.

**Ключові слова:** магістральний транспорт, метрополітени, стрілочні переводи, вантажонапруженість, стрілка, хрестовина, рамна рейка, вістряк, осердя, вусовик, зносостійкість, дефектостійкість, прогнозування, нормативні строки служби, гарантійні строки служби.

## THE SUMMARY

Olha Soroka Predicting the wear resistance and service life of railway switches under the operating conditions of various transport systems: mainline transport and underground railways. – Manuscript

The thesis to obtain scientific degree of the candidate of technical sciences in specially 05.22.01 - Transport Systems. - State University of Infrastructure and Technologies of the Ministry of Education and Science of Ukraine. Kyiv, 2024.

The dissertation is devoted to solving the scientific and technical problem of predicting the service life of switches operated in different transport systems: mainline transport and subways, which in turn allows determining the standard and warranty values of the missed tonnage when the normalized wear of the switch elements is reached.

Experimental studies of the wear resistance of switches under the conditions of operation of the Kyiv subway tracks were carried out. As a result, graph-analytical dependences of the wear resistance of the rolling surface of switches and crosses as a function of the tonnage passed were obtained. Using these dependencies, it is possible to determine the current value of wear of switches and crosses in any period of operation, characterized by the missed tonnage, as well as to predict the service

life of the structure in any period of operation or during the design period of laying the switch.

The problem of predicting the standard tonnage for crossbars was solved using a new methodology that involves the joint application of: operational observations of crossbars on railways; mathematical and statistical analysis of the observation results; graphical analysis and construction of graphical dependencies of the predicted wear as a function of the missed tonnage. A new calculation formula was developed and applied to determine the predicted standard tonnage expected to be passed through the crosspieces when the standardized amount of rolling surface wear is reached. The standard service life of switches and crosses under different operating conditions was determined.

The calculation methodology for determining the warranty service life of switches and crosses has been improved based on a statistical analysis of the probability of removing defective structures from service. The methodology is applied to a wide range of operating conditions.

**Keywords:** mainline transport, subways, railway switches, service load, switch, frog, stock rail, tongue rail, switch core, wing rail, wear resistance, defect resistance, prognosis, standard service life, warranty service life.

#### **Список публікацій здобувача:**

##### **Статті у періодичних наукових виданнях інших держав:**

1. O. Oliynyk, V. Boiko, V. Molchanov and O. Soroka. Research of geometric parameters of symmetric railroad switches // 3-rd International Scientific and Practical Conference «Energy-optimal Technologies, Logistics and Safety in Transport» (EOT-2023). - MATEC Web of Conferences. Volume 390, 2024, <https://doi.org/10.1051/matecconf/202439004007>

##### **Статті у фахових виданнях України:**

2. Сорока О.О. Особливості діагностики та прогнозування довговічності стрілочних переводів при експлуатації в колії // Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту Міністерства

транспорту та зв'язку України: Серія «Транспортні системи і технології». – Вип. 17. – К.: ДЕТУТ, 2010. – С. 104-109.

3. Сорока О.О. Заходи для подовження терміну служби рейок по дефектності // Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту Міністерства інфраструктури України: Серія «Транспортні системи і технології». – Вип. 18. – К.: ДЕТУТ, 2011. – С. 108-112.

4. Сорока О.О. Аналіз методів діагностики земляного полотна. Їх переваги та недоліки // Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту Міністерства інфраструктури України: Серія «Транспортні системи і технології». – Вип. 19. – К.: ДЕТУТ, 2011. – С. 75-80.

5. Даніленко Е.І. Дослідження впливу динамічних колісних навантажень, вантажонапруженості і швидкостей руху поїздів на міцність, стійкість і строки служби рейок, скріплень та інших елементів ВБК/ Даніленко Е.І., Йосифович Р.М., Олійник О.А., Сорока О.О. // Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту Міністерства інфраструктури України: Серія «Транспортні системи і технології». – Вип. 22. – К.: ДЕТУТ, 2013. – С. 10-20.

6. Даніленко Е.І. Впровадження прискореного і швидкісного руху поїздів на залізницях України потребує розробки і застосування нових нормативних допусків по ширині рейкової колії в прямих і кривих// Даніленко Е.І., Черніцький Р.Р., Йосифович Р.М., Молчанов В.М., Олійник О.А., Сорока О.О./ Науково-практичний журнал «Залізничний транспорт України». – № 2. – 2017. – С. 45 - 54.

7. Бойко В.Д. Встановлення нормативів строків служби стрілочних переводів для умов експлуатації київського метрополітену/ Бойко В.Д., Молчанов В.М., Сорока О.О. // Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту Міністерства інфраструктури України. – Вип. 178. – Х.: УкрДУЗТ, 2018. – С. 59-67.

8. Olha Soroka Research of frogs point wear resistance in various conditions for transportation systems: main-line railway and subway // Collection of Scientific

### **Опубліковані праці апробаційного характеру:**

9. Сорока О.О. Діагностика та прогнозування надійності і довговічності конструкцій залізничної колії// Проблеми та перспективи розвитку транспортних систем в умовах реформування залізничного транспорту: управління, економіка та управління: тези доповідей V міжнародн. наук.-практ. конф. – Сер. «Техніка, технологія» – К.: ДЕТУТ, 2011. – С. 132-134.

10. Сорока О.О. Проблеми прогнозування технічного стану колії в сучасних умовах // «Шляхи та напрями структурної реформи залізничного транспорту України»: тези наук.-практ. конф. молодих викладачів, аспірантів і магістрів –К.: ДЕТУТ, 2012. – С. 100-102.

11. Сорока О.О. Параметри, які впливають на виникнення дефектів і розладів залізничної колії // «Залізничний транспорт: сучасні проблеми науки»: тези ХІІ наук.-практ. конф. молодих учених, аспірантів і студентів – К.: ДЕТУТ, 2012. – С. 56-58.

12. Сорока О.О. Виявлення дефектів та пошкоджень у рейках та стрілкових переводах за допомогою неруйнівного контролю// Проблеми та перспективи розвитку транспортних систем в умовах реформування залізничного транспорту: управління, економіка та управління: тези доповідей VI міжнародн. наук.-практ. конф. – Сер. «Техніка, технологія» – К.: ДЕТУТ, 2013. – С. 134-135.

13. Сорока О.О. Ефективність використання наявних засобів дефектоскопії на українських залізницях// праці міжнародн. наук.-практ. конф. «Проблеми взаємодії колії та рухомого складу», яка присвячена 100-річчю професора Мойсея Абрамовича Фрішмана. Д.: ДНУЗТ, 2013. – С.101-103.

14. Сорока О.О. Особливості виникнення додаткових динамічних сил при русі по стрілці по прямій колії // матеріали 78 міжнародн. наук.-практ. конф.

«Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту». – Д.: ДНУЗТ, 2018. – С. 189-191.

15. Сорока О.О. Дослідження зносу елементів стрілочних переводів для експлуатаційних умов Київського метрополітену // Матеріали ІV Всеукраїнської науково-технічної інтернет-конференції. – К.: ДУІТ, 2022. – С. 221-223.

16. Сорока О.О. Дослідження умов експлуатації стрілочних переводів магістральних залізниць // Тези науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти, молодих вчених та викладачів. – К.: ДУІТ, 2023. – С. 614-615.

17. Сорока О.О. Нова теоретична методика прогнозування нормативних строків служби хрестовин стрілочних переводів // Матеріали ІІ Міжнародної науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти, викладачів та науковців «Сучасні дослідження: транспортна інфраструктура та інноваційні технології». – К.: ДУІТ, 2023. – С. 185-191.

**Опубліковані праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:**

18. Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України: ЦП-0269. – затв. наказом Укрзалізниці від 01.03.2012 р. №072-Ц. – Київ: Укрзалізниця, 2012. – 457 с.

19. Даніленко Е.І., Бойко В.Д., Курган М.Б., Твердомед В.М., Молчанов В.М., Сорока О.О., Олійник О.А. Проектування і розрахунки конструкцій залізничної колії // Підручник для ВНЗ залізничної галузі в 2-х томах. – К.: «Хай-Тек Прес», 2019. – Том 1. – 344 с.

20. Верхня будова колії. Стрілочні переводи. Правила визначення нормативних та гарантійних строків служби у різних експлуатаційних умовах. // стандарт АТ «Укрзалізниця» СТП 06041:2021 – К.: АТ «Укрзалізниця», 2021 р. – 48 с.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	13
РОЗДІЛ 1 АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОБЛЕМИ. АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ДИСЕРТАЦІЙНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ.....	22
1.1 Актуальність проблеми дисертаційного дослідження.....	22
1.2 Аналіз попередніх досліджень за темою дисертації.....	23
1.3 Постановка завдань дисертаційного дослідження.....	35
1.4 Висновки до розділу 1.....	37
РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ НЕСПРАВНОСТЕЙ СТРІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ ТА ЇХ ВПЛИВУ НА СТРОКИ СЛУЖБИ КОНСТРУКЦІЙ І БЕЗПЕКУ РУХУ ПОЇЗДІВ.....	39
2.1 Знос та дефекти на поверхні кочення як основні причини відмов стрілок і хрестовин при експлуатації .....	39
2.2 Особливості процесів зносу елементів стрілочних переводів. Методика вимірювання. Допустимі нормативи зносу .....	41
2.3 Утворення дефектів на поверхні кочення стрілок і хрестовин стрілочних переводів.....	45
2.4 Аналіз вилучення з експлуатації елементів стрілок і хрестовин .....	49
2.4.1 Аналіз відмов елементів стрілок.....	49
2.4.2 Аналіз відмов елементів хрестовин.....	51
2.5 Нерівності на поверхні кочення стрілок і хрестовин стрілочних переводів та їх вплив на взаємодію рухомого складу і колії.....	54
2.5.1 Особливості взаємодії рухомого складу і колії при русі по нерівностям на стрілочних переводах.....	56
2.6 Загальні висновки по розділу 2.....	63

РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ	
ЗНОСОСТІЙКОСТІ СТРІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ.....	65
3.1. Експериментальні дослідження вертикального зносу стрілок та хрестовин на стрілочних переводах, що експлуатуються на коліях Київського метрополітену.....	66
3.1.1 Характеристики стрілочних переводів, відібраних для досліджень зносостійкості.....	67
3.1.2 Методика експериментальних натурних вимірювань вертикального зносу рейкових елементів стрілочних переводів (хрестовина і стрілка).....	72
3.1.2.1 Методика експериментальних натурних вимірювань вертикального зносу на поверхні кочення хрестовин.....	72
3.1.2.2 Результати експериментальних досліджень зносу елементів хрестовин стрілочних переводів Київського метрополітену.....	76
3.1.2.3 Обробка результатів експериментальних досліджень. Апроксимація кривих зносу поверхні кочення хрестовин.....	79
3.1.2.4 Аналіз результатів досліджень зносу елементів хрестовин.....	89
3.1.2.5 Методика визначення вертикального зносу поверхні кочення вістряків та рамних рейок стрілочних переводів.....	92
3.1.2.6 Результати дослідження зносу рейкових елементів стрілки.....	94
3.1.2.7 Обробка результатів експериментальних досліджень зносу вістряків та рамних рейок. Апроксимація кривих зносу поверхні кочення.....	97
3.2 Аналіз результатів досліджень зносу рейкових елементів стрілочних переводів.....	102
3.2.1 Аналіз результатів досліджень зносу хрестовин.....	102
3.2.2 Аналіз результатів досліджень зносу стрілок.....	103
3.3 Аналіз результатів досліджень зносостійкості хрестовин на коліях метрополітену.....	105
3.4 Висновки по розділу 3.....	109

РОЗДІЛ 4 ПРОГНОЗУВАННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ТА НОРМАТИВНИХ СТРОКІВ СЛУЖБИ ХРЕСТОВИН ЗАЛЕЖНО ВІД ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ УМОВ.....	111
4.1 Загальні поняття про строки служби стрілок і хрестовин стрілочних переводів.....	111
4.2 Допустимі норми зносу стрілок і хрестовин стрілочних переводів.....	112
4.3 Існуючі нормативи для регламентування строків служби стрілок і хрестовин, що застосовувались на вітчизняних залізницях до теперішнього часу.....	114
4.4 Прогнозування зносостійкості та строків служби стрілочних переводів залежно від комплексу експлуатаційних умов.....	115
4.4.1 Теоретичні основи визначення строків служби хрестовин стрілочних переводів для різних умов експлуатації.....	117
4.5 Методика визначення нормативних строків служби елементів стрілочних переводів на основі статистичних даних (спостережень за їх експлуатацією в колії).....	123
4.5.1 Характеристика умов експлуатації стрілочних переводів, відібраних для статистичних досліджень зносостійкості. Аналіз вилучення елементів з колії залежно від умов експлуатації.....	123
4.5.2 Висновки за результатами аналізу вилучення елементів стрілочних переводів з колії залежно від умов експлуатації.....	129
4.6 Методика прогнозування формування вертикального зносу поверхні кочення хрестовин залежно від умов експлуатації (за новим методом ДУІТ).....	131
4.6.1 Теоретичні основи нової методики.....	131
4.6.1.1 Прогнозування вірогідного значення нормативного пропущеного тоннажу $T_{\text{норм}}^{\text{сер}}$ по хрестовинам на основі статистичних даних, отриманих в процесі експлуатації.....	131

4.6.1.2 На другому етапі рішення задачі потрібно визначити ухил прямої ділянки графіка зносу поверхні кочення хрестовин, що описується другим членом (« $v \cdot T$ ») основного рівняння (4.1).....	134
4.6.1.3 Уточнення і корегування коефіцієнтів « $a$ » і « $v$ » основного рівняння (4.1).....	137
4.6.2 Результати розрахунків по прогнозуванню вертикального зносу поверхні кочення хрестовин та визначення їх нормативних строків служби за новим методом ДУІТ.....	141
4.6.2.1 Визначення нормативних строків служби хрестовин стрілочних переводів на основі статистичних даних їх експлуатації в колії.....	141
4.6.2.2 Визначення нормативних строків служби хрестовин графоаналітичним методом за формулою (4.2) з побудовою графіків залежності $h_i = f(T_i)$ відповідно до методики § 4.6.....	145
4.6.3 Аналіз кривих прогнозованого зносу поверхні кочення хрестовин стрілочних переводів на залізницях магістрального транспорту.....	157
4.7 Дані про вихід з експлуатації основних конструктивних елементів стрілок (рамних рейок та вістряків) порівняно зі строками служби хрестовин.....	159
4.8 Аналіз результатів досліджень зносостійкості хрестовин стрілочних переводів на магістральних коліях.....	161
4.9 Висновки по розділу 4.....	166
<b>РОЗДІЛ 5 ГАРАНТІЙНІ СТРОКИ СЛУЖБИ СТРІЛОК І ХРЕСТОВИН СТРІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ ТА ЇХ ПРОГНОЗУВАННЯ.....</b>	<b>169</b>
5.1 Загальні поняття про надійність колії та гарантійні строки служби стрілок і хрестовин.....	169
5.2 Методика визначення гарантійних строків служби стрілок і хрестовин.....	171
5.2.1 Системний підхід до встановлення норм тривалості експлуатації елементів залізничної колії.....	171

5.2.1.1 Основні засоби математичної статистики, що використовуються в дисертаційному дослідженні.....	173
5.2.2 Визначення ймовірності безвідмовної роботи елементів конструкцій стрілок і хрестовин на базі експлуатаційних спостережень...	178
5.2.3 Встановлення коефіцієнтів впливу експлуатаційних факторів на гарантійні строки служби стрілок і хрестовин.....	188
5.3 Висновки до розділу 5.....	192
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	196
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	200
Додаток А Впровадження матеріалів дисертаційного дослідження.....	213

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Стрілочні переводи є особливими і найбільш складними конструкціями залізничної колії, які призначені для розгалуження або перехрещення колій, що є необхідним для нормального функціонування перевізної роботи поїздів. При тому, стрілочні переводи як необхідні конструкції рейкової колії застосовуються в різних транспортних системах залізничного транспорту (магістральний залізничний транспорт, промисловий залізничний транспорт, метрополітени). В своїй конструктивній основі стрілочні переводи об'єднують два основних конструктивних елемента, що мають різне функціональне призначення: стрілку, яка призначена для з'єднання колій та хрестовину, яка призначена для пересічення колій. Ці різні конструктивні елементи, в зв'язку з різною конструкцією і різними особливостями взаємодії з колесами рухомого складу, мають різні особливості накопичення дефектів та зносу на поверхні кочення, і тому мають різні строки служби при їх експлуатації під поїздами. При тому строки служби стрілочних переводів в колії значно (в рази) менші ніж строки служби звичайної конструкції колії.

Наукові методи визначення строків служби стрілочних переводів засновані на теоретичних, експериментальних дослідженнях, а також на досвіді їх експлуатації в колії.

Протягом більш ніж 70 останніх років науковці різних держав, в тому числі в колишньому СРСР і в Україні, наполегливо займалися важливими питаннями визначення та прогнозування зносостійкості та дефектостійкості стрілочних переводів при різних умовах експлуатації. В більшості випадків вказані дослідження відносились до експериментальних робіт та експлуатаційних спостережень, досліджень теоретичного характеру виконано вкрай мало. В тому числі зовсім мало досліджень виконано в напрямку порівняння зносостійкості та дефектостійкості стрілочних переводів при їх експлуатації в умовах таких різних транспортних систем, якими є магістральний залізничний транспорт і метрополітени.

Таким чином актуальність даної дисертаційної роботи полягає в тому, що в дослідженні вирішено наукове питання прогнозування зносостійкості та нормативних і гарантійних строків служби стрілок і хрестовин стрілочних переводів в різних умовах експлуатації магістрального транспорту та метрополітенів; при тому для вирішення поставленої задачі застосована нова методика для визначення нормативних та гарантійних строків служби стрілок і хрестовин стрілочних переводів. Спільно з комплексним методом досліджень, що включає експериментальні випробування, експлуатаційні спостереження за роботою конструкцій в колії та математично-статистичний аналіз результатів експлуатації стрілочних переводів в умовах різних транспортних систем.

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

Дисертаційна робота пов'язана з виконанням науково-дослідних робіт (НДР) за замовленням Укрзалізниці та КП «Київський метрополітен», в яких автор брала безпосередню участь.

*Для галузі Укрзалізниці:* «Науково-технічне обґрунтування впровадження нової рейко-шпальної решітки на залізобетонних шпалах 1680 шп/км замість 1840 шп/км і рейок UIC60 замість R65», договір №31/07-ЦТех-346/07-ЦЮ від 30.03.2007 р.; «Технічні вказівки по гарантійним строкам служби стрілочних переводів та їх елементів (для стрілочних переводів симетричних марок 1/6, 1/9, 1/11; стрілочних переводів звичайних з хрестовиною з рухомим осердям марок 1/18, 1/11)», договір №13/07-ЦТех – 377/07-ЦЮ від 03.04.2007 р.; «Дослідження впливу динамічних колісних навантажень на стійкість, міцність і строки служби елементів верхньої будови колії у різних експлуатаційних умовах та розробка рекомендацій», договір №12/07 - ЦТех - 376/07 - ЦЮ від 03.04.2007 р.; «Оптимізація параметрів утримання колії та стрілочних переводів для організації швидкісного руху поїздів», договір №11/08-ЦТех-0262/08-ЦЮ від 16.04.2008 р.; «Дослідження утворення нерівностей і розробка методів діагностики силової взаємодії рухомого складу і колії на стрілочних переводах», договір №9/09-ЦТех-009/09-ЦЮ від 05.01.2009 р.; «Дослідження можливостей розширення сфер застосування проміжного пружного рейкового скріплення типу КПП-5 на

ділянках колії з вантажонапруженістю до 60 млн. т км брутто/км на рік», договір №148-ГД від 08.12.2016 р.; «СТП. Залізнична колія. Улаштування й утримання», договір №4/34-19 від 10.10.2019 р.; СТП 06041:2021 Верхня будова колії. Стрілочні переводи. Правила визначення нормативних та гарантійних строків служби у різних умовах експлуатації.

*Для галузі КП «Київський метрополітен»:* «Встановлення умов експлуатації рейок і стрілочних переводів на коліях Київського метрополітену» договір №55-П-13 від 01.10.2013 р.; Технічні умови на експлуатацію стрілочних переводів на коліях Київського метрополітену (наказ КП «Київський метрополітен» №169-Н від 29.04.2015 р.).

**Мета і завдання дослідження.** Метою дисертації є дослідження і прогнозування зносостійкості та строків служби в колії стрілок і хрестовин стрілочних переводів в різних умовах експлуатації магістрального транспорту та метрополітенів.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно вирішити наступні задачі:

- провести аналіз існуючих досліджень з оцінки роботоспроможності стрілок і хрестовин, як основних конструктивних елементів стрілочних переводів та методів прогнозування зносостійкості та дефектостійкості поверхні кочення цих елементів протягом нормативних та гарантійних строків служби в колії при різних умовах експлуатації;

- провести експериментальні дослідження зі зносостійкості основних конструктивних елементів стрілочних переводів для умов експлуатації Київського метрополітену;

- зібрати об'єктивні дані про роботу хрестовин в різних експлуатаційних умовах магістрального транспорту та проаналізувати ці дані за допомогою методів математичної статистики з метою визначення ймовірності безвідмовної роботи стрілочних переводів в межах прогнозованого нормативного строку їх експлуатації;

- проаналізувати роботоспроможність стрілок і хрестовин стрілочних переводів та за допомогою обробки статистичних даних розробити методику для прогнозування нормативних строків служби за результатом їх роботи в колії в різних умовах експлуатації;

- розробити і запропонувати методику визначення гарантійних строків служби стрілок і хрестовин стрілочних переводів.

**Об'єкт дослідження** – процес взаємодії залізничної колії з рухомим складом в межах стрілочних переводів, що характеризується формуванням зносу та накопиченням дефектів на поверхні кочення стрілок і хрестовин стрілочних переводів.

**Предмет дослідження** – стрілочні переводи на залізничних коліях різних транспортних систем: магістрального транспорту і метрополітенів; вивчення процесів формування зносу поверхні кочення і накопичення дефектів на хрестовинах і стрілках стрілочних переводів та теоретичні методи визначення їх нормативних і гарантійних строків служби для різних умов експлуатації.

**Методи досліджень.** В дисертаційній роботі застосовано комплексний метод досліджень, який включає як теоретичну, так і експериментальну частини. Для встановлення нормативних строків служби стрілочних переводів використовувався комплексний підхід, який включає: експериментальну частину в формі безпосередніх авторських досліджень з формування зносу на стрілках і хрестовинах на коліях метрополітену та збір і систематизація даних експлуатаційних спостережень за роботою стрілочних переводів в коліях магістрального транспорту Укрзалізниці, і також включає теоретичну частину в формі обробки даних експлуатаційних спостережень за роботою стрілочних переводів методами математичної статистики, вирішенні багатоваріантних графоаналітичних задач з визначення нормативних та гарантійних строків служби стрілок і хрестовин стрілочних переводів в різних умовах експлуатації. Для аналітичних і графоаналітичних розрахунків використовувались методи рішення задач на основі програмного продукту MAPLE.

**Наукова новизна одержаних результатів.** У дисертаційному дослідженні вирішено наукове питання прогнозування зносостійкості та нормативних і гарантійних строків служби стрілок і хрестовин стрілочних переводів в різних умовах експлуатації магістрального транспорту та метрополітенів.

*Вперше:*

- для рішення поставленої задачі застосовано комплексний метод досліджень, який включає спільне застосування: експлуатаційних спостережень за роботою стрілок і хрестовин на залізницях, математично-статистичний аналіз результатів спостережень; авторські експериментальні дослідження зносостійкості поверхні кочення хрестовин та стрілок на коліях Київського метрополітену, графоаналітичний аналіз і побудову графічних залежностей прогнозованого зносу поверхні кочення у функції від пропущеного тоннажу при різних умовах експлуатації  $h_i = F(T_i; U_i; \Gamma_i)$ ; впровадження нової методики прогнозування зносу поверхні кочення хрестовин залежно від умов експлуатації та розробку кінцевих розрахункових формул для визначення прогнозованого нормативного тоннажу ( $T_{норм}^{розр}$ ), що очікується пропускати по хрестовинам при досягненні нормованої величини зносу поверхні кочення ( $h_n$ ). Перерахований перелік досліджень в комплексному застосуванні виконано вперше в дисертаційних дослідженнях і, *тому він представляє наукову новизну роботи.*

- для визначення нормативного тоннажу ( $T_{норм}^{розр}$ ), що очікується пропускати по хрестовинам стрілочних переводів при досягненні нормованої величини зносу поверхні кочення ( $h_n$ ) розроблена і застосована нова розрахункова методика і нова розрахункова формула, яка враховує особливості формування зносу поверхні кочення залежно від умов експлуатації:  $T_{норм}^{розр} = \left( \frac{-a + \sqrt{a^2 + 4 \cdot \epsilon \cdot h_n}}{2 \cdot \epsilon} \right)^2$ , де  $h_n$  – нормована величина зносу поверхні кочення хрестовини,  $a_2$  і  $\epsilon_2$  – коефіцієнти, що характеризують нахил кривої зносу  $h_i = f(T_i)$ , які визначаються з графоаналітичного рішення відповідної кривої. Дана методика застосована вперше в дисертаційних дослідженнях і, *тому вона представляє наукову новизну роботи.*

*набуло подальшого розвитку:*

- відома методика проф. Е.І. Даніленка з визначення нормативних строків служби стрілок і хрестовин стрілочних переводів для колій магістрального і промислового транспорту, яка заснована на застосуванні залежності  $h_i = F(T_i; U_i)$ , де  $T_i$  – пропущений тоннаж;  $U_i$  – комплексна характеристика експлуатаційних умов;  $h_i$  – величина зносу поверхні кочення; нова методика дозволила вирішувати вказане рівняння відносно шуканої функції ( $T_n$ ) при заданому нормативі допустимого зносу ( $h_n$ );

*удосконалено:*

- методику визначення гарантійних строків служби стрілок і хрестовин стрілочних переводів в частині знаходження конкретних значень гарантійного тоннажу ( $G_n$ ), як імовірності їх безвідмовної роботи, на основі експлуатаційних спостережень із застосуванням математично-статистичного аналізу вірогідності вилучення дефектних конструкцій з експлуатації.

### **Практичне значення отриманих результатів.**

Усі наукові результати, що були отримані в дисертаційній роботі є обґрунтованими і достовірними та в багатьох випадках мають практичне значення для виробництва. Практичне значення результатів дисертаційної роботи підтверджується наступними положеннями:

1. Результати проведених експлуатаційних досліджень за роботою хрестовин протягом їх роботи в діючих головних коліях метрополітену були використані при розробці НДР «Встановлення умов експлуатації рейок і стрілочних переводів на коліях Київського метрополітену» та Технічних умов на експлуатацію стрілочних переводів на коліях Київського метрополітену (наказ КП «Київський метрополітен» №169-Н від 29.04.2015 р.).

2. Отримані прогнозовані нормативні значення пропущеного тоннажу ( $T_{норм}^{розр}$ ) для хрестовин найбільш розповсюджених на коліях магістрального транспорту стрілочних переводів марок 1/11 і 1/9 з рейок типу Р65, укладених на залізобетонних і дерев'яних брусах в багатоваріантній постановці для широкого

спектру експлуатаційних умов (при різній вантажонапруженості, різних швидкостях руху і різних колісних навантаженнях) були використанні при розробці стандарту АТ «Укрзалізниця» «Верхня будова колії. Стрілочні переводи. Правила визначення нормативних та гарантійних строків служби у різних експлуатаційних умовах».

3. Запропонована в дисертаційній роботі методика визначення гарантійних строків служби стрілок і хрестовин стрілочних переводів, яка заснована на зборі об'єктивних даних про роботу хрестовин в різних експлуатаційних умовах та статистичному аналізі і обробці цих даних методами математичної статистики дозволяє визначати ймовірність безвідмовної роботи вказаних конструкцій для широкого спектру експлуатаційних умов.

4. Наукові результати щодо прогнозування нормативних та гарантійних строків служби елементів конструкцій стрілочних переводів для експлуатаційних умов різних транспортних систем (метрополітенів та магістрального транспорту) використані в навчальному процесі спеціальностей: 273 «Залізничний транспорт» ОПП «Залізничні споруди та колійне господарство» та «Управління інфраструктурою колійного господарства»; 275 «Транспортні системи» ОПП «Транспортні технології на залізничному транспорті».

#### **Особистий внесок здобувача.**

Постановка мети та задач дослідження виконані спільно з науковим керівником. Основні наукові положення, результати теоретичних та експериментальних досліджень, що викладені в дисертаційній роботі, отримані особисто автором. У наукових працях, що опубліковані в співавторстві, особистий внесок автора такий:

[1] – теоретичні розрахунки геометричних параметрів стрілочних переводів; [5] – аналіз впливу експлуатаційних умов на строки служби рейок стрілочних переводів; [6] – аналіз існуючих регламентованих нормативів допусків по ширині рейкової колії, що застосовуються на Укрзалізниці; [7] – аналіз умов експлуатації стрілочних переводів в коліях метрополітену; [18] – вимоги до конструкції і параметрів стрілочних переводів; [19] – приклади розрахунків звичайних

стрілочних переводів; [20] – збір та обробка даних про роботу хрестовин в колії в різних експлуатаційних умовах для магістральних залізниць.

**Апробація результатів дисертації.** Попередній розгляд теми та основні положення дисертаційного дослідження були розглянуті і схвалені на засіданні кафедри протоколом №6 від 15.01.2010 р. Докладно основний зміст та результати дисертаційної роботи доповідалися на засіданні кафедри залізничної колії та колійного господарства від 27.05.2019 р. (протокол №10).

Основні положення і результати дисертаційної роботи доповідались, обговорювались та були схвалені на наступних конференціях: V міжнародна науково-практична конференція «Проблеми та перспективи розвитку транспортних систем в умовах реформування залізничного транспорту: управління, економіка та управління» (м. Київ, ДЕГУТ, 24-25 березня 2011 р.); науково-практична конференція викладачів, аспірантів і магістрів «Шляхи та напрями структурної реформи залізничного транспорту України» (м. Київ, ДЕГУТ, 23-24 лютого 2012 р.); XLI науково-практична конференція молодих учених, аспірантів і студентів «Залізничний транспорт: сучасні проблеми науки» (ДЕГУТ, м. Київ, 19-20 квітня 2012 р.); VI міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку транспортних систем в умовах реформування зал. транспорту: управління, економіка. і технологія» (м. Київ, ДЕГУТ, 11,12 квітня, 2013 р.); міжнародна науково-практична конференція «Проблеми взаємодії колії та рухомого складу», яка присвячена 100-річчю професора М.А. Фрішмана. (м. Дніпропетровськ, ДНУЗТ, 18-20 вересня, 2013 р.); 78 міжнародна науково-практична конференція «Проблеми і перспективи розвитку залізничного транспорту» (м. Дніпро, ДНУЗТ, 17-18 травня, 2018 р.); IV Всеукраїнська науково-технічна інтернет-конференція (м. Київ, ДУІТ, 17-18 листопада 2022 р.); всеукраїнська науково-практична конференція здобувачів вищої освіти, молодих вчених та викладачів, (м. Київ, ДУІТ, 4-6 квітня 2023 р.); II міжнародна науково-практична конференція здобувачів вищої освіти, викладачів та науковців «Сучасні дослідження: транспортна інфраструктура та інноваційні технології» (м. Київ, ДУІТ, 29-30 листопада 2023 р.). Тема

дисертаційної роботи в остаточній редакції була затверджена рішенням Вченої ради Київського інституту залізничного транспорту ДУІТ (протокол №2 від 21.03.2023 р.). Дисертація в повному обсязі доповідалась та була схвалена на міжкафедральному семінарі кафедр «Залізнична колія та колійне господарство», «Технології транспорту та управління процесами перевезень», «Управління комерційною діяльністю залізниць» Державного університету інфраструктури та технологій (м. Київ, протокол №1 від 05.02.2024 р.).

**Публікації.** За темою дисертаційної роботи опубліковано 20 наукових праць, з яких: 1 стаття в міжнародному періодичному виданні, яка індексується в наукометричній базі Web of Science; 7 статей у фахових виданнях, затверджених МОН України; 9 праць апробаційного характеру та 3 праці, які додатково відображають результати роботи.

**Структура і обсяг роботи.** Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти основних розділів, загальних висновків, списку використаних джерел із 121 найменування. Основний текст викладений на 162 сторінках. Текст ілюструється 57 рисунками, містить 41 таблицю та 1 додаток.

# РОЗДІЛ 1

## АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОБЛЕМИ. АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ДИСЕРТАЦІЙНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

### 1.1 Актуальність проблеми дисертаційного дослідження

Стрілочні переводи є особливими і найбільш складними конструкціями залізничної колії, які призначені для розгалуження або перехрещення колій, що є необхідним для нормального функціонування перевізної роботи поїздів. При тому, стрілочні переводи як необхідні конструкції рейкової колії застосовуються в різних транспортних системах залізничного транспорту (магістральний залізничний транспорт, промисловий залізничний транспорт, метрополітени). В своїй конструктивній основі стрілочні переводи об'єднують три основні конструктивні частини елемента, що мають різне функціональне призначення: стрілку, яка призначена для з'єднання колій та хрестовину, яка призначена для пересічення колій, з'єднувальні колії, які призначені для сполучення стрілки та хрестовини. Ці різні конструктивні елементи, в зв'язку з різною конструкцією і різними особливостями взаємодії з колесами рухомого складу, мають різні особливості накопичення дефектів та зносу на поверхні кочення, і тому мають різні строки служби при їх експлуатації під поїздами. При тому строки служби стрілочних переводів в колії значно (в рази) менші ніж строки служби звичайної конструкції колії [1].

Наукові методи визначення строків служби стрілочних переводів засновані на теоретичних та експериментальних дослідженнях, а також на досвіді їх експлуатації в колії.

Протягом більш ніж 100 останніх років науковці різних держав, в тому числі в колишньому СРСР і в Україні, наполегливо займались важливими питаннями визначення та прогнозування зносостійкості та дефектостійкості стрілочних переводів при різних умовах експлуатації. В більшості випадків

вказані дослідження відносились до експериментальних робіт та експлуатаційних спостережень, досліджень теоретичного характеру аж до другої половини 20-го століття виконано вкрай мало. В тому числі зовсім мало досліджень аж до теперішнього часу виконано в напрямку порівняння зносостійкості та дефектостійкості стрілочних переводів при їх експлуатації в умовах таких різних транспортних систем, якими є магістральний залізничний транспорт і метрополітени.

Таким чином актуальність теми даної дисертації полягає в тому, що в дослідженні вирішено наукове питання прогнозування зносостійкості та нормативних і гарантійних строків служби стрілок і хрестовин стрілочних переводів в різних умовах експлуатації магістрального транспорту та метрополітенів; при тому для вирішення поставленої задачі застосована нова методика для визначення нормативних та гарантійних строків служби стрілок і хрестовин стрілочних переводів. Для вирішення поставлених в дисертації задач застосовано комплексний метод досліджень, що включає експериментальні випробування, експлуатаційні спостереження за роботою конструкцій в колії та математично-статистичний аналіз результатів експлуатації стрілочних переводів в умовах різних транспортних систем.

## **1.2 Аналіз попередніх досліджень за темою дисертації**

Було проведено аналіз попередніх досліджень, що виконані з теоретичних та експериментальних робіт в напрямку теми даної дисертації та зроблена постановка задач дисертаційного дослідження. При обґрунтуванні теми дисертації, перш за все, зазначено, що стрілочні переводи є особливими і найбільш складними конструкціями залізничної колії, які є необхідними для нормального виконання перевізної роботи поїздів в різних транспортних системах залізничного транспорту: (магістральний залізничний транспорт, промисловий транспорт, метрополітени). При тому, строки служби стрілочних переводів в колії значно менші (в рази), ніж строки служби звичайної

конструкції рейкової колії. Тому проблема вивчення зносостійкості і дефектостійкості стрілочних переводів та проблема прогнозування раціональних нормативних строків їх служби залежно від існуючих або прогнозованих умов експлуатації – є досить актуальною. Дана дисертація безпосередньо спрямована на вирішення означеної науково-практичної проблеми.

Вагомий внесок в дослідження роботи стрілочних переводів зроблено відомими вченим та спеціалістами колишнього СРСР в галузі залізничного транспорту, серед яких є професори: Амелін С.В. [2-6, 45], Шахунянц Г.М. [7], Альбрехт В.Г. [6, 8], Смірнов М.П. [3, 4, 6], Яковлев В.Ф. [3, 4, 9-13, 45, 58, 59], Глюзберг Б.Е. [14-16], Желнін Г.Г. [17-19], Путря М.М. [20, 21], Фрішман М.А. [22-25, 31]; кандидати технічних наук: Абросімов В.І. [26-28, 45], Іващенко С.І. [29, 30, 43], Орловський А.М. [25, 31-33, 60], Радигін Ю.М. [35], Тараненко С.Д. [36-39], Смиков Е.К. [40-43], Симон А.А. [42], Трофимов А.М. [27], Фролов Л.М. [26, 45, 46]. Окрім того, слід відмітити дослідження відомих вчених в галузі взаємодії колії і рухомого складу професорів: Веріго М.Ф. [47-49], Когана О.Я. [18, 47], Данілова В.М. [49, 50], Єршкова О.П. [51, 52], Ангелейко В.І. [53, 54], Даренського О.М. [55-57]; кандидатів технічних наук: Бромберга Е.М. [22], Крисанова Л.Г. [20, 21], Семенова І.І. [10, 11, 26, 58, 59], Татуревича А.П. [60, 61] та інших.

В Україні основні дослідження за тематикою стрілочних переводів в той же час проводилась в ДІТ (ДНУЗТ) (м. Дніпро) на кафедрі «Колія та колійне господарство» під керівництвом д.т.н., проф. М.А. Фрішмана [22-25, 31] та д.т.н., проф. Ю.Д. Волошко [32, 62], а з 2000 року в ДЕТУТ (ДУІТ) (м. Київ) під керівництвом д.т.н., проф. Е.І. Даніленка [1, 27, 36-38, 44].

Що стосується закордонних досліджень, то вони в основному спрямовані на вивчення життєвого циклу конструкцій стрілочних переводів для зменшення вартості на їх проектування та технічного обслуговування; використанні штучного інтелекту для розробки ефективної системи раннього виявлення зносу елементів конструкцій та попередженню розвитку дефектів стрілочних

переводів на ранніх стадіях [63-68], а також регламентування і впровадження внутрішньо-державних і міждержавних нормативних стандартів щодо властивостей геометрії колії та колійних пристроїв при їх проектуванні і впровадженні, без супроводження регламентованих нормативів науковими дослідженнями [44, 69-72].

Вертикальний знос поверхні кочення несучих металевих елементів стрілочних переводів є одним з двох головних критеріїв, що визначають термін працездатності конструкції (другий критерій - дефектність) [1, 36]. Співвідношення виходу металевих елементів стрілочних переводів по тих чи інших причинах на різних лініях і категоріях колій може бути різним і визначатись, насамперед, різницею в експлуатаційних умовах, в яких працюють дані конструкції. Дослідженнями [1, 36, 73, 74] та досвідом експлуатації встановлено, що в умовах магістрального залізничного транспорту на головних коліях вихід хрестовин по зносу складає близько 60%, по дефектах – близько 40%. При цьому дефекти в масовому порядку починають розвиватися лише після реалізації нормованої величини зносу поверхні кочення в межах  $h_{норм} = 4-6$  мм. Для колій, де реалізуються менші об'єми перевезень явно переважаючим фактором виходу хрестовин з ладу є знос їх поверхні кочення. Проблема ураження дефектами стрілок і хрестовин (як показує досвід експлуатації) більше пов'язана з якістю металу і особливостями конструкції та в меншій мірі – з особливостями експлуатації.

Процеси та закономірності формування вертикального зносу поверхні кочення хрестовин достатньо добре вивчені та неодноразово викладені в наукових працях [1, 36, 74]. Так встановлено, що для жорстких хрестовин, виготовлених з високомарганцевистої сталі, втрата висоти елемента в процесі експлуатації (сумарний вертикальний знос) відбувається в результаті реалізації декількох одночасних процесів: за рахунок зминання металу – в результаті дії великих контактних тисків, за рахунок стирання металу – внаслідок фрикційної взаємодії між колесами та поверхнею кочення, а також за рахунок осідання

складових елементів конструкції (в збірних конструкціях) у період стабілізації колії.

Строк служби елементів стрілочних переводів (стрілок і хрестовин) визначається величиною зносу поверхні кочення, що є функцією від їх роботи під поїзним навантаженням, і також залежить від типу і конструкції елементів переводу, якості матеріалу і технології виготовлення, умов експлуатації, тобто колісних навантажень, швидкостей руху, і також залежить від якості утримання стрілочних переводів.

Обґрунтуванням норм зносу елементів стрілочних переводів займалися багато вчених та спеціалістів у різний час і в різних країнах.

На початковому етапі експлуатації залізниць при призначенні допустимих нормативів зносу поверхні стрілок і хрестовин головними умовами кочення коліс по вказаним конструкціям були: по-перше, не допускати при коченні максимально зношених бандажів наїзду гребенів коліс на гайки і болти, що скріплюють конструктивні елементи збірних конструкцій хрестовин і стрілок; по-друге – недопущення кочення тих самих коліс гребенями по дну жолобів хрестовин.

Наприклад, доцент П.С. Дьяков в 1926 р. [75] запропонував визначати максимальне допустиме значення вертикального зносу осердя хрестовини  $h_{max}$  із геометричних співвідношень колеса і хрестовини, при яких виключалось кочення гребеня колеса по дну жолоба хрестовини:

$$h_{max} \leq h - (m + n), \quad (1.1)$$

тут  $h$  – глибина жолобу незношеної хрестовини;  $m$  – висота гребеня зношеного бандажу;  $n$  – максимально допустимий прокат.

В тій же роботі [75] було запропоновано визначати максимально допустимий знос хрестовин за умови недопущення наїзду сильно зношених бандажів гребенями на гайки болтів за формулою (1.2):

$$h_1 \leq \left(p - \frac{D}{2}\right) - (m + n), \quad (1.2)$$

тут  $p$  – відстань від верху головки рейки до осі горизонтального болта;  $D$  – найбільший розмір гайки;  $m$  і  $n$  – ті ж самі, що зазначені у формулі (1.1).

Виходячи з умов (1.1) і (1.2) П.С. Дьяков вважав, що вертикальний рівномірний знос осердя і вусовиків більше 10 мм недопустимий.

В.І. Полторацький [76] в 1936 р. проаналізувавши попередні дослідження в області зносу стрілочних переводів, рекомендував вимірювати знос в наступних місцях: на вусовику – в місцях найбільшого зносу по осі вусовика; на осерді – в перерізі шириною 40 мм по його осі. На той момент були запропоновані наступні норми зносу: вертикальний знос на головних, приймально-відправних та інших коліях:  $h_{\text{норм}} = 4, 6$  і  $8$  мм відповідно. Ці пропозиції були близькі до норм зносу частин стрілочних переводів, які були прийняті на вітчизняних залізницях в 1936 р.

Норми зносу, встановлені на вітчизняних залізницях в 1936 р. майже без змін приймалися в подальшому у всіх «Інструкціях по поточному утриманню залізничної колії» (1936 р., 1939 р., 1942-1943 р.р., 1950-1959 р.р.).

В 1952 р. норма допустимого вертикального зносу хрестовин була збільшена на 2 мм у зв'язку з укладанням хрестовин більш важкого типу (спочатку Р50 замість Р43, пізніше Р65) і досягла для головних колій 6 мм. Знос вусовика почали вимірювати не по осі, а на відстані  $\frac{1}{4}$  ширини литої частини від його робочої грані (8-11 мм від жолобу).

В період 1939-1941 р.р. і особливо після 1945 р. масштаби досліджень зносу елементів стрілочних переводів на вітчизняних залізницях (СРСР) збільшилась. Цими дослідженнями займалися ВНІЗТ, ВНЗ та лінійні працівники колійного господарства.

Починаючи з другої половини 1950-х р.р. кафедра «Залізнична колія» ЛІЗТу в багатьох наукових роботах досліджувала зносостійкість стрілок і хрестовин: збірних з литим осердям типу загального відливу зі зношуваними

частинами вусовиків з високомарганцевистої сталі і цільнолитих. В результаті досліджень були рекомендовані нові гарантійні строки служби хрестовин і вперше принципово було поставлене питання про роль нерівностей рейкової нитки в зоні стрілки і хрестовини, аналіз яких дозволяє найбільш об'єктивно і правильно судити про динамічну взаємодію колеса і стрілочного переводу. Знос осердя хрестовини було рекомендовано вимірювати в перерізі шириною 20 мм, де осердя зношується найбільш інтенсивно, а вусовиків – проти перерізів осердя 10-20 мм. Норми зносу пропонувалось встановлювати в залежності від швидкостей руху і марки хрестовини. При збільшенні швидкості руху поїздів відповідно і значення допустимого зносу хрестовини повинне було зменшуватись.

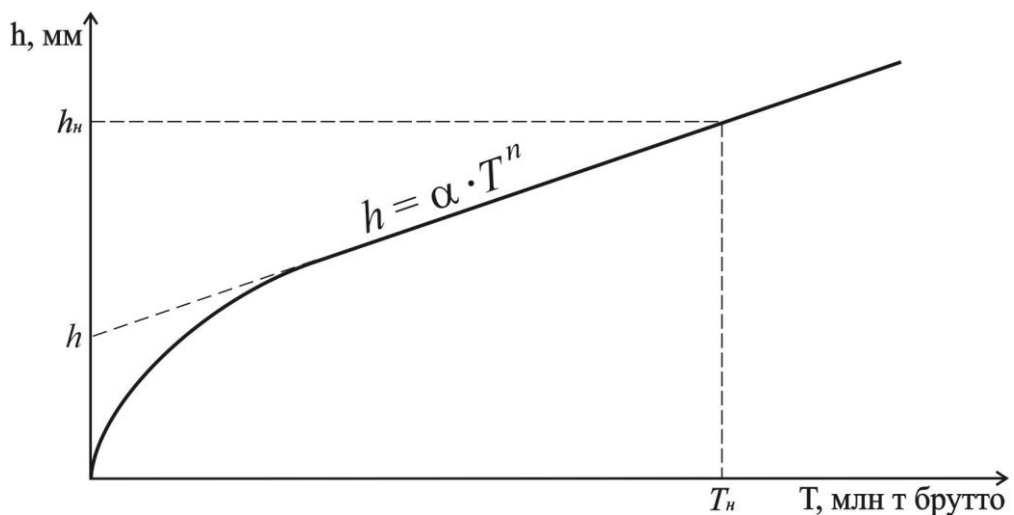


Рис. 1.1 Залежність зносу від пропущеного тоннажу

Для планування об'ємів виробництва стрілочних переводів та заміни зношених при експлуатації стрілок і хрестовин потрібно була методика визначення строків служби конструктивних елементів стрілочних переводів (стрілок і хрестовин) для різних типів і марок переводів. Тому в середині 1950-х рр. ВНІЗТом і ХІТом був проведений комплекс експериментальних досліджень [48, 7, 45], в результаті яких було запропоновано визначати залежність вертикального зносу поверхні кочення стрілок і хрестовин за формулами:

1) рівняння параболи:

$$h = \alpha \cdot T^n, \quad (1.3)$$

тут  $h$  – вертикальний знос поверхні кочення (мм);  $T$  – пропущений тоннаж (поточне значення) (млн. т брутто);  $\alpha, n$  – індивідуальні параметри кривої.

2) рівняння, що є близьким до параболи:

$$h = a \cdot \sqrt{T} + v \cdot T, \quad (1.4)$$

тут  $a, v$  – коефіцієнти, які є індивідуальними для кожної конструкції стрілочного перевodu;  $h, T$  – ті ж самі, що і в формулі (1.3).

3) рівняння для пологої частини параболи (починаючи з  $T=T_n$ ):

$$h = e + f \cdot (T - T_n), \quad (1.5)$$

тут  $e$  – ордината рівняння параболи (1.3), де закінчується криволінійна частина кривої зносу та починається прямолінійна частина;  $f$  – тангенс кута нахилу прямолінійної частини графіку до горизонталі;  $T_n$  – значення пропущеного тоннажу, що відповідає ординаті « $e$ »;  $T$  – те ж саме, що і в формулі (1.3) і (1.4).

В результаті досліджень ВНІЗТ і ХПТ [48, 7, 45] були запропоновані рекомендовані аналітичні залежності для визначення зносу поверхні кочення  $h$  (мм) в основних конструктивних елементах стрілочних переводів (стрілок і хрестовин) тодішнього виробництва (зі збірною конструкцією хрестовин із рейкових вусовиків з литим осердям) для типів рейок Р50 і Р43 і марок стрілочного перевodu 1/11 і 1/9. Також були визначені значення розрахункового пропущеного тоннажу  $T_{норм}$  при нормах вертикального зносу:  $h_{норм} = 6$  мм і 8 мм. Розрахункові результати вказаних досліджень наведені в табл. 1.1 за даними [48, 7, 45].

Таблиця 1.1

Елемент хрестовини	Аналітична залежність	Пропущений тоннаж при величині нормативного зносу $h$ (мм), млн. т брутто	
		6 мм	8 мм
Осердя типу Р50 в перерізі 40 мм	$h = 3,42 + 0,0435 \cdot (T - 47,7)$	107	153
Осердя типу Р43	$h = 4,74 + 0,0432 \cdot (T - 50,2)$	79	125
Вусовики типу Р43	$h = 0,277\sqrt{T} + 0,049 \cdot T$	57	80
Вусовики типу Р50	$h = 0,692\sqrt{T} + 0,0068 \cdot T$	64	109

В подальшому при дослідженнях зносостійкості стрілок і хрестовин було виявлено, що для практичного застосування найбільш правильно апроксимувати експериментальні криві зносу за формулою (1.4), так як формула (1.3) дає лише теоретичне тлумачення кривої зносу при тому коефіцієнти  $\alpha$  і  $n$  достатньо важко визначити. А формулу (1.5) рекомендовано застосовувати лише для прямолінійної частини графіка зносостійкості за рис. 1.1. Тому, вже з початку 1960-х р.р., за результатами досліджень ВНІЗТ і ЛІЗТ [3, 4, 30] для вітчизняних залізниць СРСР було рекомендовано експериментальні криві поверхні кочення стрілок і хрестовин апроксимувати формулою (1.4), що дає криву близьку до параболи.

На початку 60-х років існуючі встановлені на вітчизняних залізницях (СРСР) нормативи допустимого вертикального зносу поверхні кочення стрілочних переводів почали гальмувати розвиток високошвидкісного руху. При типовому поздовжньому профілі та поперечних обрисах високомарганцевистих хрестовин уже в період утворення наклепу металу (після пропуску 10-20 млн. т брутто) поверхня кочення зношувалась до половини норми, в результаті чого залишкова частина норми зносу ледь пропускала гарантійний тоннаж. Тому зацікавленість дослідників в цій сфері знову посилилась. Було встановлено, що знос хрестовини залежить і від розмірів жолобів. Цьому питанню були присвячені дослідження проф. Г.М. Шахунянца [7], який дав рекомендації по розмірам жолобів

хрестовин в горлі, що забезпечувало безударне проходження коліс рухомого складу.

В 1962 р. канд. техн. наук Г.І. Іващенко [29] були проаналізовані ширина колії і розміри жолобів в хрестовині і надані рекомендації по зміні їх норм і допусків.

Дослідженнями кафедри «Залізнична колія» ЛШЗТу [77] по обґрунтуванню норм вертикального зносу елементів стрілочного переводу типу Р65 марки 1/11 для підвищених швидкостей руху 140-160 км/год в 1964 р. були конкретизовані умови, виходячи з яких повинні встановлюватися норми зносу елементів стрілочних переводів, а саме: з умов міцності несучих елементів переводів, стійкості колії та екіпажів, плавності руху поїздів і геометричного співвідношення розмірів коліс і елементів переводу.

В подальшому, перш за все на основі досліджень професорів В.Ф. Яковлева і С.В. Амеліна [12, 13, 45, 77, 78,] був прийнятий інший підхід до встановлення норм зносу виходячи з аналізу нерівностей рейкових ниток, що обумовлюють динамічну взаємодію коліс і елементів переводу [45]. Більш правильно про придатність хрестовин можна говорити по ухилам і кривизні вертикальних траєкторій руху колеса по хрестовині і діапазоні швидкостей до 200 км/год, визначені допустимі значення сил і дані практичні рекомендації щодо швидкісних ділянок руху.

В дослідженнях ДШТу [79] (проф. Ю.Д. Волошко) та БелГУТ [80] (к.т.н. Е.І. Войтович, к.т.н. Є.К. Смиков), що були виконані на початку 1970 - х р.р., що для стрілочних переводів на залізобетонних плитах строк служби хрестовин типу Р50 визначений приблизно такий же, як і для хрестовин на дерев'яних брусах.

В 1973 р. у ВНШЗТ [8] проф. В.Г. Альбрехтом і канд. техн. наук Н.Н. Путрею виконані і узагальнені дані спостережень про надійність хрестовин типів Р50 та Р65. Було показано, що хрестовини типу Р65 марки 1/11 мають експлуатаційну стійкість по тоннажу до відмови в 4,5 рази і по фактичному строку служби в 2,5 рази меншу, ніж термозміцнені стрілки типу

P65, і на 32% більшу, ніж хрестовини тієї ж марки типу P50. Однак, переводи типу P65 більш жорсткі у порівнянні з переводами типу P50, тому мають більше контактно-втомлювальних пошкоджень.

В подальшому розробкою встановлення функціональних і аналітичних залежностей зносу стрілок і хрестовин від виконаної експлуатаційної роботи займалися багато відомих вітчизняних вчених в СРСР та в Україні, таких як: Амелин С.В., Смирнов М.П., Яковлев В.Ф., Глюзберг Б.Е., Даніленко Е.І. та інші [3, 43, 16, 81]. Проте в більшості виконаних досліджень авторам не вдалося вийти за рамки залежності зносу поверхні кочення у функції від пропущеного тоннажу  $h = f(T)$ . Виняток становлять дві останні з перерахованих вище робіт, а саме дослідження д.т.н. Б.Е. Глюзберга [16] і дослідження [81], виконані професором Даніленком Е.І.

Результати досліджень [16] д.т.н. Б.Е. Глюзберга представлені в остаточному вигляді залежностями:

$$\left. \begin{aligned} I_h &= \left( \frac{dh}{dN} \right)_{C40} = 6,13 \cdot 10^{-5} \cdot (P_{cm} + \Delta P_{дин}) \\ I_h &= \left( \frac{dh}{dN} \right)_{Y20} = 8,73 \cdot 10^{-5} (P_{cm} + \Delta P_{дин}) \end{aligned} \right\} \quad (1.6)$$

де  $I_h$  – інтенсивність зносу поверхні кочення хрестовин збірних типу P65 марки 1/11 з литим осердям з марганцевистої сталі;  $P_{cm}$  – статичне колісне навантаження;  $\Delta P_{дин}$  – динамічна добавка колісного навантаження; C40 – осердя в перетині 40 мм; Y20 – вусовик проти перерізу 20 мм осердя;  $N$  – кількість циклів колісних навантажень.

Слід відмітити, що формули (1.6) важко використовувати для практичних цілей при визначенні конкретної величини зносу конкретної конструкції в конкретний момент експлуатації перш за все тому, що по вказаних формулах визначається не абсолютний знос, а його інтенсивність, причому не на всій протяжності кривої зносу, а лише на прямолінійній її ділянці (рис. 1.1). Тим

більше неможливо використовувати формули (1.6) відносно хрестовин інших конструкцій чи інших типів і марок, крім досліджених в роботі Р65 1/11.

Проф. Даніленком Е.І. розроблена інша методика, за допомогою якої можна з достатньою точністю вирішувати задачу по прогнозуванню величини зносу  $h$  залежно від комплексу експлуатаційних умов. В роботі [81] і в ряді подальших робіт [1, 37, 38, 82] Даніленком Е.І. встановлена і в аналітичному вигляді описана багатофункціональна залежність зносу хрестовин стрілочних переводів у взаємозв'язку з широким спектром експлуатаційних чинників, що змінюються, таких як: пропущений тоннаж, осьові статичні навантаження, швидкості руху поїздів, діаметри коліс рухомого складу, динамічні силові добавки від впливу нерівностей, тобто  $h=f(T, P_{ст}, V, d, \Delta P_{дин})$ .

За даною методикою вертикальний знос поверхні кочення  $h$  визначається за відомою формулою:

$$h = a \cdot \sqrt{T} + \epsilon \cdot T, \quad (1.4)$$

Але, на відміну від усіх попередніх досліджень, визначення складових коефіцієнтів, що входять в формулу (1.4) виконується не на основі побудови експериментальних кривих, яких може не бути (наприклад, на стадії початкової експлуатації або на стадії проектування), а на основі аналітичних розрахунків, які комплексно враховують всі особливості експлуатаційних умов, при яких працює конструкція.

В формулі (1.4) визначаються наступні величини:

$$a_i = K_1 \cdot U_i + C_1 \mp \sqrt{A \cdot \sin(\omega_i \cdot U_i + \varphi_i) + K_2} \quad (1.7)$$

$$\epsilon = A \cdot \sin((\omega_i \cdot U_i + \varphi_i) + K_2) \quad (1.8)$$

тут  $K_1, K_2, C_1$  - числові коефіцієнти, що визначаються розрахунком та мають конкретні значення для кожної марки хрестовин відповідної конструкції;

$U_i$  - комплексна силова характеристика експлуатаційних умов, що знаходиться за формулою:

$$U_i = \frac{\bar{P}_{(T)} \cdot \bar{V}_{(T)}}{g \cdot \bar{d}_{(T)}} + \frac{\Delta P_k^{dun} \cdot \Delta t}{\bar{d}_{(T)}} \quad (1.9)$$

де  $\bar{P}_{(T)}$ ,  $\bar{V}_{(T)}$ ,  $\bar{d}_{(T)}$  - відповідно середньозважені (по тоннажу) значення колісних навантажень, що діють на рейку, швидкостей руху й діаметрів коліс рухомого складу, що рухається через розглядувану конструкцію;

$\Delta t$  - час дії динамічної сили  $\Delta P_k^{dun}$  на розглядуваній ділянці довжини конструкції (рекомендується приймати довжину ділянки, яка дорівнює довжині нерівності на колії), де реалізуються найбільші динамічні сили;

$\Delta P_k^{dun}$  - вертикальна динамічна інерційна сила, що виникає (додатково до статичного колісного навантаження) від впливу нерівності на колії (або колесі) та від коливань рухомого складу.

Вказана методика прогнозних розрахунків зносу поверхні кочення хрестовин і стрілок є практично найбільш прийнятною для практичних інженерних задач. Дана методика детальніше описана в 4 розділі дисертаційного дослідження.

Встановлено, що для жорстких хрестовин, які виготовлені з високомарганцевистої сталі зменшення висоти елемента при експлуатації, яка визначається як сумарний вертикальний знос, відбувається за рахунок зминання металу при дії великих контактних тисків та за рахунок стирання металу – внаслідок динамічної взаємодії між колесами та поверхнею кочення, а також за рахунок осадки конструкції у період приробки складових деталей при розгляді збірних конструкцій хрестовин.

Д.т.н., професор Даніленко Е.І. в своїх наукових дослідженнях [1, 37, 38, 81, 82] зі встановлення зносостійкості для різних типів і марок хрестовин на дерев'яній підрейковій основі довів, що найбільш принципово правильною для

опису процесу зношування поверхні кочення хрестовин є залежність виду (1.6). Цими ж дослідженнями [1, 37, 38, 81, 82] були встановлені та розраховані аналітичні рівняння виду (1.6) для широкого спектру конструкцій на дерев'яних брусах і широкого спектру експлуатаційних умов, що дозволило прогнозувати накопичення вертикального зносу елементів хрестовини для різних періодів їх експлуатації залежно не тільки від пропущеного тоннажу, а й від їх конструкції та умов в яких вони експлуатуються, що дало можливість прогнозування зносостійкості хрестовин стрілочних переводів в різні періоди експлуатації.

### **1.3 Постановка завдань дисертаційного дослідження**

Для прогнозування зносу елементів стрілочних переводів (рамних рейок, вістряків, вусовиків, осердь), які укладені в коліях Київського метрополітену, в дисертації було поставлене завдання провести експериментальні дослідження, при якому враховувались усі наведені вище особливості роботи рейкових елементів стрілочних переводів в реальних умовах експлуатації. При тому, необхідно брати до уваги характерні особливості їх експлуатаційної роботи під поїздами, які формують особливості накопичення зносу поверхні кочення елементів стрілочних переводів, такі як напрямок руху: ПШ – пошерстний або ПРШ (протишерстний); а також по прямій колії або на бокову колію.

Відповідно до попередніх досліджень [16, 35, 81, 83] елементи стрілки (рамна рейка, вістряки) стрілочних переводів (ПШ) і (ПРШ) напрямків також мають різні особливості формування зносу, тому їх слід розглядати окремо. Тому, виходячи з наведеного вище при проведенні експериментальних досліджень враховувались усі наведені вище особливості роботи рейкових елементів стрілочних переводів в реальних умовах експлуатації. Для досліджень було прийняте рішення відібрати стрілочні переводи типів Р65 і Р50 марки 1/9 на дерев'яних брусах типової конструкції, що експлуатуються в головних коліях Київського метрополітену для різного діапазону пропущеного тоннажу.

Після проведення експериментальних досліджень необхідно апроксимувати отримані натурних значення зносу елементів стрілочних переводів та встановити аналітичні залежності зносу в характерних перерізах за видом  $h = f(T)$ , які дадуть можливість прогнозувати накопичення зносу.

Для прогнозування зносостійкості та нормативних строків служби хрестовин стрілочних переводів для умов магістрального транспорту необхідно:

1) виконати аналіз попередніх досліджень та методик визначення строків служби елементів стрілочних переводів на українських залізницях;

2) для рішення експериментальної частини досліджень:

2.1) проаналізувати характеристику умов експлуатації стрілочних переводів та причини їх вилучення з колії,

2.2) провести статистичну обробку результатів експлуатаційних досліджень вилучених з колій елементів стрілочних переводів (хрестовини, вістряки, рамні рейки) або стрілочних переводів в цілому за період в три роки;

2.3) зробити аналіз зносостійкості хрестовин стрілочних переводів в межах розподілу по розрахунковій приведеній річній вантажонапруженості, що відповідає відповідній категорії залізничної колії;

3) для теоретичного рішення задачі:

3.1) розробити теоретичну методику прогнозування формування вертикального зносу поверхні кочення хрестовин на основі статистичних даних отриманих в процесі експлуатації стрілочних переводів;

3.2) за допомогою графоаналітичного методу побудувати графічні залежності зносу поверхні кочення від пропущеного тоннажу  $h_i = f(T_i)$  і виконати математичні обчислення відповідно до рівнянь для визначення нормативного розрахункового строку служби хрестовин ( $T_n^{розр}$ ), залежно від нормованої величини вертикального зносу поверхні кочення ( $h_n$ );

4) провести порівняльний аналіз отриманих теоретичних результатів з результатами експериментальних досліджень.

Для прогнозування гарантійних строків служби елементів стрілочних переводів (стрілок і хрестовин) для умов магістрального транспорту необхідно:

1) проаналізувати фактичні дані про працездатність стрілочних переводів в різних експлуатаційних умовах різних транспортних систем (магістральних залізниць, метрополітенів);

2) розробити теоретичну методику визначення гарантійних строків служби стрілок і хрестовин, яка заснована на зборі об'єктивних даних про роботу хрестовин в різних експлуатаційних умовах та статистичному аналізі

3) обробити зібрані дані методами математичної статистики з метою визначення ймовірності безвідмовної роботи вказаних конструкцій.

4) визначити математичну імовірність безвідмовної роботи за дефектами кожного з розглянутих елементів конструкцій стрілочних переводів.

5) встановити гарантійні строки служби для основних несучих елементів стрілочних переводів типів Р65 і Р50 марок 1/18, 1/11, 1/9 і 1/6, які експлуатуються в головних та приймально-відправних коліях на дерев'яних брусах залежно від умов експлуатації.

#### **1.4 Висновки до розділу 1**

На основі обґрунтування актуальності тематики дисертаційного дослідження та аналізу попередніх досліджень, які викладені в технічній літературі можна зробити наступні висновки:

1. В основному попередні дослідження були експериментальними і основані на експлуатаційних спостереженнях, тоді як досліджень теоретичного характеру виконано зовсім небагато.

2. Також, дуже мало досліджень виконано в напрямку порівняння зносостійкості та дефектостійкості стрілочних переводів при їх експлуатації в умовах різних транспортних систем.

3. Була сформульована мета і задачі даного дисертаційного дослідження, в наступному вигляді:

- проаналізувати існуючі дослідження з оцінки роботоспроможності стрілок і хрестовин протягом нормативних та гарантійних строків служби в залізничній колії при різних умовах експлуатації;
- провести експериментальні дослідження зі зносостійкості основних конструктивних елементів стрілочних переводів для умов експлуатації Київського метрополітену;
- зібрати, проаналізувати та обробити об'єктивні дані про роботу стрілок і хрестовин в різних експлуатаційних умовах магістрального транспорту з подальшим визначенням ймовірності безвідмовної роботи стрілочних переводів;
- розробити теоретичну методику для прогнозування нормативних строків служби за результатами їх роботи в колії в різних умовах експлуатації;
- розробити і запропонувати методику визначення гарантійних строків служби стрілок і хрестовин стрілочних переводів.

## РОЗДІЛ 2

### АНАЛІЗ НЕСПРАВНОСТЕЙ СТІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ ТА ЇХ ВПЛИВУ НА СТРОКИ СЛУЖБИ КОНСТРУКЦІЙ І БЕЗПЕКУ РУХУ ПОЇЗДІВ

Знос та дефекти, що утворюються на поверхні кочення основних елементів стрілочних переводів, а також утворення нерівностей на цих елементах, безпосередньо впливають на динамічну взаємодію колії з рухомим складом, тобто посилюють її, що в результаті веде до необхідності зниження встановлених швидкостей руху і в кінцевому підсумку є критерієм для визначення строків служби конструкцій.

#### **2.1 Знос та дефекти на поверхні кочення як основні причини відмов стрілок і хрестовин при експлуатації**

Термін служби хрестовин, стрілок та інших металевих частин стрілочних переводів визначається здебільшого нормами їхнього зносу. Однак у низці випадків дефекти, що виникають, істотно знижують термін служби, можливий за граничним зносом. Який із цих двох чинників буде переважаючим у формуванні терміну служби залежить від умов експлуатації [45, 89].

Вихід з експлуатації основних елементів стрілочних переводів (стрілок і хрестовин) по зносу та дефектам прийнято розділяти на такі групи:

1) початкові відмови, які головним чином з'являються у зв'язку із дефектами виготовлення або неправильним укладанням конструкцій; відмова конструкції по цим причинам настає після невеликого пропущеного тоннажу;

2) випадкові відмови, які виникають, при зрізанні стрілки або сходах рухомого складу. Їх поява рівноймовірна протягом всього строку служби елементів стрілочних переводів;

3) абразивні відмови у вигляді зносу та змінання поверхонь кочення елементів: абразивний знос має місце протягом всього періоду експлуатації; змінання виникають у початковий період експлуатації, коли переважають інтенсивні пластичні деформації;

4) раптові відмови, які викликані втомлювальними явищами, наприклад, контактнo-втомлювальними викришуваннями поверхні кочення хрестовин, поперечними зламами литої частини хрестовини та іншими дефектами.

Знос поверхні кочення несучих металевих елементів стрілочних переводів є одним із двох головних критеріїв, які визначають термін працездатності конструкції. Дослідженнями [74, 1, 83] встановлено, що наприклад, вихід хрестовин за зносом складає близько 60%, по дефектах близько 40%. Граничні нормативи зносу основних конструктивних елементів стрілочних переводів встановлені відповідними нормативними документами, до досягнення яких їх експлуатація із встановленими швидкостями вважається безпечною. При тому елементи стрілки і хрестовини зношуються з різною інтенсивністю по їх довжині та поперечному профілю. Елементи стрілки в більшій мірі зношуються в перерізі вістряків шириною 25-40 мм, а на хрестовинах знос реалізується на осерді та вусовиках проти перерізів від математичного центру хрестовини (МЦХ) до 20-40 мм осердя. Допустимі норми зносу елементів стрілочних переводів рекомендовано встановлювати, виходячи з допустимих величин силової взаємодії між колесами рухомого складу і конструкціями колії, яке визначається головним чином умовами експлуатації, геометричними параметрами траєкторії перекочування коліс і конструктивними параметрами стрілок і хрестовин.

Другим головним критерієм виходу стрілочних переводів з експлуатації є дефекти. Дефекти несучих елементів стрілок і хрестовин представляють серйозну небезпеку та відіграють важливу роль при визначенні строків служби стрілочних переводів. Дефекти можуть бути у вигляді напливів, сідловин, виколів, викришувань, зламів, нерівномірного зносу. Причинами виникнення дефектів можуть бути порушення технологій виготовлення, неналежне утримання переводів в колії, а також підвищений рівень вантажонапруженості і швидкостей руху поїздів, а також динамічних колісних навантажень. Із загальної кількості вилучення хрестовин з експлуатації по дефектам близько 20% замінюються через контактнo-втомлювальні викришування. Контактнo-втомлювальні дефекти можуть з'являтися на

стрілочних вістряках та рамних рейках і вони представляють серйозну небезпеку для стрілок.

Аналіз статистики виявлення дефектів стрілочних переводів, проведений на Укрзалізниці [88], засвідчив, що найбільша кількість дефектів виявляється на вусовиках та осердях хрестовин стрілочних переводів. Наступними за кількістю йдуть вістряки. Розподіл дефектів за елементами стрілочних переводів наведено на рис 2.1.

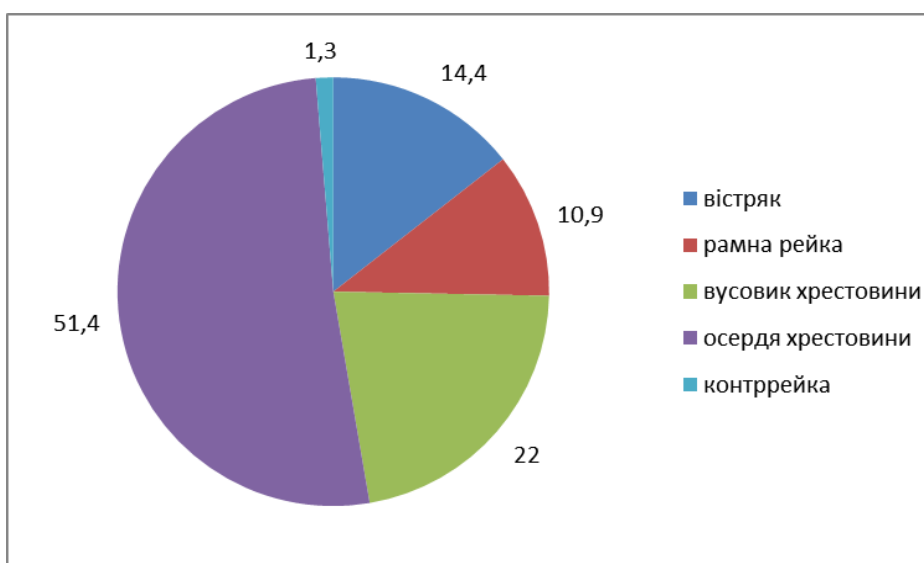


Рис. 2.1 Розподіл дефектів на стрілочних переводах за місцями їх утворення

## 2.2 Особливості процесів зносу елементів стрілочних переводів.

### Методика вимірювання. Допустимі нормативи зносу

Вертикальний знос поверхні кочення несучих металевих елементів стрілочних переводів є одним з двох головних критеріїв, що визначають термін працездатності конструкції (другий критерій - дефектність) [1, 36, 74]. У відсотковому співвідношенні вихід металевих елементів стрілочних переводів по тих чи інших причинах на різних лініях і категоріях колій може бути різним і визначатись, насамперед, різницею в експлуатаційних умовах, в яких працюють дані конструкції. Дослідженнями [1, 36, 73, 74] та досвідом експлуатації встановлено, що на головних коліях вихід хрестовин по зносу складає близько 60%, по дефектах близько 40%. При цьому дефекти в масовому

порядку починають розвиватися лише після зносу поверхні кочення 4-6 мм, тобто, фактично після реалізації нормованої величини зносу. Для колій менш відповідальних категорій явно переважаючим фактором виходу хрестовин з ладу є знос їх поверхні кочення. Практично проблема ураження дефектами стрілок і хрестовин більше пов'язана з якістю металу і особливостями конструкції та в меншій мірі – з особливостями експлуатації.

Вертикальний знос рамних рейок і вістряків визначається як різниця проектної та фактичної висоти кожного з цих елементів, при цьому: вістряки вимірюють у перерізі головки 50 мм і більше, а рамні рейки – в найбільш зношеному місці (рис. 2.2).

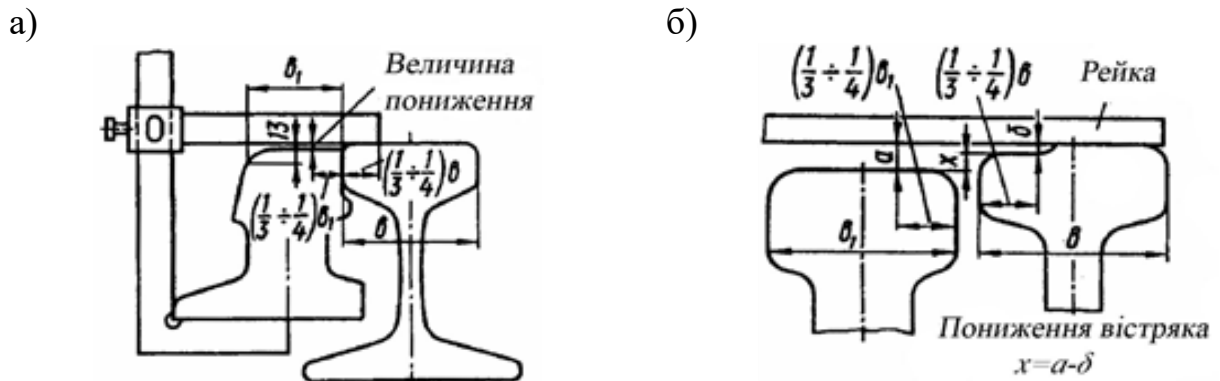


Рис. 2.2 Вимірювання вертикального зносу вістряків та пониження вістряка щодо рамної рейки: а) вимірювання пониження вістряка щодо рамної рейки в перерізі 50 мм і більше б) при нерівномірному вертикальному зносі рамної рейки

З метою забезпечення безпечного вкочування коліс рухомого складу на стрілку, необхідно контролювати взаємне положення по висоті верху головки вістряка й рамної рейки. На ділянці від вістря до перерізу вістряка 5 мм, тобто на перших двох брусах, верх головки вістряка не повинен виступати над верхньою крайкою зістругані частини головки рамної рейки. У цій зоні головка вістряка повинна мати чітко виражену гостру вершину без горизонтальної площадки. Від перерізу вістряка із шириною головки в 20 мм, положення верху головки вістряка контролюється відносно верху головки рамної рейки. У цій зоні зниження вістряка повинне відповідати проектним розмірам (рис. 2.2).

Вертикальний знос осердя гострої хрестовини (суцільнолитої чи збірної з литим осердям) вимірюється посередині поверхні кочення в перерізі, де до зносу його ширина на рівні 13 мм від поверхні кочення складала 40 мм (рис. 2.3).

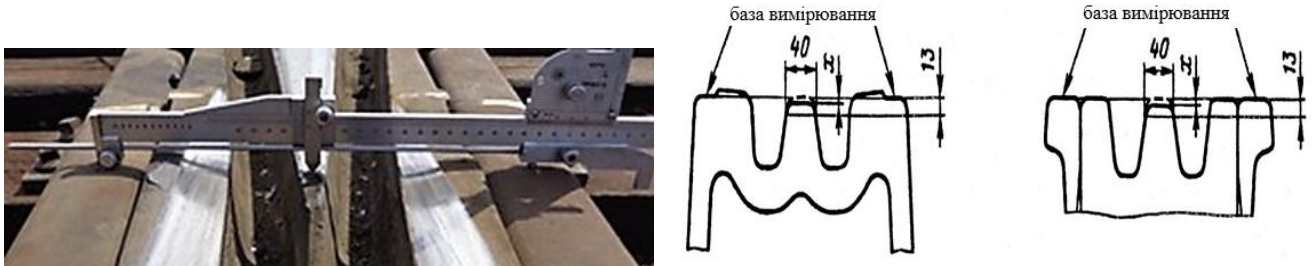


Рис. 2.3 Вимірювання вертикального зносу осердя суцільнолитої та збірної хрестовини (мм)



а)

б)

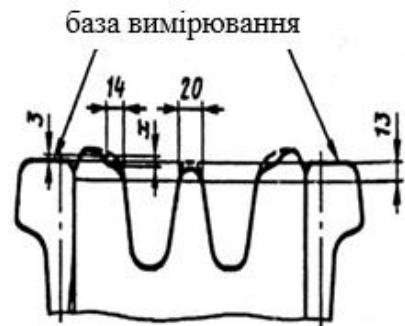
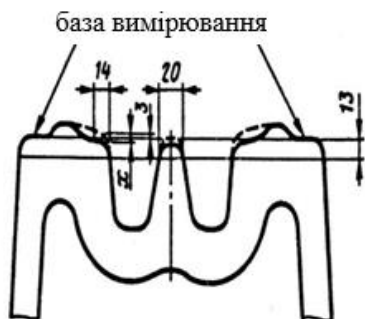


Рис. 2.4 Вимірювання вертикального зносу вусовиків хрестовин (мм):

а) суцільнолитої гострої хрестовин; б) збірної хрестовини

Вертикальний знос вусовиків вимірюється на відстані  $\frac{3}{4}$  ширини його литої частини, рахуючи від лінії врізання в найбільш зношеному місці, розміщеному між горлом хрестовини і перерізом осердя шириною 30 мм (рис. 2.4).

Знос несучих металевих елементів є одним з найпоширеніших видів відступів від проектних нормативних розмірів на стрілочних переводах. Відповідно до «Інструкції з улаштування та утримання колій залізниць України» [85] встановлені граничні нормативи вертикального й бокового зносу для основних несучих елементів стрілочних переводів, до досягнення яких їх експлуатація із установленими швидкостями вважається безпечною. При перевищенні цих нормативів переводи вважаються дефектними, і відповідно до умов безпеки на цих переводах вводиться обмеження швидкостей руху поїздів. Найбільші допустимі норми вертикального та бокового зносу елементів стрілочних переводів наведені в табл. 2.1, 2.2.

Таблиця 2.1

Найбільші допустимі норми вертикального зносу елементів стрілочних переводів, мм

Елементи переводу	При швидкостях руху поїздів і типах рейок							
	пасаж. поїзди >140-160 км/год	пасаж. поїзди >120-140 км/год	вантаж. поїзди >80-90 км/год	пасаж. поїзди >100-120 км/год	пасаж. поїзди до 100 км/год, вантаж. поїзди до 80 км/год	всі поїзди до 40 км/год		Р43 і легше
	60E1 (UIC60), P65			P50, 60E1(UIC60), P65				
	головні колії					прийм.-відпр. колії	інші колії	інші колії
Вертикальний знос								
Рамні рейки	5	5	8	6	8	10	12	10
Вістряки	5	5	8	6	8	10	12	10
Осердя хрестовини в перетині 40 мм і вусовики в місці найбільшого зносу	5	5	6	5	6	8 (P50) 10 (P65, 60E1 (UIC60))	10 (P50) 12 (P65, 60E1 (UIC60))	10
Рейки з'єднувальних колій	5	6	9	10	10 (P50) 12 (P65, 60E1 (UIC60))	10 (P50) 13 (P65, 60E1 (UIC60))	10 (P50) 13 (P65, 60E1 (UIC60))	10

**Примітка:** Боковий знос рейкових елементів, вістряків і хрестовин не розглядається при визначенні нормативних і гарантійних строків служби стрілочних переводів.

## Найбільші допустимі норми бокового зносу елементів стрілочних переводів

Елементи переводу	При швидкостях руху поїздів і типах рейок						
	пасаж. поїзди >120-140 км/год	вантаж. поїзди >80-90 км/год	пасаж. поїзди >100-120 км/год	пасаж. поїзди до 100 км/год, вантаж. поїзди до 80 км/год.	всі поїзди до 40 км/год		Р43 і легше
	UIC60, P65		P50, UIC60, P65				
	головні колії				прийм.-відпр. колії	інші колії	інші колії
Рамні рейки і вістря в найбільш зношеному місці	5	8	6	8	8	11	11
Рамні рейки проти вістря вістряків	5	6	6	6	6	6	6

**Примітки:** 1. Боковий знос рамної рейки стрілочних переводів на головних коліях проти вістря вістряка може бути збільшеним до значень, допустимих за межами вістря для приймально-відправних колій та інших при швидкості руху до 40 км/год. При цьому обов'язково повинні виконуватися вимоги до взаємного положення вістряка та рамної рейки, що контролюється шаблоном КОР.

2. Допустима величина бокового зносу рейок з'єднувальних колій стрілочних переводів приймається такою ж, як для рейок, що примикають до переводу.

Зазначені норми зносу повинні служити підставою для ремонту і заміни частин стрілочних переводів. При перевищенні зазначених нормативів, аж до заміни, переводи можуть експлуатуватися з обмеженням швидкостей.

Зазначені норми зносу служать підставою для призначення ремонту або заміни частин стрілочних переводів. При перевищенні зазначених нормативів, аж до заміни, переводи можуть експлуатуватися з обмеженням швидкостей [85, 90].

### 2.3 Утворення дефектів на поверхні кочення стрілок і хрестовин стрілочних переводів

Дефекти, які виникають на поверхні кочення несучих металевих елементів стрілочних переводів є другим з двох головних критеріїв, що визначають термін працездатності конструкції (перший критерій - знос) [1, 36, 74]. Як зазначалося вище, співвідношення виходу металевих елементів стрілочних

переводів по тих чи інших причинах на різних лініях і категоріях колій може бути різним і визначатись, насамперед, різницею в експлуатаційних умовах, в яких працюють дані конструкції. Встановлено, що на головних коліях вихід хрестовин по дефектах складає близько 40%. При цьому дефекти в масовому порядку починають розвиватися лише після зносу поверхні кочення 4-6 мм, тобто, фактично після реалізації нормованої величини зносу. Практично проблема ураження дефектами стрілок і хрестовин більше пов'язана з якістю металу і особливостями конструкції та в меншій мірі – з особливостями експлуатації.

Причинами виникнення дефектів є порушення технологій виготовлення та збирання конструкцій на заводі, а також неналежне утримання переводів в колії. З досвіду експлуатації стрілочних переводів відомо, що збільшення осьових навантажень, вантажонапруженості та швидкостей руху викликає помітне зниження дефектостійкості хрестовин. Із загальної кількості вилучення хрестовин з експлуатації, по дефектам їх вихід складає приблизно 40%, при цьому близько 20% хрестовин замінюються через контактно-втомлювальні викришування. Строк служби таких хрестовин в 2-2,5 рази менше строку служби хрестовин, які замінюються по зносу. Основною причиною викришування металу в елементах хрестовин є втрата пластичних властивостей металу. Контактно-втомлювальні дефекти представляють серйозну небезпеку і для стрілок. На рамних рейках по боковому напрямку утворюються спливи і викришування металу, які розміщуються від початку вістряка до перерізу 20 мм у вигляді доріжок, які в подальшому перетворюються у виколи головки рейки. Такі дефекти розвиваються після пропуску тоннажу 20-100 млн. т брутто. Такі ж дефекти виникають також і на вістряках.

Крім того, до гостродефектних відносяться елементи переводів, що мають специфічні пошкодження, якщо вони мають небезпечний вигляд або розміри. Ці пошкодження відзначені в [87] індексом ОД.

До дефектних на інших станційних коліях відносяться: рейки з'єднувальних колій, вістряки, рамні рейки й хрестовини з деформаціями й

пошкодженнями, наведеними у відповідних пунктах [87], що потребують обмеження швидкостей руху на цих коліях. А також до дефектних відносяться вказані елементи стрілочних переводів, що мають знос більше відзначеного в табл. 2.1 і 2.2 (для даних колій).

Таблиця 2.3

Класифікація дефектів елементів стрілочних переводів

Схематичне зображення	Найменування дефекту	Позначення
1	2	3
Дефекти і пошкодження металевих елементів в зоні стрілки		
	Виколування, викришування металу на головці вістряка з причини несвоєчасного зняття накату металу, недостатньої контактної-втомлювальної міцності	ДО.13.2(Д,ГД) ДО.11.2(Д,ГД)
	Викришування або виколування металу з головки вістряка в зоні вістря через посилену бокову дію коліс	ДО.14.1(Д,ГД)
	Виколування загартованого шару з головки вістряка	ДО.17.2 (Д,ГД)
	Поперечні тріщини в головці або повний злам через них в зоні випресовування вістряка	ДО.20.4(ГД)
	Сидловина або зминання головки в зоні випресовування вістряка	ДО.40.4(Д,ГД)
	Сидловина на поверхні кочення головки вістряка в зоні бокового стругання від першої тяги до перетину 50 мм внаслідок підвищення його над рамною рейкою	ДО.43.2(Д,ГД)
	Поперечні тріщини або злами через них в шийці вістряка, в тому числі в зоні кріплення стрілочної тяги, які проходять через болтові отвори	ДО.50.1-2 (ГД)
	Тріщина або виколування в підшві вістряка, в тому числі в зоні випресовування, та злами через них	ДО.60.2(ГД) ДО.60.4(ГД)
	Місцевий знос підшви вістряка в зонах обпирання на вістрякові подушки стрілочних підкладок	ДО.61.2

Дефекти і пошкодження в зоні хрестовинного вузла		
1	2	3
	Поперечні тріщини і злами хвостовиків осердь цільнолитих хрестовин	ДС.20.1(Д,ГД)
	Поперечні тріщини литої частини вусовика і осердя через дефекти відливки	ДС.20.2(ГД) ДУ.20.2(ГД)
	Поперечні тріщини і злами рейкового вусовика в зоні переднього кінця врізання через недоліки конструкції врізання	ДУ.22.5(ГД)
	Поперечні тріщини на верхній поверхні осердя або вусовика, або повний їх злам внаслідок порушень технології наплавлення	ДС.28.2(Д,ГД) ДУ.28.2(Д,ГД)
	Горизонтальне розшарування металу або горизонтальна тріщина литої частини вусовика або осердя через дефекти виготовлення.	ДС.30Г.1-2(Д,ГД) ДУ.30Г.2(Д,ГД)
	Сідловини на вусовику в зоні переднього кінця врізання і на осерді в вузькій його частині.	ДС.41.1(Д,ГД) ДУ.41.1(Д,ГД)
	Тріщини в шийці хвостової частини осердя через присутність ливарних дефектів	ДС.50.1(ГД)
	Тріщини в підшві хвостової частини осердя через дефекти відливки або через дефекти обробки підшви в зоні пазух під стикові накладки	ДС.60.1-2(Д,ГД)

До гостродефектних на інших станційних коліях відносять рейки з'єднувальних колій, вістряки, рамні рейки, хрестовини й контррейки:

- а) з виколом головки;
- б) з вертикальним зносом, при якому реборди коліс зачіпляють за гайки колійних болтів і дно жолобів хрестовин;

- в) з поперечним зломом;
- г) з поперечними тріщинами вістряків і контррейок;
- д) з іншими дефектами, необхідність негайної заміни яких установлюється колійним майстром.

Гостродефектні елементи стрілочних переводів заміняють негайно, дефектні – у плановому порядку. До заміни за ними встановлюється посилений нагляд. Умови експлуатації елементів стрілочних переводів з конкретними видами дефектів, в тому числі допустимі швидкості руху по них наведені в «Інструкції з улаштування та утримання колій залізниць України» [85].

Для прикладу в табл. 2.3 приведений фрагмент класифікації дефектів елементів стрілочних переводів відповідно до [87].

Для своєчасного виявлення дефектів в елементах стрілочних переводів, крім візуального огляду, використовують знімні засоби неруйнівного контролю – дефектоскопи, а для контролю геометричних параметрів стрілочних переводів використовують колісвимірювальні прилади різних модифікацій [91, 92].

## **2.4 Аналіз вилучення з експлуатації елементів стрілок і хрестовин**

Аналіз вилучення з експлуатації стрілок і хрестовин для найбільш поширених стрілочних переводів типу Р65 марки 1/11 можна прокоментувати на прикладі результатів досліджень [93], що були виконані в 2000-х роках та в загальному вигляді наведено на рис. 2.5 та 2.6.

### **2.4.1 Аналіз відмов елементів стрілок**

Як показують результати досліджень [1, 74, 83, 93], основною причиною виходу вістряків і рамних рейок на ранній стадії експлуатації, тобто до досягнення середньомережевого напрацювання, є їхнє бічне зношування та викришування вістряків у тонких перерізах – дефекти ДО.11.2, ДО.14.1. Найхарактернішим є вихід елементів за бічним зносом і викришуванням для

стрілочних переводів з переважним рухом рухомого складу по бічному напрямку та стрілочних переводів, які експлуатуються в кривих ділянках колії. Цими дефектами, як правило, уражаються криволінійні вістряки і прямі рамні рейки в зоні переднього вильоту.

Вихід вістряків за іншими видами дефектів відбувається на пізнішій стадії експлуатації. Аналіз виходу за цими дефектами виконано на основі узагальнення даних наших та закордонних досліджень щодо вилучення з колії вістряків наведено на рис. 2.5.

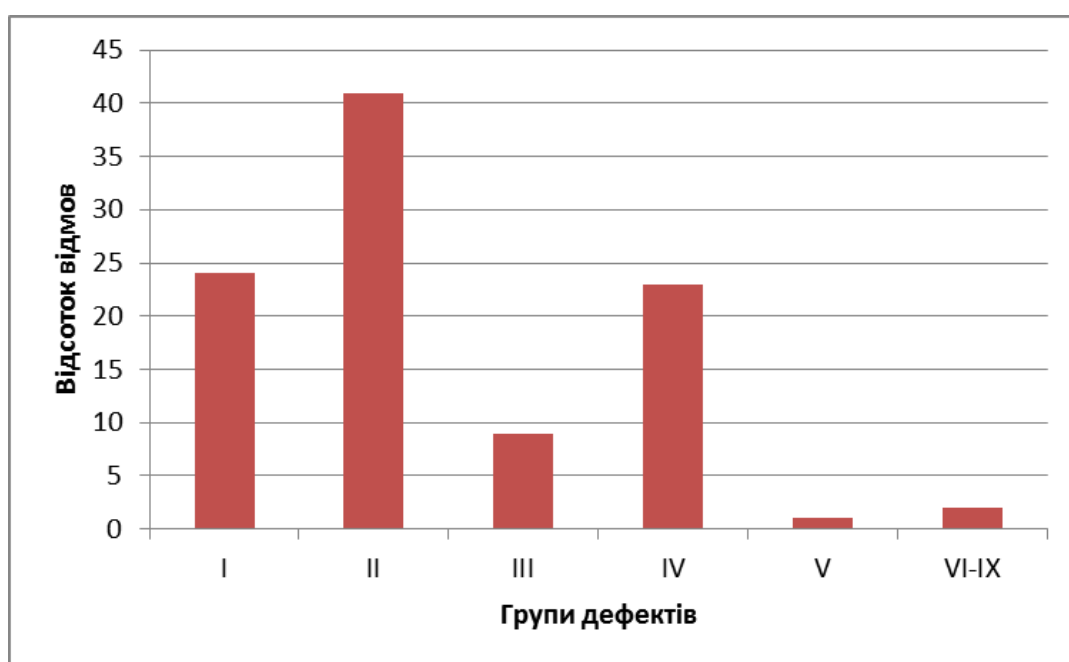


Рис. 2.5 Діаграма розподілу відмов вістряків типу Р65 у головних і приймально-відправних коліях за групами дефектів (на діаграмі не вказані вістряки, які отримали відмову за зносом)

Найбільшу кількість вістряків (41%) вилучають з колії за дефектами контактно-втомного походження II групи класифікації. З них близько 6% виходить за характерним для стрілочних переводів дефектом ДО.20.4 – тріщини і злами в головці у зоні випресовування, решта – за загальним для рейок дефектом 21.2.

За дефектами I групи класифікації (викришування і виколи металу поверхні катання) вилучено 24% вістряків. При цьому дефекти характерні для стрілочних переводів ДО.11.2 і ДО. 14.1 становили близько 10%.

Дефекти IV групи становили 23%, зокрема характерні для стрілочних переводів дефекти ДО.40.4 і ДО.43.2, що представляють сідловини на головці в зоні випресовування та в перерізі 50 мм (близько 5%).

Близько 9% вістряків вийшли за спільними з рейками дефектами III групи (виколи металу через дефекти металургійного походження).

Дефекти V групи (дефекти в шийці випресованої частини), що склали близько 1%, можна віднести до особливостей конструкції поворотних вістряків, це збільшений діаметр стикового отвору для встановлення розпірної втулки вкладково-накладкового кріплення вістряків та збільшені динамічні впливи в цих стиках.

Біля 2% вістряків вилучено з колії через деформацію вістряків і як наслідок неприлягання до подушок і рамних рейок (дефект ДО.80).

Загалом причини утворення дефектів у вістряках можна розділити на три групи: 1) що визначаються впливом конструкції і характером та інтенсивністю руху стрілочними переводами; 2) що залежать від якості матеріалів і виготовлення; 3) що розвиваються через недоліки утримання.

За дефектами, на утворення яких впливає конструкція стрілочних переводів, згідно з аналізом з колії вилучають щонайменше 23% вістряків. Це пояснюється підвищеними динамічними впливами в зоні стрілки та необхідністю подальшої оптимізації параметрів вістряків і рамних рейок та вимог до їх виготовлення.

#### **2.4.2 Аналіз відмов елементів хрестовин**

Хрестовина є найбільш динамічно навантаженим елементом стрілочного переводу та має конструкційні особливості, пов'язані з наявністю шкідливого простору, різного виду з'єднань деталей з вуглецевого і високомарганцовистого

лиття, елементів рейкового прокату тощо. При цьому на відміну від інших елементів стрілочного переводу (рамні рейки, вістряки, рейки з'єднувальних колій) на які припадає тільки частина навантаження, від загальної кількості пропущеного переводом вантажу, пропорційна частці руху основною і бічною колією, на хрестовину припадає 100% такого навантаження.

Відповідно до прийнятої на Укрзалізниці класифікації [87] усі дефекти за причинами їхньої появи та розвитку розділяють на такі основні категорії:

- дефекти через природні деградаційні процеси під час експлуатації;
- дефекти, пов'язані з порушенням технології виготовлення заводом-виробником (виробничий брак);
- дефекти через порушення умов експлуатації та норм утримання, а також технології виконання робіт з обслуговування хрестовин під час експлуатації;
- дефекти, пов'язані з особливостями конструкції.

У реальних умовах експлуатації причина появи і розвитку дефектів стрілочних переводів має, як правило, комплексний характер із домінуванням будь-якої з причин.

За видом дефекти хрестовин розділяють на: сідловини; спливи металу; викришування і відшарування; тріщини і виколи металу поверхонь катання; тріщини в зварних з'єднаннях елементів хрестовин; втомні тріщини литої частини хрестовини; втомні тріщини рейкових елементів.

Дефектом, характерним для всіх конструкцій хрестовин з нерухомим осердям, є відшарування і викришування на поверхні катання литої частини вусовка і осердя у зоні перекочування через підвищений динамічний вплив коліс (ДС.14.1-2, ДУ.14.2). Під час проходу коліс через цю зону, що характеризується наявністю шкідливого простору, виникають ударні динамічні сили, які призводять до інтенсивної пластичної деформації високомарганцовистої сталі, наслідком якої є утворення напливів. Несвоєчасне видалення таких напливів призводить до відшарування та викришування металу [87].

Вплив багатоциклових ударних динамічних навантажень від коліс рухомого складу на хрестовини з високомарганцовистої сталі призводить до того, що в деталях хрестовин можуть виникати і розвиватися дефекти, що мають втомний характер.

Загальний аналіз причин виходу з ладу хрестовин показав, що їхні відмови більшою мірою характеризуються зносом і викришуванням металу на робочих поверхнях. На рис. 2.6 наведено результати досліджень [93] щодо вилучення з експлуатації хрестовин за різними видами дефектів. З аналізу рис. 2.6 видно, що частка дефектів, пов'язаних із викришуванням металу хрестовин (ДУ.12.5, ДС.13.2, ДУ13.2, ДС14.1-2, ДУ14.2), складає 32%. Крім того, вилучення з колії з причини викрашування наплавленого шару на поверхні кочення литої частини вусовика й осердя (ДС.18.1-2, ДУ.18.2) становить 19%. Викришування наплавленого шару, як правило, відбувається через порушення технології наплавлення (неякісне шліфування перед наплавленням, порушення режимів наплавлення тощо), а також не видалені перед наплавленням дефекти в основному металі виливки. При цьому частка інших дефектів у сумі становить близько 8%.

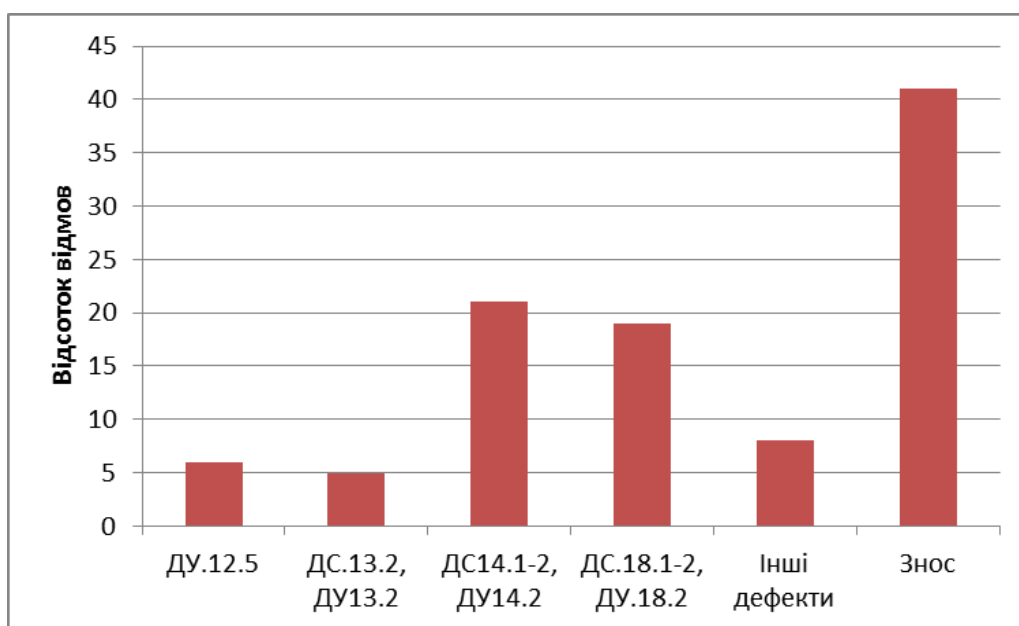


Рис. 2.6 Діаграма розподілу відмов хрестовин за видами дефектів

Додатково слід відмітити, що конструкції стрілочних переводів постійно модернізуються, і хрестовини у тому числі. Так на Дніпропетровському стрілочному заводі було розроблено та впроваджено конструкцію моноблочної хрестовини, а для можливості вварювання переводу в безстикову колію застосували приварні рейкові закінчення [94]. Тож виявилися нові види дефектів хрестовин, які не відображено в діючій нормативній документації.

Одним із ново виявлених дефектів хрестовин є тріщина в поздовжньому шві приварних рейкових закінчень.

Ще один вид дефекту – викришування металу на поверхні кочення приварних рейкових закінчень. Хрестовини з такими дефектами є гостродефектними і повинні підлягати негайній заміні. Для їх виявлення може застосовуватися візуальний огляд, також можуть використовуватися методи ультразвукової та кольорової дефектоскопії.

## **2.5 Нерівності на поверхні кочення стрілок і хрестовин стрілочних переводів та їх вплив на взаємодію рухомого складу і колії**

Як вже вказано вище, нерівності на поверхні кочення стрілок і хрестовин є третім по значущості видом несправностей в стрілочних переводах, який суттєво впливає на строки служби цих конструкцій. Крім того, нерівності на поверхні кочення стрілок і хрестовин можна вважати головними факторами, які безпосередньо впливають на динамічну взаємодію коліс рухомого складу і колії і в кінцевому результаті впливають на встановлення допустимих швидкостей руху по стрілочним переводам.

Питомий вплив різних факторів у формуванні динамічної взаємодії коліс рухомого складу і колії є неоднаковим. Встановлено, що з багатьох збуджуючих факторів нерівності на колії і колесах рухомого складу, практично повністю визначають формування сил інерції необресорених мас і сил, обумовлених коливаннями обресореної будови, тобто тих сил, за рахунок яких фактично повністю відбувається формування силової взаємодії між

конструкціями колії і колесами рухомого складу. Тому, при дослідженнях силової динаміки в зоні стрілочних переводів необхідно в першу чергу враховувати вплив на цей процес нерівностей на колії і колесах. При цьому ізольовані вертикальні нерівності рейкових ниток в межах довжини стрілочного переводу (при справних ходових частинах рухомого складу) є визначаючими факторами в збуренні коливального процесу системи «екіпаж-колія» і формуванні динамічних сил взаємодії.

Встановлено, що найбільш вразливою зоною для накопичення дефектів і нерівностей в межах стрілочного переводу є зона, яка розповсюджується на всю протяжність «шкідливого простору» в місці пересічення рейкових ниток на хрестовині від горла хрестовини до перерізів 20-40 мм осердя, де колесо повністю переходить на кочення по поверхні осердя. Саме в цій зоні, за рахунок швидкого зношування вузьких контактних площ на вусовику та осерді, в процесі експлуатації швидко утворюються нерівності, які і є збуджуючими факторами коливального процесу при русі рухомого складу по хрестовинах, і утворення додаткових інерційних сил взаємодії в системі «колесо-рейка» [10, 13, 27, 33, 34, 36, 44, 59]. Дослідження вертикальних нерівностей на хрестовинах представляє окремий науковий інтерес і в даній дисертації не розглядається.

Встановлено, що в межах довжини рейкових пересічень – хрестовин, всі види вертикальних геометричних нерівностей на поверхні кочення розподіляються на п'ять основних груп (рис. 2.7).

Найбільш поширеними при цьому являються нерівності синусоїдальної форми, а також форми впадин і горбів. Довжина нерівності може досягати 3 метри і більше, в деяких випадках нерівність розповсюджується на всю довжину хрестовини. Найбільш несприятливими у відношенні силової взаємодії являються нерівності типу впадин, синусоїдальні і хвилеподібні. Найбільші сили передаються на колію в зонах входу коліс на ухили зустрічного напрямку. Особливо несприятливі у відношенні силової взаємодії є нерівності зі сходинками.

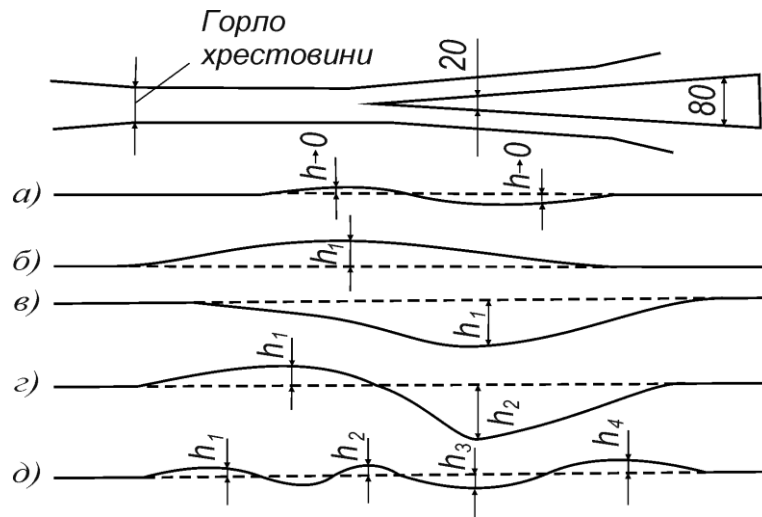


Рис. 2.7 Основні види вертикальних геометричних нерівностей на поверхні кочення хрестовин за класифікацією проф. В.Ф. Яковлева [1, 11, 36]:

а) прямолінійна, б) горб, в) впадина, г) синусоїдальна, д) хвилеподібна

Багатьма вітчизняними дослідженнями, в тому числі наукової школи проф. В.Ф. Яковлева (ЛПЗТ, СРСР) [3, 4, 9, 10-13, 58, 59], а також української школи (ДПТ, ДУІТ) проф. Е.І. Даніленка [1, 36-38, 44, 81, 82] рекомендовано встановлювати допустимі норми зносу елементів стрілочних переводів, виходячи з допустимих величин силової взаємодії, яке визначається головним чином експлуатаційними факторами (умови експлуатації), геометричними параметрами траєкторії перекочування коліс і конструктивними параметрами експлуатованих виробів.

### 2.5.1 Особливості взаємодії рухомого складу і колії при русі по нерівностям на стрілочних переводах

Призначення стрілочних переводів і їх конструктивне оформлення передбачають особливості взаємодії рухомого складу й колії при русі по цих конструкціях [1, 22-25, 34, 36]. Виконуючи функцію переміщення рухомого складу з однієї колії на іншу, стрілочний перевід має в складі своєї конструкції стрілку, хрестовину і рейкові нитки, що з'єднуються й пересікаються, по яких колесам необхідно переміщатися з однієї рейкової нитки на іншу.

При русі екіпажів між стрілкою і хрестовиною по перевідних коліях по прямому напрямку взаємодія рухомого складу і колії мало відрізняється від взаємодії на звичайній колії. Однак при русі по перевідних коліях на боковий напрямок відмінністю від руху по звичайній колії є те, що в перевідній кривій стрілочного переводу не передбачене підвищення зовнішньої рейки (через складності конструктивного оформлення його в межах довжини стрілочного переводу), тому швидкості руху рухомого складу по боковій колії стрілочних переводів повинні бути менші, ніж швидкості руху по кривих в звичайній колії [97].

При русі по стрілці по прямій колії (як у пошерстному напрямку (ПШ) так і в протишерстному (ПРШ)) колесо проходить через горизонтальну нерівність на колії в зоні початку вістряків, де ширину колії в більшості проектів стрілочних переводів роблять більшою, ніж у передньому вильоті рамних рейок і ніж на іншій частині довжини прямолінійного напрямку переводу (рис. 2.8). Величина розширення колії в перерізі проти вістря вістряків у сучасних вітчизняних переводах коливається від 1 мм до 8 мм [1, 36].

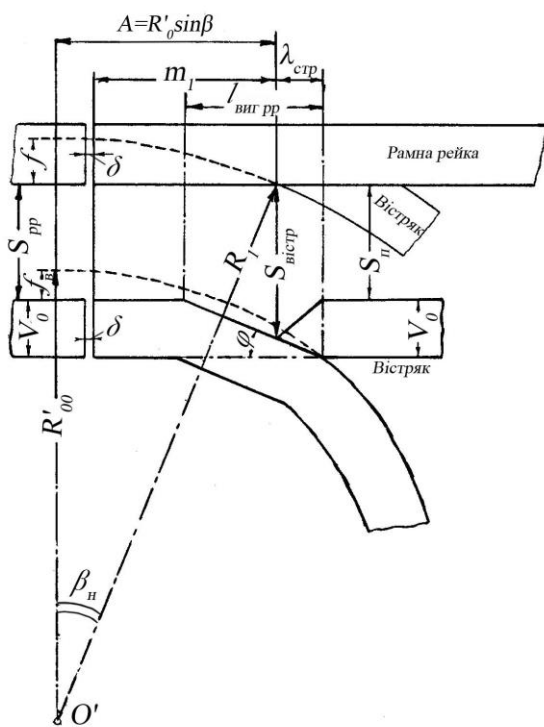


Рис. 2.8 Розширення рейкової колії проти вістря вістряків

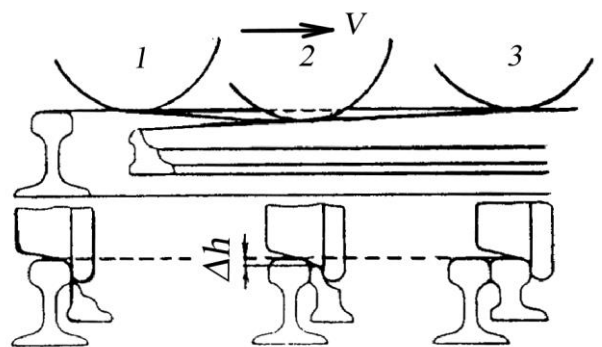


Рис. 2.9 Рух колеса по вертикальній нерівності на стрілці

Долаючи горизонтальну нерівність, колесо має можливість горизонтального переміщення (наприклад, за рахунок виляння), і одночасно це колесо змушено долає вертикальну нерівність, що пов'язано з переміщенням круга кочення по конічному бандажу, і, отже, зміною величини радіуса кочення, а значить переміщенням центру колеса у вертикальній площині. Таким чином, у зоні горизонтальної нерівності неминуче виникають додаткові динамічні сили як горизонтальні, так і вертикальні.

Іншим (і в більшості випадків головним) джерелом збудження вертикальної динаміки при русі колеса по стрілці є вертикальна нерівність у зоні перекочування колеса з рамної рейки на вістряк при русі як по прямій колії, так і на бокову колію. У силу конструктивних особливостей обладнання вузла примикання вістряка до рамної рейки, колесо, при перекочуванні його з рамної рейки на вістряк, спочатку (у першій фазі) котиться по площині кочення рамної рейки, потім (у другій фазі) при поступовому переході на вістряк воно опускається й переходить на круг кочення меншого діаметра, внаслідок пониження верху головки вістряка в тонких перерізах (за рахунок вертикальної строжки), і нарешті в заключній (третій фазі), коли колесо повністю переходить на вістряк, воно знову піднімається на первісний рівень кочення (рис. 2.9), тому що верх головки вістряка, починаючи від перерізу 50 мм і далі до кореня, повинен бути розташований в одному рівні з верхом головки рамної рейки. У результаті при русі по зазначеній нерівності центр колеса робить вертикальні переміщення вниз - нагору на глибину  $\Delta h$ . Глибина нерівності навіть на нових незношених стрілках може досягати  $h = 2,0$  мм, а з урахуванням змін ширини колії в цій зоні, глибина нерівності може досягати 3 мм і більше. Дослідження [32] показали, що довжина нерівності в зоні перекочування вістряк – рамна рейка на вістряках марок 1/11 - 1/9 може становити 3,5 - 4,0 м. Тобто, середній ухил вертикальних нерівностей у цій зоні навіть для незношених стрілок може досягати 0,008.

При вході екіпажа на стрілку *при русі в протишерстному напрямку (ПРШ) на бокову колію* колесо при перекочуванні з рамної рейки на вістряк змушено долати нерівність на колії як у горизонтальній, так і у вертикальній площині.

Нерівність у горизонтальній площині передусім визначається зустріччю гребеня колеса з робочою гранню вістряка й змушеним поворотом колеса на боковий напрямок колії. Кут зустрічі гребеня колеса з робочою гранню вістряка називається кутом удару  $\beta_y$ . Кут удару залежить, насамперед, від трьох факторів: по-перше, від величини зазору  $\delta$  між гребенем колеса й робочою гранню рамної рейки, з яким колесо підходить до вістряка; по-друге, від початкового кута вістряка  $\beta_n$ , з яким він прилягає до рамної рейки; по-третє, від радіуса кривизни вістряка  $R'_0$ , по якому обкреслена його бічна робоча грань. Очевидно, що слід ще враховувати й розташування колісної пари в колії в момент зустрічі її з вістряком, тому що воно визначає кут нахилу площини гребеня колеса (або сліду гребеня) до робочої грані вістряка.

*Рух рухомого складу в зоні хрестовини* вимагає окремого самостійного розгляду, оскільки особливості взаємодії рухомого складу і колії на цій ділянці стрілочного переводу істотно відрізняються від таких на стрілці і в зоні з'єднувальних колій. Процес проходження екіпажів по хрестовині порівняно з іншими ділянками стрілочного переводу є найбільш складним і несприятливим як по горизонтальній, так і по вертикальній динаміці. При цьому потрібно окремо розглядати рух по жолобчастих хрестовинах з нерухомими елементами (так званими жорсткими) і по хрестовинах з рухомим осердям (або вусовиком), які забезпечують безперервну поверхню кочення (БПК).

Вертикальна динаміка взаємодії колеса і рейки залежить від вертикальних переміщень колеса в процесі поступального руху, які у свою чергу зумовлюються нерівностями на колії і колесах рухомого складу.

Очевидно, що при русі незношених коліс по ідеально виготовленій відносно профілю поверхні кочення хрестовині динамічні ефекти будуть мінімальними. Цьому сприяє основне призначення і конструкція поздовжнього і поперечного профілю хрестовини передбаченого стандартом. Зовсім інша картина має місце при русі коліс по зношених хрестовинах.

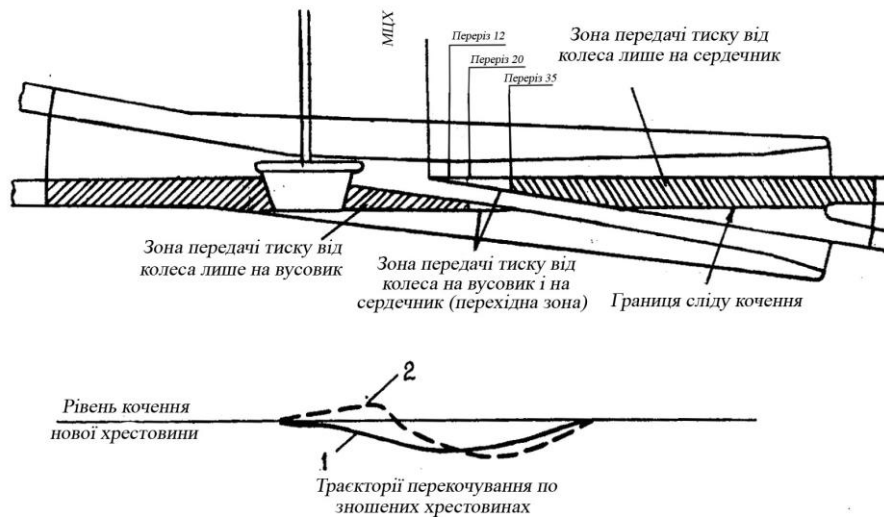


Рис. 2.10 Схема руху колісної пари по хрестовині і утворення вертикальних нерівностей на поверхні кочення (1 – нерівність типу впадини; 2 – нерівність синусоїдального типу)

Розглядаючи схему перекочування колісної пари по хрестовині (рис. 2.10), можна бачити, що при протишерстному (ПРШ) русі колесо на початку котиться по вусовику всією площиною кочення аж до горла хрестовини, потім, починаючи від горла, поступово площа опорної поверхні на вусовику зменшується аж до перерізу, що знаходиться приблизно проти товщини осердя  $\approx 35$  мм, де колесо повністю переходить з вусовика на осердя. В той же час, починаючи приблизно від перетину  $\approx 10 - 12$  мм осердя і далі по напрямку руху площа опорної поверхні на осерді поступово збільшується, аж до повної ширини сліду кочення (який в першому наближенні, для порівняльної оцінки можна прийняти рівним ширині голівки рейки). При русі колісної пари в зворотному пошерстному (ПШ) напрямі можна спостерігати ту ж саму картину в зворотному порядку. Таким чином, безпосередньо в зоні перекочування колеса з вусовика на осердя обпирання колеса відбувається на вузькі контактні площадки на вусовику і осерді. Тому саме в цій зоні вусовики і осердя найінтенсивніше зношуються, саме тут робота верхніх шарів металу супроводжується пластичними деформаціями внаслідок високих контактних

напружень, і саме тут перш за все накопичуються дефекти контактнo-втомлюючого виду.

Дослідженнями професора Яковлева В.Ф. [10, 13] встановлено, що вертикальні динамічні сили на хрестовинах залежать перш за все від форми, глибини і ухилів нерівності, а також швидкості руху одиниць рухомого складу і його вагових характеристик. Саме тому при визначення допустимих швидкостей руху по хрестовинах по прямому напрямку необхідно виходити з допустимого рівня вертикальних динамічних сил, які обумовлюють міцність, стійкість і надійність конструкції та безпеку руху поїздів. Тими ж дослідженнями [10, 13] встановлено, що головними параметрами, що визначають контури нерівності, яку описує траєкторія рухомого колеса, є форма, довжина, глибина і ухили цієї нерівності.

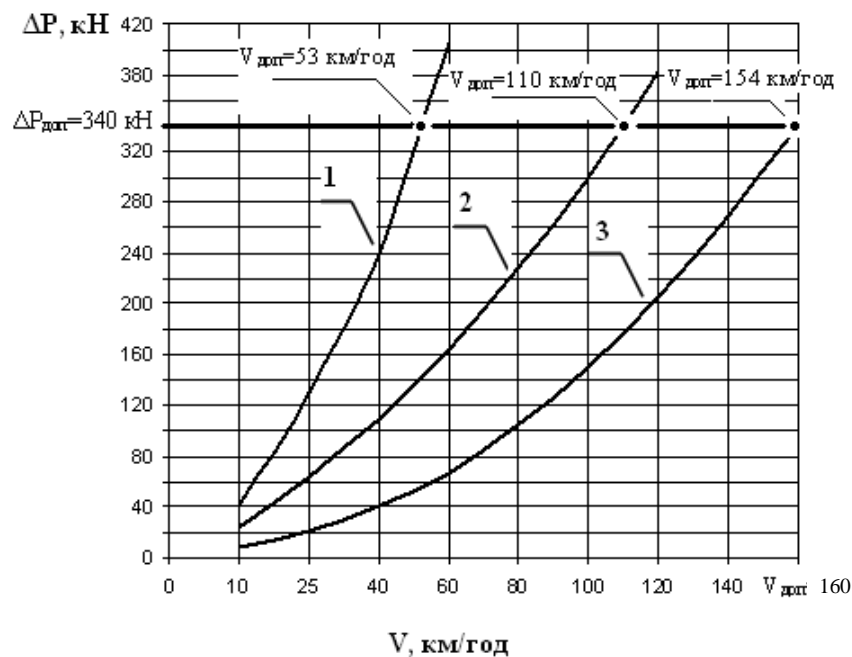


Рис. 2.11 Залежність вертикальних динамічних сил від швидкості руху ( $V$ ) при проходженні вертикальних нерівностей на типових жолобчастих хрестовинах марок 1/11, 1/9, 1/7 типу Р65: 1) 1/7 ПШ,  $h_{max}=8, i_6=42,8, \Sigma i=50$ ; 2) 1/9 ПШ,  $h_{max}=5,7, i_6=26,3, \Sigma i=40,1$ ; 3) 1/11 ПШ,  $h_{max}=4,3, i_6=11, \Sigma i=11,7$

На рис. 2.11, по даним досліджень [27, 98] наведені графіки залежності вертикальних динамічних сил у контакті колеса і рейки від швидкості руху при проходженні нерівностей у зоні перекочування на хрестовинах для вантажного 4-х вісного вагону з осьовим навантаженням 230 кН.

Узагальнення і статистична обробка результатів масових вимірів траєкторій перекочування коліс по хрестовинах різних конструкцій і марок дозволили сформулювати порівняльний ряд середньостатистичних нерівностей, що утворюються на хрестовинах різних марок в різні періоди їх експлуатації.

Нерівності в зоні перекочування на хрестовинах, як вже відмічено, є головним збуджуючим фактором формування силової динаміки між колесами рухомого складу і конструкцією колії.

Нерівності в зоні перекочування прийнято вимірювати спеціальним приладом – траєкторіографом. На вітчизняних залізницях застосовується траєкторіограф конструкції проф. В.Ф. Яковлева [99], що імітує рух моделі колеса по хрестовині. Загальний вигляд траєкторіографа з розміщенням його на хрестовині представлено на рис. 2.12.



Рис. 2.12 Загальний вигляд траєкторіографа конструкції ЛШЗТу для вимірювання вертикальних нерівностей на хрестовинах

Траєкторіограф обладнаний напівавтоматичним записуючим пристроєм, який безперервно реєструє на стрічці положення центру вимірювального ролика, обточеного під форму робочої поверхні обода реального колеса вантажного вагону, при його русі по хрестовині. Таким чином, за допомогою даного приладу можна визначати натурні вертикальні нерівності на поверхні кочення хрестовинах стрілочних переводів [99].

## **2.6 Загальні висновки по розділу 2**

1. Вертикальний знос поверхні кочення несучих металевих елементів стрілочних переводів є одним з головних критеріїв, що визначають термін працездатності конструкції. За результатом аналізу особливостей процесів зносу елементів стрілочних переводів, можна зробити висновок, що елементи стрілки і хрестовини зношуються з різною інтенсивністю по їх довжині та поперечному профілю. Елементи стрілки по більшій мірі зношуються в перерізі вістряків шириною 25-40 мм, а на хрестовинах знос реалізується на осерді та вусовиках проти перерізів: МЦХ, 20-40 мм осердя.

2. Дефекти, які виникають на поверхні кочення несучих металевих елементів стрілочних переводів в масовому порядку починають розвиватися лише після зносу поверхні кочення 4-6 мм, тобто, фактично після реалізації нормованої величини зносу. Практично проблема ураження дефектами стрілок і хрестовин більше пов'язана з якістю металу і особливостями конструкції та в меншій мірі – з особливостями експлуатації.

3. Основними причинами вилучення з експлуатації стрілок є відмови вістряків і рамних рейок. Найхарактернішим є вихід елементів за бічним зносом і викришуванням для стрілочних переводів з переважним рухом рухомого складу по бічному напрямку та стрілочних переводів, які експлуатуються в кривих ділянках колії.

4. Основними причинами вилучення з експлуатації хрестовин є вертикальний знос поверхні кочення осердя та вусовиків і викришування

металу на робочих поверхнях. Також суттєвий вплив на вилучення з експлуатації хрестовин мають утворення та розвиток вертикальних нерівності на поверхні кочення в зоні перекочування коліс з вусовика на осердя (або у зворотному напрямку). Поява таких нерівностей збуджує зростання вертикальних динамічних сил (в тому числі до рівня більш допустимих) та може зумовлювати зниження допустимих швидкостей руху по стрілочним переводам.

5. Нерівності на поверхні кочення стрілок і хрестовин суттєво впливають на строки служби та є важливими факторами, які безпосередньо впливають на динамічну взаємодію коліс рухомого складу і колії і в кінцевому результаті впливають на встановлення допустимих швидкостей руху по стрілочним переводам.

## РОЗДІЛ 3

### ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ СТРІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ

При дослідженнях закономірностей формування зносу елементів стрілочних переводів необхідно приймати до уваги характерні особливості їх експлуатаційної роботи під поїздами, які формують особливості накопичення зносу поверхні кочення елементів стрілочних переводів. До експлуатаційних факторів [1, 101, 36, 102, 82] можна віднести наступне:

1. Стрілочні переводи пошерстного (ПШ) і протишерстного (ПРШ) напрямків мають різні особливості формування зносу, тому вони повинні розглядатися окремо.

2. Хрестовини стрілочних переводів зношуються більш інтенсивно, ніж рейкові елементи стрілок, крім того знос вусовиків і осердя слід розглядати окремо.

3. Більш інтенсивно зношуються вусовики ПШ - напрямку у порівнянні з ПРШ - хрестовинами. І навпаки, осердя хрестовин ПРШ - напрямку зношуються більш інтенсивно у порівнянні з ПШ - хрестовинами. Вусовики ПШ - напрямку більш інтенсивно зношуються навпроти перерізу осердя 20 мм, рідше навпроти перерізу 12 мм.

4. Зазначені особливості експлуатації слід враховувати при встановленні нормативів строків служби хрестовин і, зокрема нормативними документами [85, 90] передбачено визначати накопичення зносу на хрестовинах в найбільш зношеному місці:

- або по осердях хрестовин по перерізу 40 мм
- або по вусовиках проти перерізів 20 мм, або 12 мм осердя.

При встановленні закономірностей формування зносу вістряків стрілочних переводів слід також враховувати характерні особливості їх роботи під поїздами [1, 36, 82].

Відповідно до попередніх досліджень [81, 83, 101] елементи стрілки (рамна рейка, вістряки) стрілочних переводів (ПШ) і (ПРШ) напрямків також мають різні особливості формування зносу, тому їх слід розглядати окремо.

Тому, виходячи з наведеного вище при проведенні експериментальних досліджень враховувались усі наведені вище особливості роботи рейкових елементів стрілочних переводів в реальних умовах експлуатації.

### **3.1 Експериментальні дослідження вертикального зносу стрілок та хрестовин на стрілочних переводах, що експлуатуються на коліях Київського метрополітену**

В метрополітені використовують конструкції стрілочних переводів, що практично не відрізняються від конструкцій на магістральному транспорті залізниць. Відмінність експлуатації полягає в основному в рухомому складі (конструкції вагонів, осьові навантаження, інтенсивність руху та інш.).

Дослідження зносостійкості стрілочних переводів метрополітену залежно від умов експлуатації фактично не проводилось, а використання результатів досліджень, що проводились на магістральному транспорті [81, 83] не є коректним через суттєві відмінності умов експлуатації, конструкцій стрілочних переводів та відмінності підшпальної основи. Тому для умов метрополітену виникає необхідність проведення досліджень роботи стрілочних переводів в реальних умовах експлуатації.

Для вирішення поставлених задач в дисертаційному дослідженні автор брала участь в проведенні експлуатаційних досліджень [102, 108] формування вертикального зносу на хрестовинах та стрілках стрілочних переводів,

укладених на головних коліях Київського метрополітену, що були виконані кафедрою ЗККГ ДУІТ в 2014-2015 р.р. під науковим керівництвом д.т.н., професора Е.І. Даніленка.

### **3.1.1 Характеристики стрілочних переводів, відібраних для досліджень зносостійкості**

Для встановлення основних закономірностей формування зносу елементів стрілочних переводів були проведені експериментальні дослідження з визначення вертикального зносу елементів стрілочних переводів в умовах їх експлуатації на коліях Київського метрополітену. В дослідженні були задіяні стрілочні переводи, які експлуатуються в підземних і наземних ділянках головних колій Святошинсько-Броварської, Куренівсько-Червоноармійської та Сирецько-Печерської ліній.

Всього в головних коліях Київського метрополітену експлуатується 46 стрілочних переводів.

Розподіл стрілочних переводів по гілках наступний: Святошино-Броварська лінія – 16 переводів типу Р50 марки 1/9; Куренівсько-Червоноармійська лінія – 14 переводів типу Р50 марки 1/9; Сирецько-Печерська лінія – 18 переводів типу Р65 марки 1/9.

Із загальної кількості стрілочних переводів, що експлуатуються в головних коліях в дослідженні зносостійкості були задіяні 37 переводів (73% від загальної кількості).

З них 22 стрілочних переводи проекту 2497 типу Р50 марки 1/9 (73%):

- Святошино-Броварська лінія – 14 переводів (88%);

- Куренівсько-Червоноармійська лінія – 8 переводів (50%);

- Сирецько-Печерська лінії – 15 стрілочних переводів проекту 2433 типу Р65 марки 1/9 (83%).

Підбір переводів виконувався таким чином, щоб досліджувані конструкції різнилися характеристиками пропущеного при експлуатації тоннажу, а також мали різні умови експлуатації (переважний напрямок руху поїздів – ПШ або ПРШ, різні швидкості руху та ін.). Вихідними даними для визначення умов експлуатації слугували надані Службою колії, тунельних споруд і будівель Київського метрополітену експлуатаційні характеристики ділянок.

Максимальна встановлена швидкість руху  $V$ , км/год, по переводах по прямому напрямку складає до  $V_{\max} = 80$  км/год, по боковому напрямку до  $V_{\max} = 40$  км/год.

Вантажонапруженість,  $\Gamma$  млн. т на рік, ділянок метрополітену на час дослідження складала: на Святошинсько-Броварській лінії – 25,23 млн. т на рік; на Куренівсько-Червоноармійській лінії – 21 млн. т на рік; на Сирецько-Печерській лінії – 17,1 млн. т на рік.

Пропущений тоннаж  $T$  з моменту вкладання до часу натурних досліджень по хрестовинах типу Р50 становив від 13,1 до 133,4 млн. т, а по хрестовинах типу Р65 від 24,6 до 106,2 млн. т.

Стрілочних переводів з переважним (ПШ) напрямком руху типу Р50 і Р65 було досліджено 13 і 10 відповідно, а переводів з переважним (ПРШ) напрямком руху досліджено 9 та 5 відповідно.

Детальна характеристика конструкцій стрілочних переводів, які були відібрані для досліджень, умови експлуатації, річна вантажонапруженість та пропущений тоннаж на час вимірювань вертикального зносу для кожної лінії наведено в табл. 3.1-3.3, а саме: в табл. 3.1 приведена характеристика стрілочних переводів, які укладені на головних коліях Святошинсько-Броварської лінії, в табл. 3.2 – на головних коліях Куренівсько-Червоноармійської лінії і в табл. 3.3 – для колій Сирецько-Печерської лінії.

## Характеристика стрілочних переводів, які укладені на головних коліях Святошинсько-Броварської лінії

№ з/п	Станція	Конструкція переводу (тип і марка хрестовини)	Переважний напрямок руху	Завод виробник і заводський номер		Встановлена швидкість руху	Кількість поїздів за добу	Вантажонапруженість по стр. переводах за останній рік	Пропущений тоннаж на момент вимірювання (млн. т бруто) (С – стрілка, Х – хрестовина)
				Хрестовина	Стрілка				
1	2	3	4	5	6	8	10	11	12
1	Святошин	P50 M1/9	ПШ	ДНСП442 №43/12	ДСЗ 02	80	380	25,23	С – 254,24 Х – 48,94
2	Святошин	P50 M1/9	ПРШ	ДСЗ.96 ПЗ 2497	ДСЗ 03	80	380		С – 204,24 Х – 106,93
3	Шулявська	P50 M1/9	ПШ	Д-ІУ-97	ДСЗ 97	70	380		С – 366,24 Х – 111,22
4	Шулявська	P50 M1/9	ПШ	ДНСП442 №110/12	ДСЗ 03	70	380		Х і С – 31,34
5	Хрещатик	P50 M1/9	ПРШ	ДСЗ.97	ДСЗ	70	380		Х і С – 112,86
6	Хрещатик	P50 M1/9	ПШ	ДНСЗ.01	ДСЗ98	70	380		Х і С – 112,86
7	Арсенальна	P50 M1/9	ПРШ	А-ІУ-10	А-ІУ-97	80	380		С – 366,86 Х – 51,15
8	Арсенальна	P50 M1/9	ПШ	Д-6-89	А-УП-89	80	380		С – 344,86 Х – 88,62
9	Дарниця	P50 M1/9	ПРШ	ДС300	А-У-01	80	380		С – 255,41 Х – 80,18
10	Дарниця	P50 M1/9	ПРШ	ДС300	А-ІУ-97	80	380		С – 367,41 Х – 26,13
11	Дарниця	P50 M1/9	ПШ	ДС308	А-УП-08	80	380		Х і С – 122,41
12	Дарниця	P50 M1/9	ПШ	К-У-01	А-У-01	80	398		С – 223,41 Х – 65,94
13	Дарниця	P50 M1/9	ПРШ	А-П-11	А-1-01	80	398		С – 222,41 Х – 27,99
14	Дарниця	P50 M1/9	ПШ	ДС307	А-УП-08	70	380		Х і С – 133,41

Таблиця 3.2

## Характеристика стрілочних переводів, які укладені на головних коліях Куренівсько-Червоноармійської лінії

№ з/п	Станція	Конструкція переводу (тип і марка хрестовини)	Переважний напрямок руху	Завод виробник і заводський номер		Встановлена швидкість руху	Кількість поїздів за добу	Вантажонапруженість по стр. переводах за останній рік	Пропущений тоннаж на момент вимірювання (млн. т бруто) (С – стрілка, Х – хрестовина)
				Хрестовина	Стрілка				
1	2	3	4	5	6	8	10	11	12
1	Васильківська	P-50 М 1/9	ПШ	ДнСЗ №244	ДнСЗ №117	80	307	21	С і Х – 61,42
2	Васильківська	P-50 М 1/9	ПРШ	ДнСЗ №274	ДнСЗ №109	80	307		С і Х – 61,42
3	Либідська	P-50 М 1/9	ПШ	ДнСЗ №54	ДнСЗ №113/15	80	308		С і Х – 70,82
4	Либідська	P-50 М 1/9	ПШ	ДнСЗ №369	ДнСЗ №136/143	80	308		С – 132,82 Х – 34,35
5	Контрактова площа	P-50 М 1/9	ПШ	ДСЗ №275/08	ДСЗ №24/01	80	307		С – 239,59 Х – 55,12
6	Контрактова площа	P-50 М 1/9	ПРШ	ДСЗ 51112	ДСЗ 97/98	80	307		С – 243,59 Х – 34,12
7	Оболонь	P-50 М 1/9	ПШ	ДСЗ №370/06	ДСЗ №88/07	80	307		С – 53,59 Х – 13,12
8	Героїв Дніпра	P-50 М 1/9	ПРШ	ДСЗ №265/07	ДСЗ №262/07	80	307		С і Х – 80,59

Таблиця 3.3

## Характеристика стрілочних переводів, які укладені на головних коліях Сирецько-Печерської лінії

№ з/п	Станція	Конструкція переводу (тип і марка хрестовини)	Переважний напрямок руху	Завод виробник і заводський номер		Встановлена швидкість руху	Кількість поїздів за добу	Вантажо-напруженість по стр. переводах за останній рік	Пропущений тоннаж на момент вимірювання (млн. т бругто) (С – стрілка, Х – хрестовина)
				Хрестовина	Стрілка				
1	2	3	4	5	6	8	10	11	12
1	Дорогожичі	P65 М 1/9	ПШ	ДнСЗ 158	ДнСЗ 637/08	80	233	17,1	С – 224,71 Х – 24,55
2	Дорогожичі	P65 М 1/9	ПРШ	ДнСЗ 5831	ДнСЗ 123/07	80	233		С – 224,71 Х – 75,05
3	Лук'янівська	P65 М 1/9	ПШ	ДнСЗ 15/8	ДнСЗ 2451/08	80	263		С – 261,71 Х – 106,21
4	Лук'янівська	P65 М 1/9	ПРШ	ДнСЗ 276	ДнСЗ 564/05	80	263		С – 261,71 Х – 24,78
5	Золоті Ворота	P65 М 1/9	ПРШ	ДнСЗ 3605	ДнСЗ 4534/08	80	263		С – 334,71 Х – 25,06
6	Золоті Ворота	P65 М 1/9	ПРШ	ДнСЗ 3441	ДнСЗ 6453/05	80	263		С – 397,71 Х – 74,91
7	Кловська	P65 М 1/9	ПШ	ДнСЗ 2769	ДнСЗ 5763/08	80	264		С – 344,85 Х – 28,25
8	Кловська	P65 М 1/9	ПРШ	ДнСЗ 276	ДнСЗ 2397	80	264		С – 341,85 Х – 32,23
9	Дружби Народів	P65 М 1/9	ПРШ	ДнСЗ 3421С93	ДнСЗ 554/02	80	264		С – 326,85 Х – 97,45
10	Дружби Народів	P65 М 1/9	ПШ	ДнСЗ 718	ДнСЗ 135/01	80	264		С – 326,85 Х – 91,2
11	Видубичі	P65 М 1/9	ПРШ	ДнСЗ 313	ДнСЗ 852/07	40	264		С – 340,18 Х – 93,79
12	Видубичі	P65 М 1/9	ПРШ	ДнСЗ 512/5	ДнСЗ 137/09	40	264		С – 328,18 Х – 91,68
13	Осокорки	P65 М 1/9	ПРШ	ДнСЗ 276	ДнСЗ 4537/010	80	264		С – 313,04 Х – 68,17
14	Осокорки	P65 М 1/9	ПШ	ДнСЗ 968	ДнСЗ 753/03	80	264		С – 313,04 Х – 88,08
15	Харківська	P65 М 1/9	ПШ	ДнСЗ 27695.508	ДнСЗ 1564/03	80	264		С – 286,04 Х – 70,46

### **3.1.2 Методика експериментальних натурних вимірювань вертикального зносу рейкових елементів стрілочних переводів (хрестовина і стрілка)**

#### **3.1.2.1 Методика експериментальних натурних вимірювань вертикального зносу на поверхні кочення хрестовин**

Під час експлуатаційних спостережень при вимірюваннях вертикального зносу поверхні кочення на хрестовинах використовувались стандартні вимірювальні прилади, які застосовують на залізниці при поточному утриманні та перевірках стану стрілочних переводів, а саме: штангенциркуль «Путеец» (ціна поділки 0,1 мм) – для вимірювань вертикального зносу поверхні кочення вусовиків і осердь; металева рулетка та металева лінійка (ціна поділки 1 мм) – для розбивки перерізів, в яких проводились вимірювання зносу.

Так вимірювання вертикального зносу вусовиків і осердь проводились у таких перерізах:

- горло хрестовини (вусовики лівий і правий на відстані від лінії врізання  $\frac{3}{4}$  ширини його литої частини);
- математичний центр хрестовини (МЦХ) (вусовики лівий і правий на відстані від лінії врізання  $\frac{3}{4}$  ширини його литої частини);
- переріз 12 мм осердя (осердя посередині поверхні кочення та обидва вусовики на відстані від лінії врізання  $\frac{3}{4}$  ширини його литої частини);
- переріз 20 мм осердя (осердя посередині поверхні кочення та обидва вусовики на відстані від лінії врізання  $\frac{3}{4}$  ширини його литої частини);
- переріз 30 мм осердя (осердя посередині поверхні кочення та обидва вусовики на відстані від лінії врізання  $\frac{3}{4}$  ширини його литої частини);
- переріз 40 мм осердя (осердя посередині поверхні кочення);
- переріз 50 мм осердя (осердя на відстані від бокової грані  $\frac{1}{4}$  ширини головки рейки);

- переріз 60 мм осердя (осердя на відстані від бокової грані  $\frac{1}{4}$  ширини головки рейки).

За точку вимірювань вертикального зносу осердя і вусовиків хрестовин був прийнятий розрахунковий (проектний) рівень кочення колеса, що знаходиться за лінією врізання на незношуваних частинах вусовиків відповідно до [103].

При вимірюваннях вертикального зносу хрестовин стрілочних переводів приймалися встановлені стандартні відстані до точок вимірювань зносу, а також проектні перевищення вусовиків над розрахунковим рівнем кочення колеса у місці вимірювань.

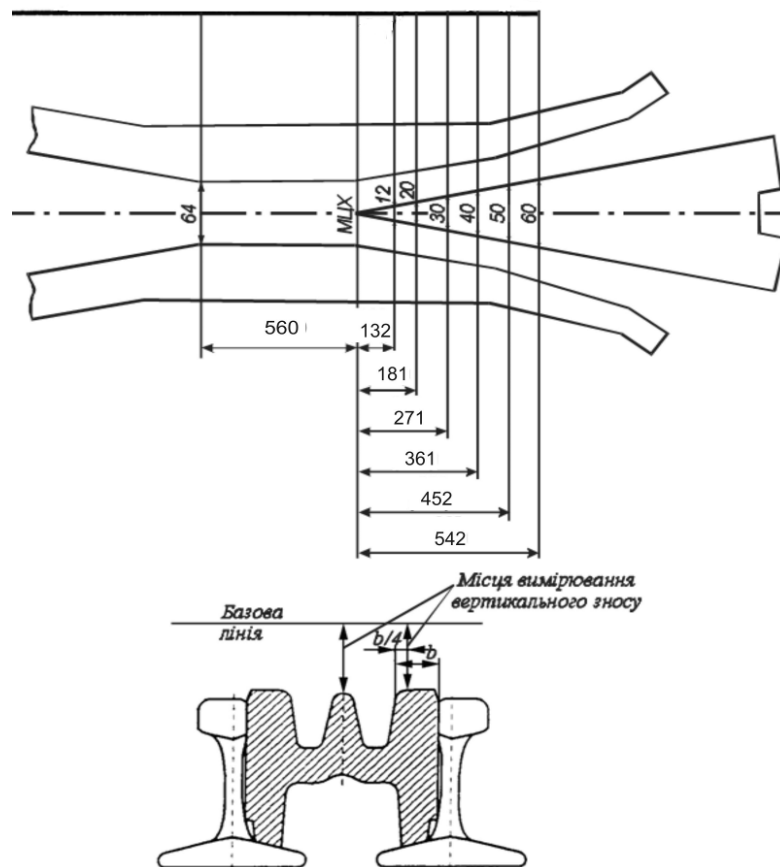


Рис. 3.1 Схема розмітки перерізів для вимірювань вертикального зносу хрестовин стрілочних переводів типів P50 та P65 марки 1/9

Схема розмітки основних перерізів, в яких виконувались вимірювання вертикального зносу елементів хрестовин стрілочних переводів типів P65 і P50

марки 1/9 на дерев'яних брусах відповідно до [103, 85] наведені на рис. 3.1, а відстані до основних перерізів на хрестовині наведені в табл. 3.4.

Таблиця 3.4

Відстані до перерізів в яких вимірюється знос на хрестовині

Марка хрестовини	Відстань від МЦХ до перерізів хрестовини, мм					
	до горла	12	20	30	40	50
1/9	560	109	181	271	361	452

Вертикальний знос вусовиків і осердя хрестовини визначався як різниця між проектним (з урахуванням реального значення підвищення вусовика по лінії врізки у відповідних перерізах осердя) і фактичним підвищенням у відповідних перерізах [85].

Точки в яких вимірюється вертикальний знос вусовиків хрестовин стрілочних переводів знаходяться на відстані, що становлять 3/4 ширини литої частини вусовика рахуючи від лінії врізання. Значення цих відстаней для контрольних перерізів хрестовини відповідно до [103, 85] наведені у табл. 3.5. У цій же таблиці наведені значення проектних перевищень вусовика над розрахунковим рівнем кочення коліс у місці виміру.

Таблиця 3.5

Розміри, необхідні для визначення місць вимірювання зносу вусовиків у збірних хрестовинах із литим осердям

Тип і марка хрестовини	Відстань, мм, від лінії врізки до місця проміру зносу вусовиків (тобто 0,75 ширини литої врізки) проти перерізу осердя			
	0 (МЦХ)	12	20	30
P65 1/9	35,5	33,5	32,0	30,0
P50 1/9	37,0	35,5	35,0	35,0
<b>Перевищення, мм, литої частини вусовика над розрахунковим рівнем у відповідних перерізах</b>				
Для всіх типів	3,3	3,9	4,4	1,6

На рис. 3.2 показана натурна розмітка перерізів на хрестовинах, що проводилась під час досліджень в коліях метрополітену, відповідно до схеми рис. 3.1 вимірювань вертикального зносу хрестовин стрілочних переходів типів Р50 та Р65 марки 1/9.

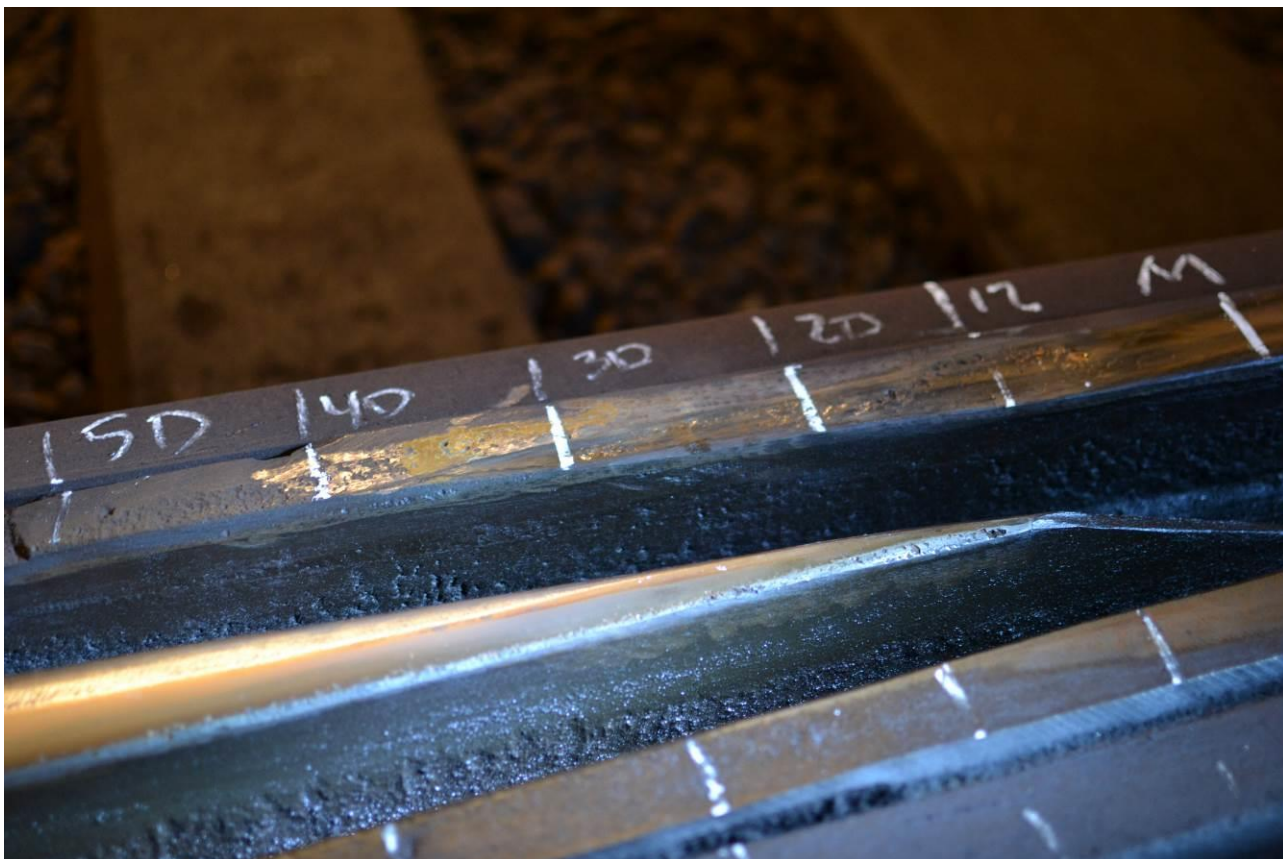


Рис. 3.2 Розмітка перерізів на хрестовинах в коліях метрополітену відповідно до схеми вимірювань на переходах типів Р50 та Р65 марки 1/9

Вертикальний знос вусовиків і осердя хрестовини визначається як різниця між проектним (з урахуванням реального значення підвищення вусовика по лінії врізки у відповідних перерізах осердя) і фактичним підвищенням у відповідних перерізах.

За зазначеною методикою були проведені вимірювання вертикального зносу на усіх контрольних хрестовинах стрілочних переходів, укладених на коліях Київського метрополітену для трьох гілок.

### **3.1.2.2 Результати експериментальних досліджень зносу елементів хрестовин стрілочних переводів Київського метрополітену**

Результати вимірювань зносу хрестовин типу Р50 і Р65 марки 1/9, відповідно до методики наведеної в пункті 3.1.2.1, представлено в табл. 3.6 у вигляді відомості фактичного зносу по контрольним перерізам з підрахунком тоннажу, який пропущено на час вимірювань. Також при проведенні досліджень зносостійкості стрілочних переводів визначались наявні особливості роботи конструкції та наявні на поверхнях елементів хрестовин пошкоджень або дефектів, які також відображені в табл. 3.6.

Таблиця 3.6

## Результати вимірювань зносу на хрестовинах типу P50 і P65 марки 1/9

Станція	Пропущений тоннаж на момент вимірювання	№ стр. Пер.	Вертикальний знос елементів хрестовини стрілочних переводів, мм										Примітки
			Вусовики в перерізі					Осердя в перерізі					
			Г	МЦХ	12	20	30	12	20	30	40	50	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
<b>P50 ПШ</b>													
Шулявська	35,74	2	0,3	0,4	0,8	1,6	0,6	0,0	0,7	0,5	0,4	0,4	-
Либідська	38,50	2	1,2	1,4	3,4	3,0	2,1	1,3	4,4	2,2	1,6	1,0	Правий вусовик змінання та викришування від Г до врізки, змінання і викришування переднього вильоту хрестовини, змінання і викришування осердя в перерізі від 12 до 50 мм, змінання і викришування вусовика в перерізі від МЦХ до 30 мм
Оболонь	17,50	2	0,7	0,8	1,2	1,1	-	0,0	0,8	1,1	0,6	0,9	В перерізі осердя 30 мм вусовики не працюють
Святошин	53,06	1	1,5	1,7	1,9	2,6	0,9	2,1	2,5	1,4	1,3	1,0	Змінання і викришування осердя в перерізі від 12 до 25 мм; змінання і викришування вусовика в перерізі від 12 до 20 мм
Дарниця	69,38	7	1,6	1,8	1,9	3,6	2,7	3,0	4,1	4,2	3,0	2,0	Викришування осердя; викришування і змінання вусовика в перерізі від 20 до 30 мм
Васильківська	66,00	1	2,3	2,4	2,6	1,9	0,8	1,2	2,3	1,8	1,5	1,0	-
Либідська	75,00	1	1,9	2,0	2,6	2,7	1,8	1,6	2,8	2,2	2,0	1,2	Змінання і викришування правого вусовика в перерізі від 25 до 40 мм, викришування осердя до перерізу 40 мм, змінання та викришування переднього вильоту хрестовини
Контрактова площа	59,50	1	1,8	1,9	2,6	2,1	2,1	3,4	2,2	1,9	1,7	1,0	Викришування осердя до перерізу 35 мм
Шулявська	117,74	1	2,7	2,9	3,0	4,4	-	3,5	4,0	3,0	2,9	1,0	Змінання і викришування вусовика від Г до врізки; змінання осердя в перерізі від 12 до 30 мм і викришування по всій робочій грані
Хрещатик	116,64	2	3,6	4,0	5,4	5,0	-	1,8	6,3	4,3	4,4	2,1	Змінання вусовика; змінання осердя; шліфований вусовик і осердя
Арсенальна	94,61	2	2,6	2,7	5,5	3,5	-	1,8	2,5	1,8	2,1	2,0	-
Дарниця	125,64	6	2,8	3,0	4,5	3,1	-	1,3	3,3	2,8	2,3	1,5	На врізці пониження вусовика відносно рамної рейки на 3,5 мм; змінання в Г до врізки; змінання і викришування осердя до перерізу 30 мм
Дарниця	136,64	11	2,7	2,8	3,3	4,5	0,9	2,4	3,6	2,5	2,5	1,1	-
Контрактова площа	38,50	2	1,6	1,7	1,5	1,0	0,4	1,3	1,1	1,2	1,0	0,4	Викришування правого вусовика в перерізі від МЦХ до 12 мм, глибина 2 мм
Дарниця	31,54	2	1,1	1,2	1,9	3,1	-	1,1	5,1	5,0	5,9	6,0	Змінання осердя в перерізі від 25 до 50 мм; викришування осердя в перерізі від 25 до 40 мм

Кінець таблиці 3.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Дарниця	33,64	9	1,3	1,4	1,7	1,6	1,8	1,0	2,2	1,8	1,6	1,0	Зминання і викришування осердя до перерізу 30 мм
Васильківська	66,00	2	1,1	1,2	2,0	3,6	0,3	1,3	4,3	5,3	4,8	3,8	-
Героїв Дніпра	85,00	1	2,7	2,8	2,5	2,3	-	4,2	5,4	3,6	2,5	2,1	Не зношений лівий вусовик
Арсенальна	54,67	1	0,7	0,8	1,1	1,9	1,2	0,8	2,5	3,9	2,5	1,1	Зминання і викришування вусовика в перерізі від 12 до 40 мм; викришування на врізці
Дарниця	86,20	1	1,1	1,2	1,9	2,1	-	2,3	3,1	3,7	3,3	2,8	Викришування і зминання осердя до перерізу 40 мм
Святошин	113,54	2	0,6	0,7	1,0	2,6	-	0,0	3,2	6,3	6,2	5,5	Зминання і викришування лівого вусовика від Г до врізки; зминання та викришування осердя в перерізі від 20 до 50 мм
Хрещатик	116,64	1	1,7	1,8	2,7	4,5	3,6	1,9	5,5	5,8	5,5	4,3	Зминання і викришування осердя в перерізі від МЦХ до 30 мм; зминання вусовика і викришування від Г до врізки
<b>Р65 ПШ</b>													
Дорогожичі	25,20	1	1,6	1,8	1,1	1,7	-	0,5	2,0	1,1	1,5	1,2	-
Кловська	29,90	1	1,2	1,5	2,1	1,8	-	0,6	1,2	1,2	0,5	0,5	Зминання і викришування вусовика в перерізі від Г до 20 мм; зминання і викришування осердя в перерізі від МЦХ до 30 мм
Харківська	72,50	2	1,2	1,4	1,6	1,1	-	0,3	1,3	0,9	0,8	1,0	-
Осокорки	89,80	2	1,1	1,4	2,6	2,9	1,5	0,9	2,1	2,0	1,8	1,3	-
Дружби Народів	91,20	2	2,2	2,6	2,2	2,3	-	1,0	2,6	1,9	1,7	1,1	-
Лук'янівська	108,30	1	2,5	2,7	2,5	2,6	-	0,9	2,5	1,8	1,7	1,4	Зминання і викришування вусовика в перерізі від МЦХ до 20 мм
<b>Р65 ПРШ</b>													
Лук'янівська	24,20	2	0,1	0,2	0,1	0,0	-	0,0	1,2	1,9	0,7	0,7	Зминання осердя в перерізі від 12 до 30 мм
Золоті ворота	24,20	1	1,7	1,8	2,0	0,9	-	2,0	2,3	2,1	1,9	1,8	Зминання і викришування вусовика в перерізі від Г до 20 мм
Кловська	34,20	2	0,6	0,7	1,0	1,8	0,7	1,0	2,4	2,8	2,5	1,7	Зминання і викришування вусовика в перерізі від Г до 20 мм; зминання і викришування осердя в перерізі від МЦХ до 30 мм
Осокорки	69,80	1	0,9	1,0	1,9	1,9	-	0,5	2,5	2,6	1,7	1,7	-
Золоті ворота	78,40	2	0,6	0,8	1,5	1,0	-	0,0	1,9	2,7	1,8	0,9	Лівий вусовик не зношений
Дорогожичі	76,90	2	1,2	1,4	1,5	2,0	-	3,3	2,9	1,2	0,8	2,0	Шліфоване осердя
Дружби Народів	99,70	1	1,5	1,7	2,2	2,2	2,1	1,2	3,6	3,1	2,7	2,5	-
Видубичі	95,50	1	1,0	1,2	1,5	1,3	0,3	1,4	2,4	2,9	2,5	2,3	-
Видубичі	93,30	2	1,4	1,6	2,8	2,3	-	3,1	2,9	4,8	4,7	2,5	-

### 3.1.2.3 Обробка результатів експериментальних досліджень. Апроксимація кривих зносу поверхні кочення хрестовин

Результати фактичних значень зносу вусовиків і осердь при різних значеннях пропущеного тоннажу оброблялись методами математичної статистики з метою встановлення аналітичної залежності  $h = f(T)$ , відповідно до виразу (1.4 див. розділ 1) і визначення конкретних коефіцієнтів цієї залежності. За результатами вимірювань були побудовані графічні криві залежності  $h = f(T)$  для кожної групи однотипних хрестовин, що працюють в однакових умовах експлуатації.

Ці апроксимовані криві та їх аналітичні вирази зображено на рис. 3.3-3.10 суцільною лінією, а крапками позначено конкретні значення зносу при пропущеному тоннажі відповідно до табл. 3.6.

Апроксимація кривих зносу дозволяє використовувати кожну конкретну криву на прогнозуємому терміні служби хрестовини по зносу, упритул до набуття допустимої величини зносу ( $h_{дон}$ ), а це дозволяє в свою чергу визначати поточне значення зносу хрестовин в будь-який період експлуатації, що характеризується пропущеним тоннажем  $T_i$ , а також визначати чи прогнозувати строки служби конструкції ( $T_{норм}$ ), як в початковий період її експлуатації в колії чи в період проектування укладки стрілочного переводу, так і на будь якому етапі експлуатації до набуття граничних параметрів зносу.

Аналітичні криві зносу хрестовин визначалися окремо:

- для хрестовин типів P50 і P65;
- для вусовиків та осердь хрестовин;
- для всіх стандартних перерізів.

Отримані аналітичні залежності  $h = f(T)$  дають можливість прогнозувати набуття зносу на вусовиках (від горла до перерізу 30 мм осердя) та на осерді від перерізу 12 мм до перерізу 50мм.

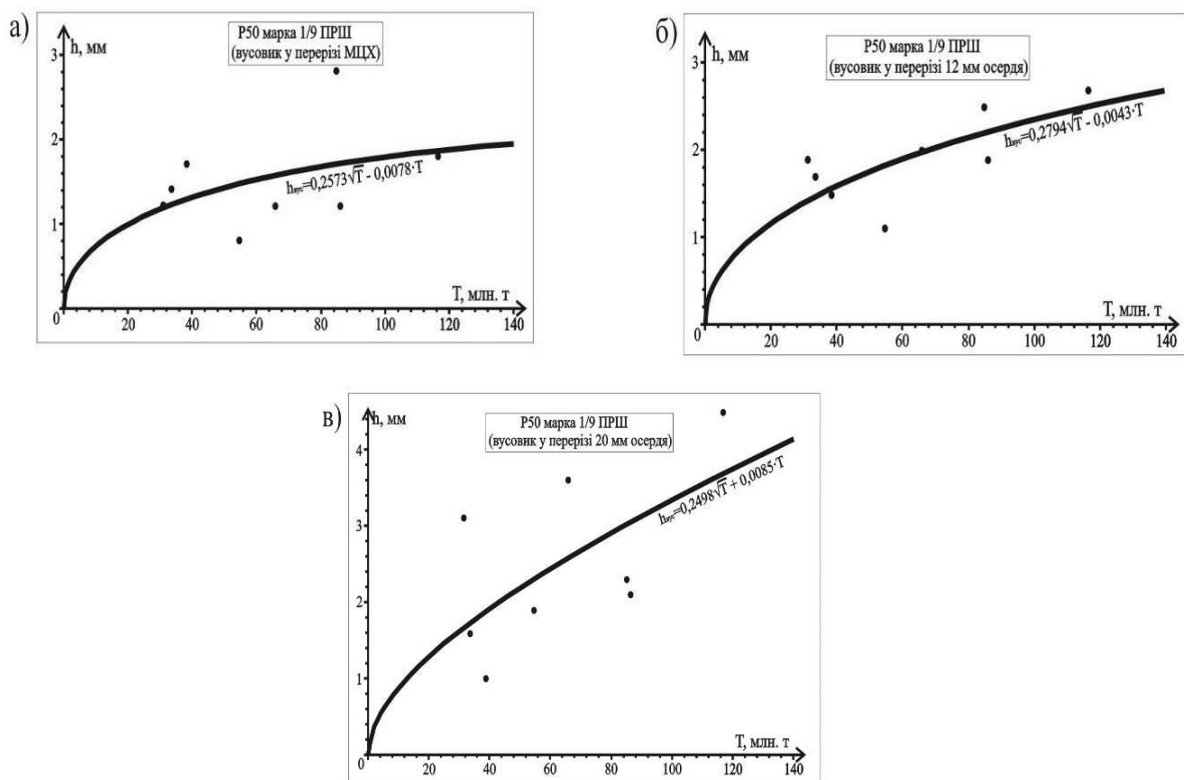


Рис 3.3 Знос вусовиків хрестовин типу P50 марки 1/9 при ПРШ напрямку руху

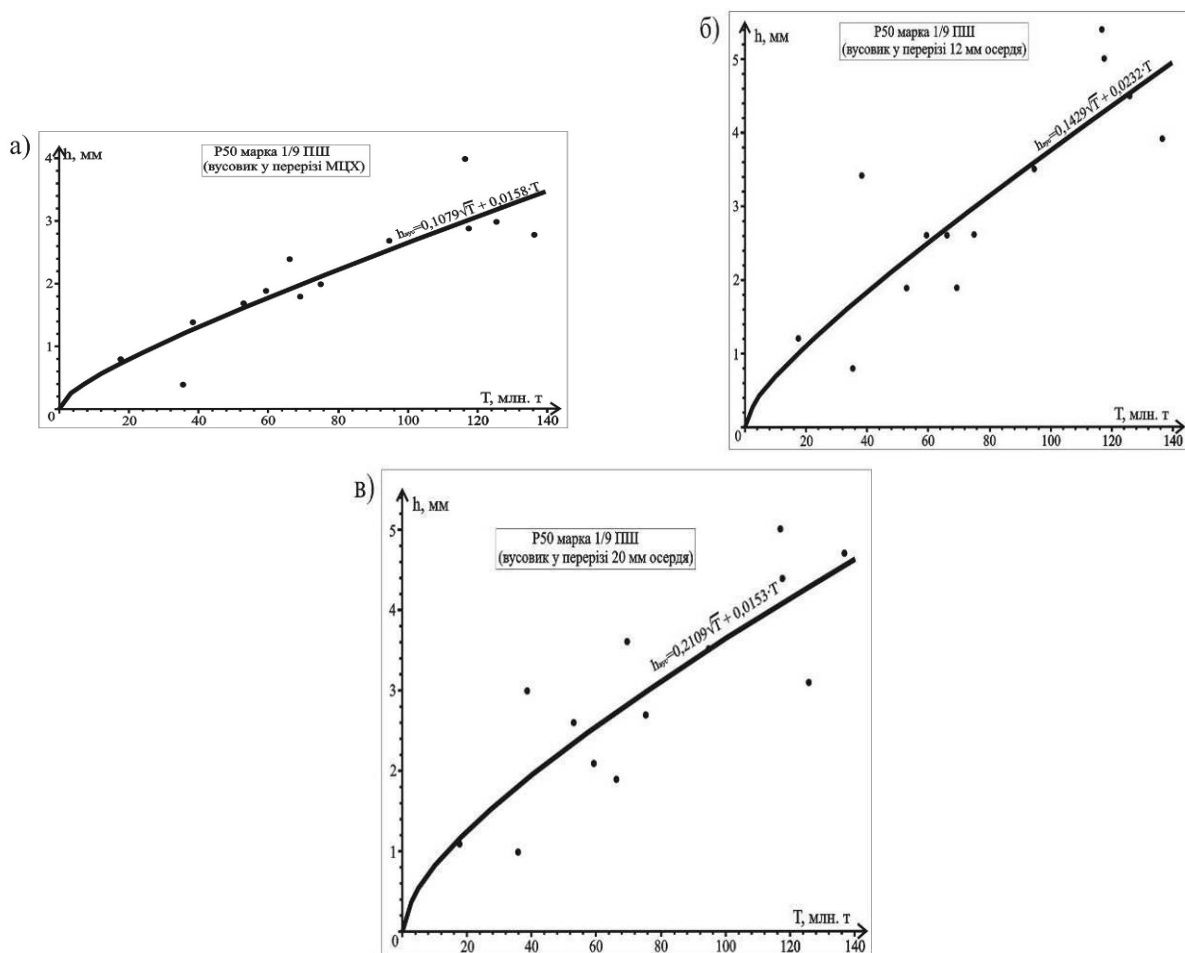


Рис 3.4 Знос вусовиків хрестовин типу P50 марки 1/9 при ПШ напрямку руху

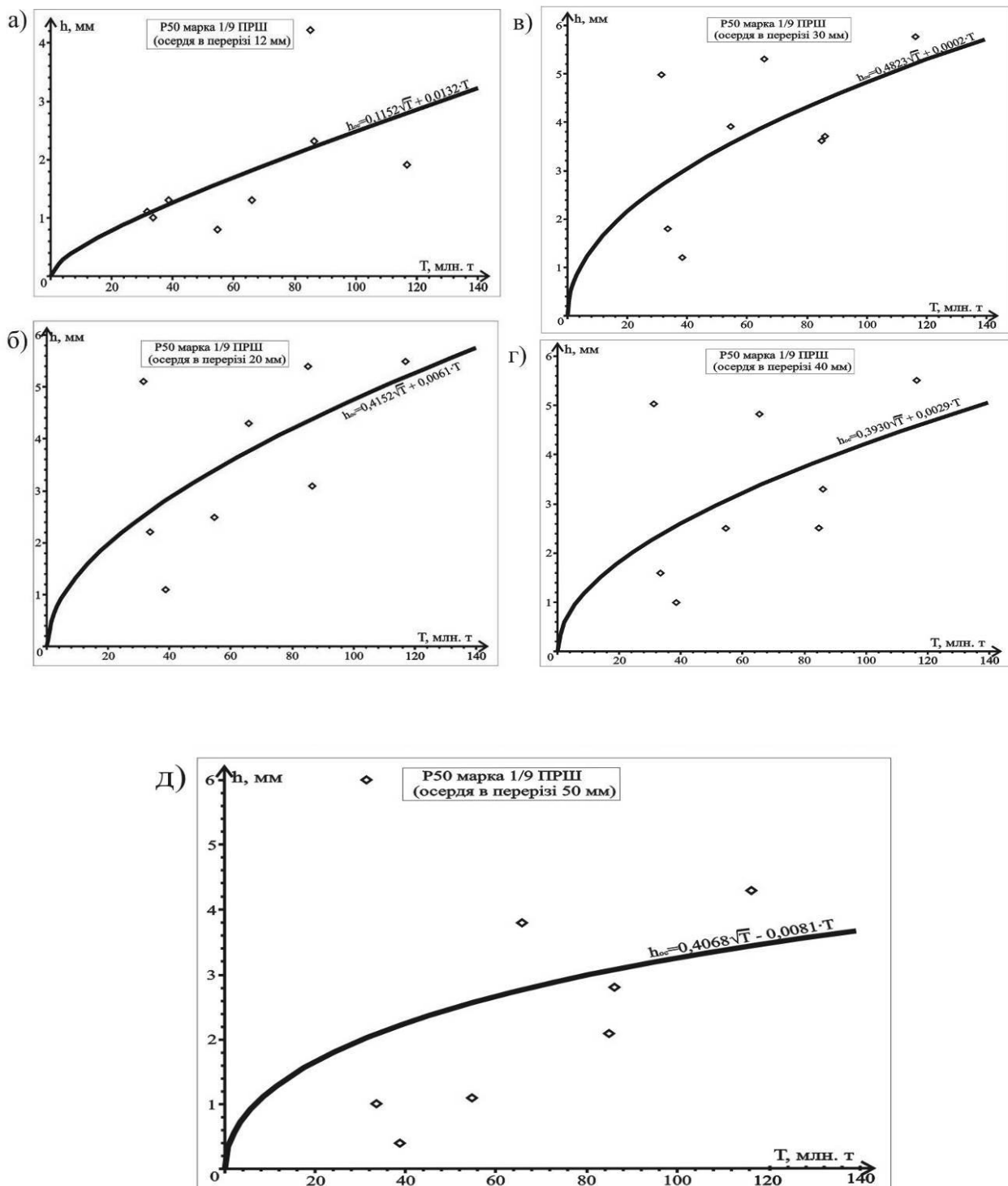


Рис 3.5 Знос осердя хрестовин типу P50 марки 1/9 при ПРШ напрямку руху

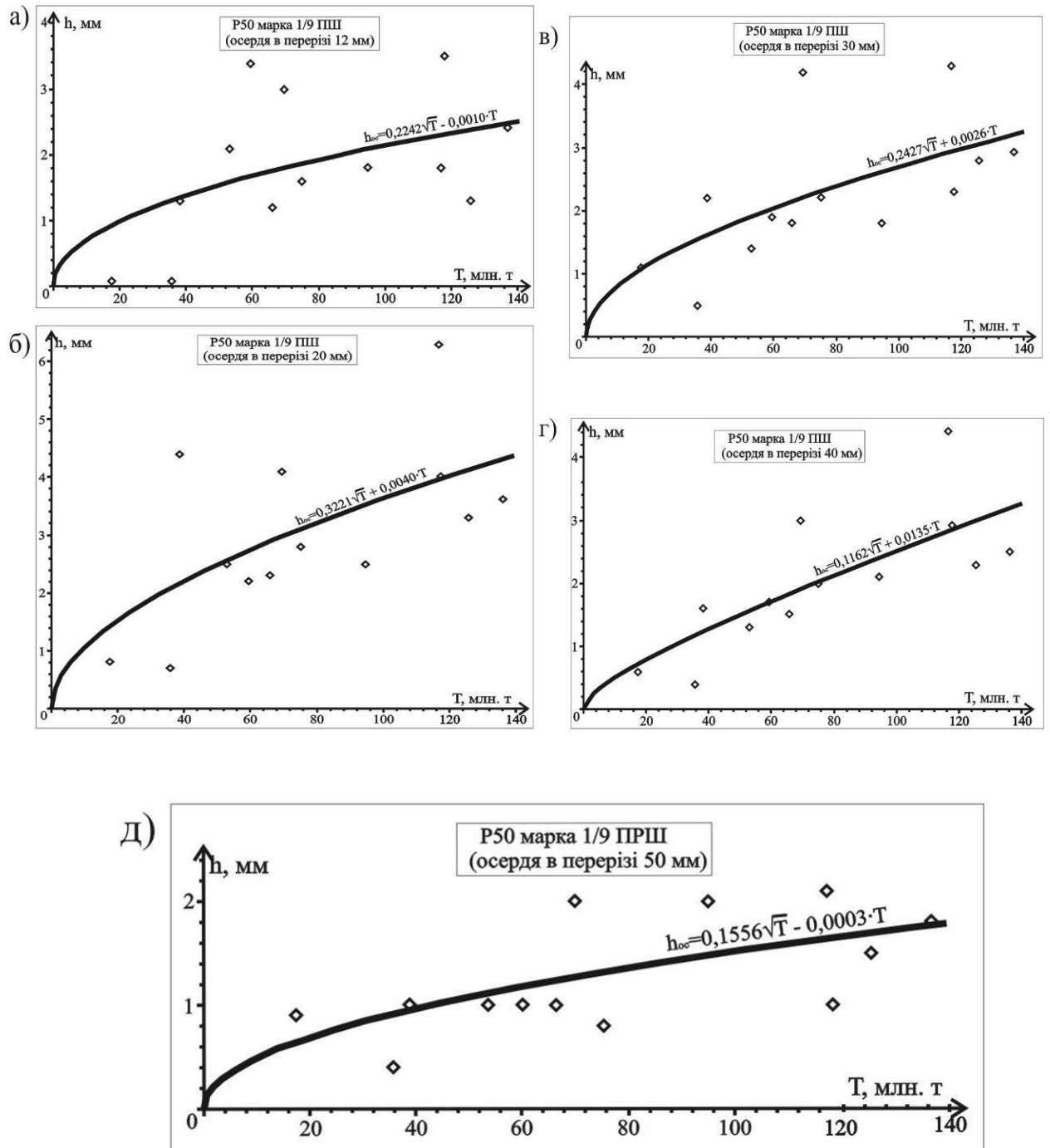


Рис 3.6 Знос осердя хрестовин типу P50 марки 1/9 при ПШ напрямку руху

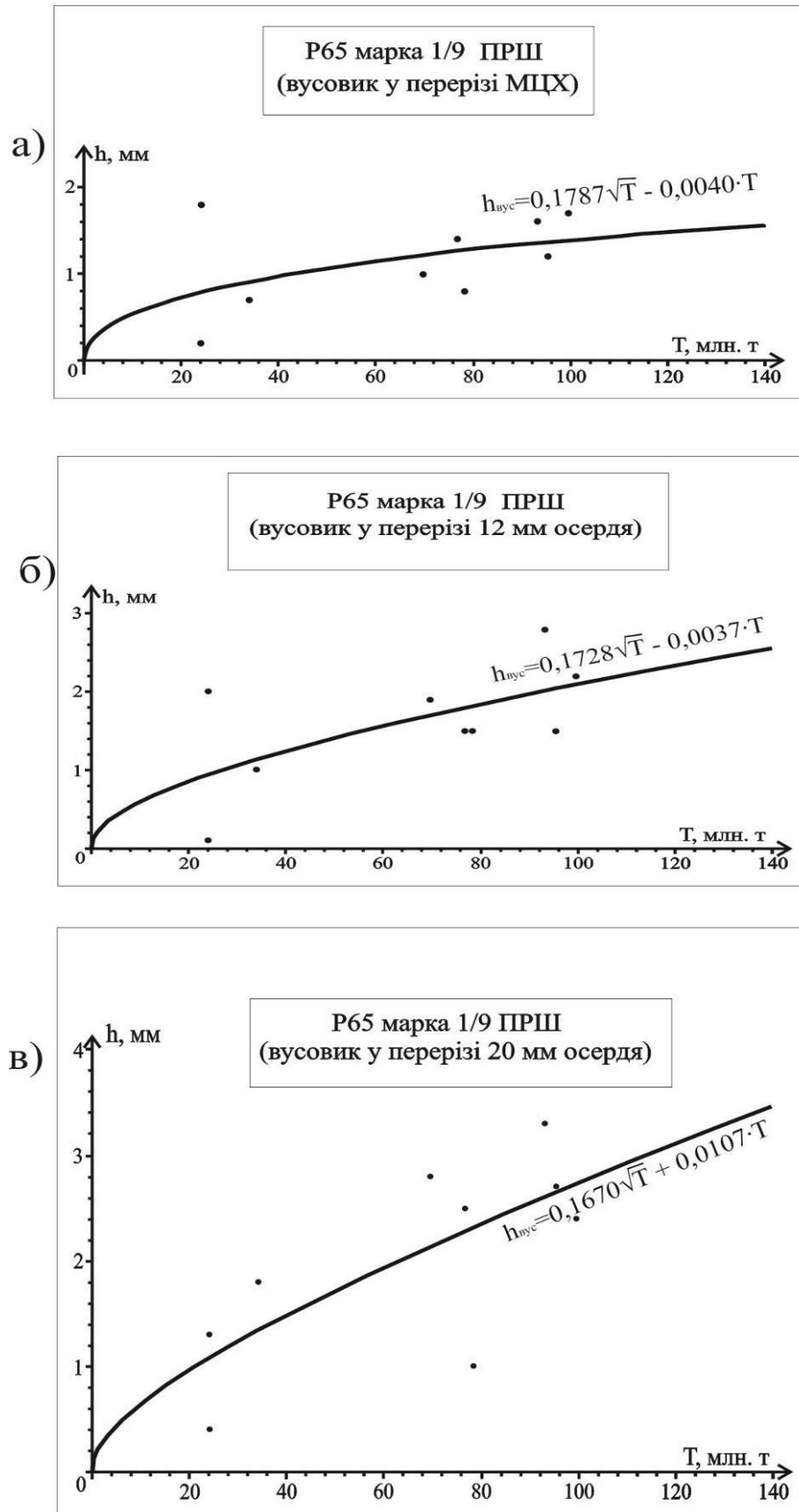


Рис 3.7. Знос вусовиків хрестовин типу Р65 марки 1/9 при ПРШ напрямку руху

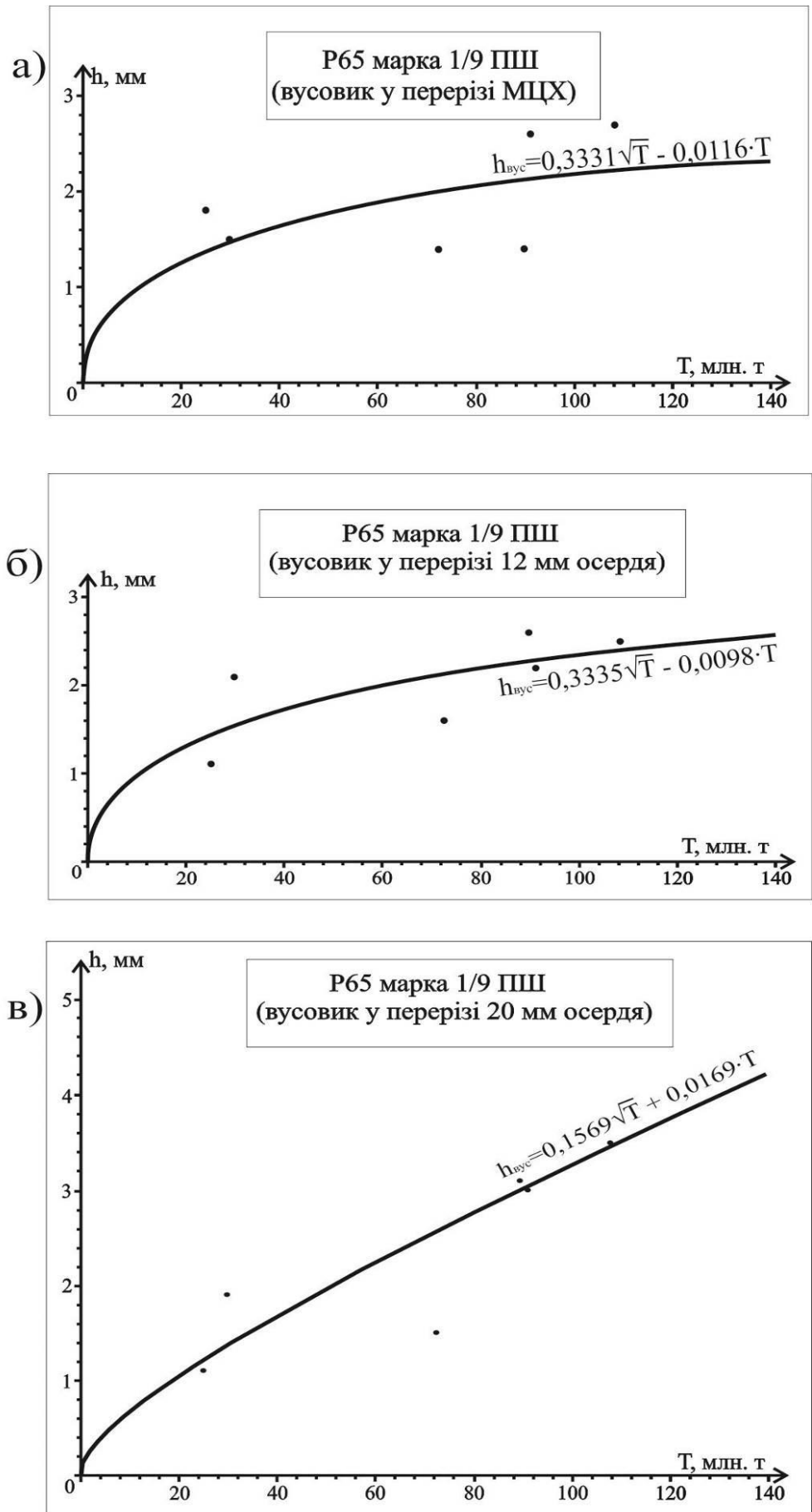


Рис 3.8. Знос вусовиків хрестовин типу Р65 марки 1/9 при ПШ напрямку руху

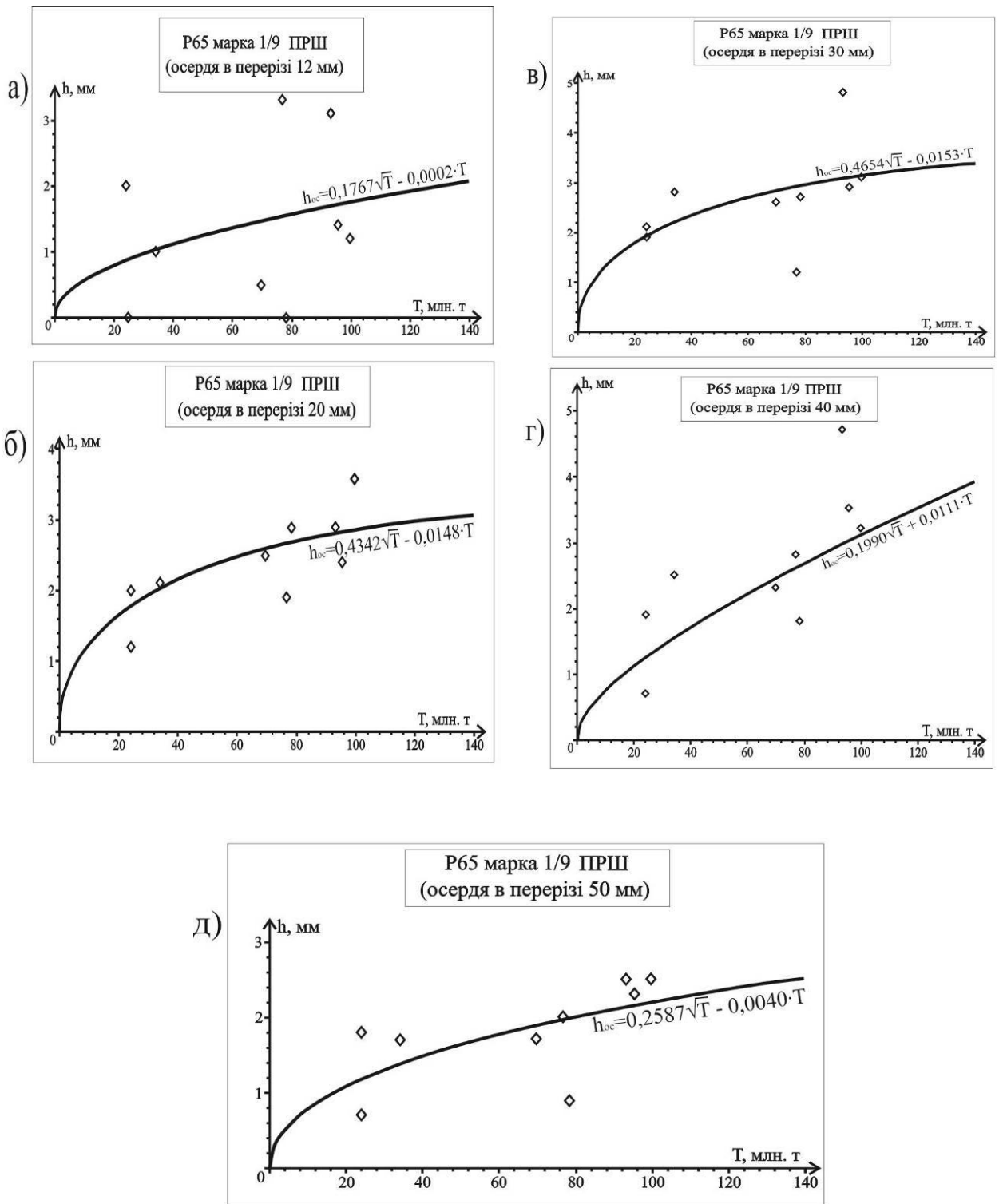


Рис 3.9. Знос осердя хрестовин типу Р65 марки 1/9 при ПРШ напрямку руху

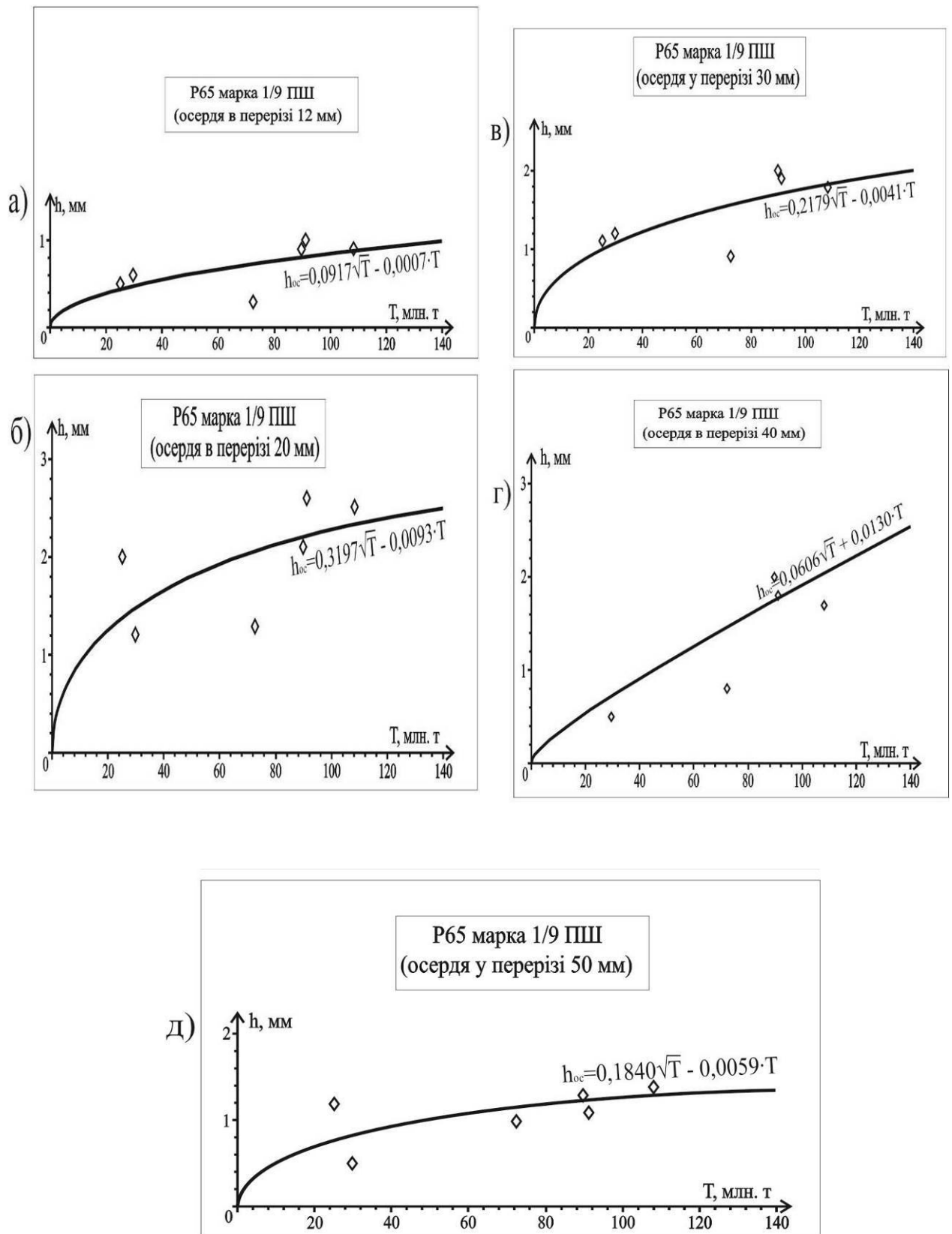


Рис 3.10. Знос осердя хрестовин типу Р65 марки 1/9 при ПШ напрямку руху

На рис. 3.3-3.10 для можливості аналізу отриманих результатів досліджень щодо прогнозування формування зносу залежно від умов експлуатації і пропущеного тоннажу всі стрілочні переводи були розділені на групи від типу (Р65 та Р50) та залежно від переважного напрямку руху (ПШ або ПРШ).

Так для хрестовин типу Р50 марки 1/9 з пошерстним напрямком руху увійшло 13 стрілочних переводів, а з протишерстним напрямком – 8 шт.; для переводів типу Р65 з пошерстним напрямком руху 6 шт., а для протишерстного напрямку – 9 шт (зазначене групування хрестовин відображене в табл. 3.2-3.5).

Для кожної групи окремо розглядався знос в основних перерізах вусовиків і осердь стрілочних переводів (для вусовиків це перерізи: горло, МЦХ, 12,20,30 і для осердь: 12,20,30,40,50).

Отримані конкретні значення зносу на графіках відображені у вигляді точок з координатами  $h$  (знос) і  $T$  (пропущений тоннаж). Апроксимація кривих у вигляді  $h = a\sqrt{T} + eT$  виконувалась з використанням програмного комплексу Maple. В результаті були отримані рівняння, що характеризують формування вертикального зносу від  $T=0$  до  $T=140$  млн. т бруто для кожної вибраної групи. Результати апроксимації отриманих значень натурального зносу в різних перерізах хрестовин наведена в табл. 3.7.

Таблиця 3.7

Результати апроксимації отриманих значень натурального зносу в різних перерізах хрестовин

Елемент стрілочного переводу, та його переріз	Рівняння виду $h = a\sqrt{T} + eT$	
	ПШ	ПРШ
Осердя в перерізах	<b>Р 50 1/9</b>	
12	$h = 0,2242\sqrt{T} - 0,0010 \cdot T$	$h = 0,1152\sqrt{T} + 0,0132 \cdot T$
20	$h = 0,3221\sqrt{T} + 0,0040 \cdot T$	$h = 0,4152\sqrt{T} + 0,0061 \cdot T$
30	$h = 0,2427\sqrt{T} + 0,0026 \cdot T$	$h = 0,4823\sqrt{T} + 0,002 \cdot T$
40	$h = 0,1162\sqrt{T} + 0,0135 \cdot T$	$h = 0,3930\sqrt{T} + 0,0029 \cdot T$
50	$h = 0,1556\sqrt{T} - 0,0003 \cdot T$	$h = 0,4068\sqrt{T} - 0,0081 \cdot T$

Вусовик в перерізах		P 50 1/9	
МЦХ	$h = 0,1079\sqrt{T} + 0,0158 \cdot T$	$h = 0,2573\sqrt{T} - 0,0078 \cdot T$	
12	$h = 0,1429\sqrt{T} + 0,0232 \cdot T$	$h = 0,2794\sqrt{T} - 0,0043 \cdot T$	
20	$h = 0,2109\sqrt{T} + 0,0153 \cdot T$	$h = 0,2498\sqrt{T} + 0,0085 \cdot T$	
Осердя в перерізах		P 65 1/9	
12	$h = 0,0917\sqrt{T} - 0,0007 \cdot T$	$h = 0,1767\sqrt{T} - 0,0002 \cdot T$	
20	$h = 0,3197\sqrt{T} - 0,0093 \cdot T$	$h = 0,4342\sqrt{T} - 0,0148 \cdot T$	
30	$h = 0,2179\sqrt{T} - 0,0041 \cdot T$	$h = 0,4654\sqrt{T} - 0,0153 \cdot T$	
40	$h = 0,0606\sqrt{T} + 0,0130 \cdot T$	$h = 0,1990\sqrt{T} + 0,0111 \cdot T$	
50	$h = 0,1840\sqrt{T} - 0,0059 \cdot T$	$h = 0,2587\sqrt{T} - 0,0040 \cdot T$	
Вусовик в перерізах		P 65 1/9	
МЦХ	$h = 0,3331\sqrt{T} - 0,0116 \cdot T$	$h = 0,1787\sqrt{T} - 0,0040 \cdot T$	
12	$h = 0,3335\sqrt{T} - 0,0098 \cdot T$	$h = 0,1728\sqrt{T} - 0,0037 \cdot T$	
20	$h = 0,1569\sqrt{T} + 0,0169 \cdot T$	$h = 0,1670\sqrt{T} + 0,0107 \cdot T$	

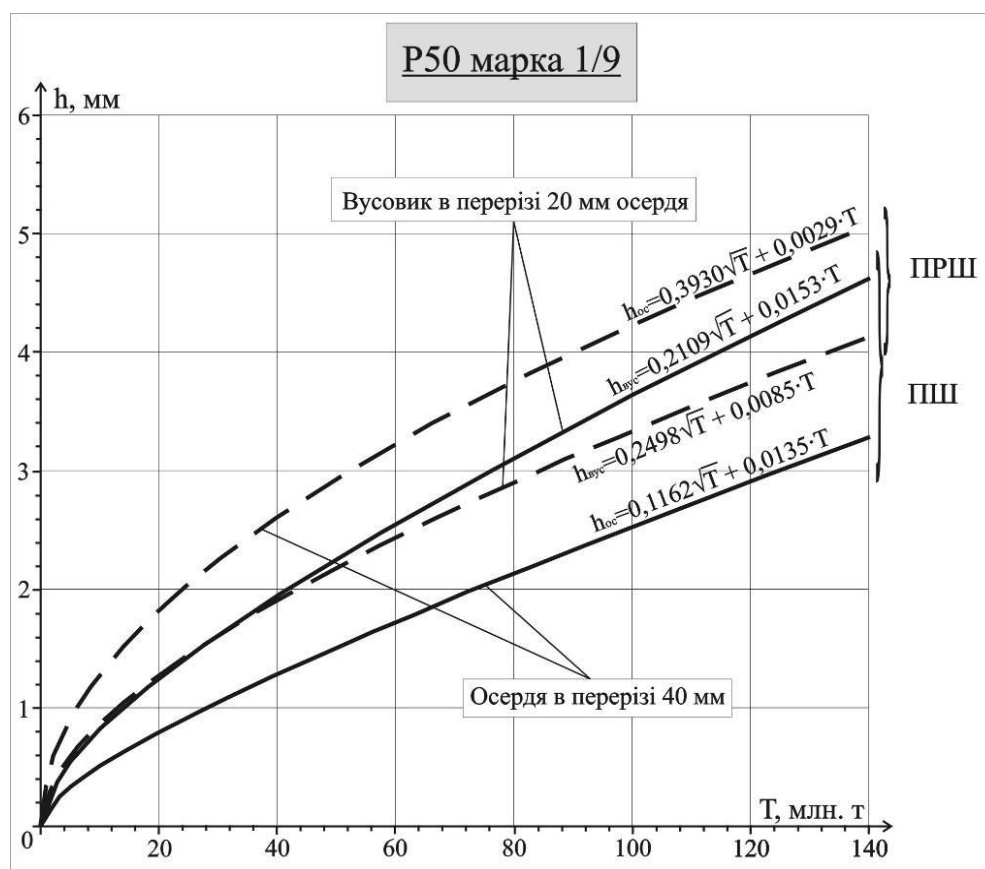


Рис. 3.11 Аналітичні залежності зносу осердя та вусовиків хрестовин типу P50 марки 1/9 в основних перерізах

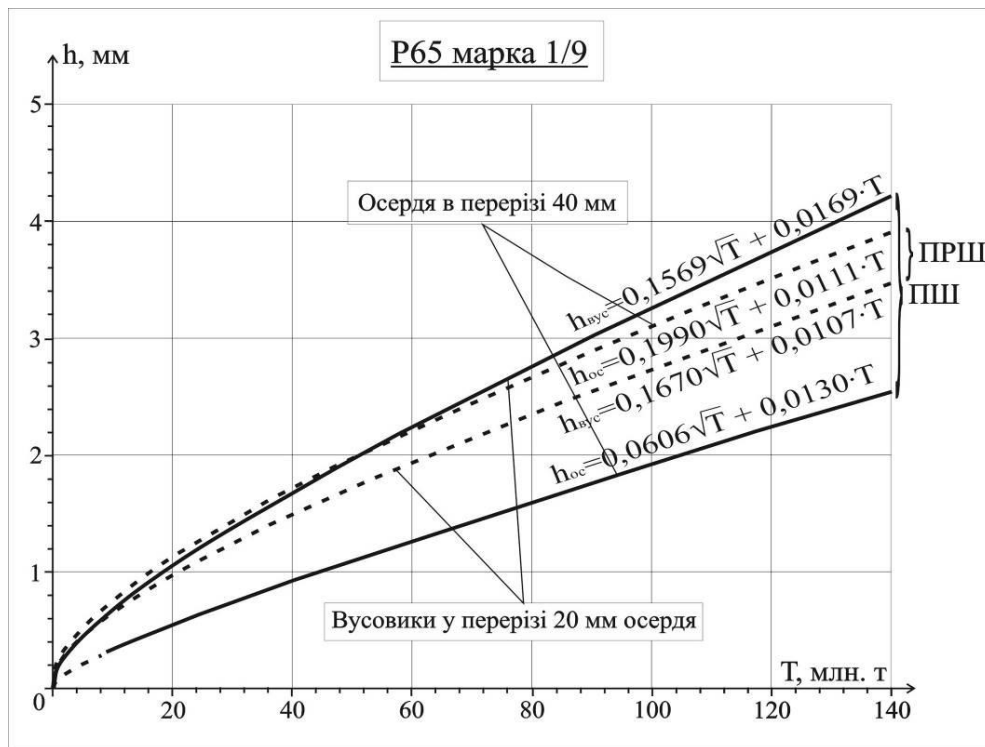


Рис. 3.12 Аналітичні залежності зносу осердя та вусовиків хрестовин типу Р65 марки 1/9 в основних перерізах

Враховуючи те що нормативи зносу хрестовин відповідно до [85] встановлюються по зносу осердя в перерізі 40 мм, або зносу на вусовиках у перерізі проти 20 мм осердя, для проведення подальшого сумісного аналізу, на рис. 3.11 наведено залежності  $h = f(T)$  для переводів типу Р50 марки 1/9 при переважному (ПШ) і (ПРШ) напрямків руху для вусовиків в перерізі 20 мм осердя та осердя в перерізі 40 мм. На рис. 3.12 наведено аналогічні залежності для хрестовин типу Р65 марки 1/9.

#### 3.1.2.4 Аналіз результатів досліджень зносу елементів хрестовин

Аналіз зносостійкості елементів хрестовин стрілочних переводів типу Р65 і Р50 марки 1/9 на дерев'яних брусах типової конструкції, що експлуатуються в головних Київського метрополітену виконаний для наступних умов:

- переводи розміщувались на ділянках головних колій Святошинсько-Броварської, Куренівсько-Червоноармійської та Сирецько-Печерської лінії метрополітену;

- діапазон пропущеного тоннажу на час проведення досліджень склав:

а) для переводів типу Р65 М 1/9 від  $T=25,2$  до  $T=108,3$  млн. т брутто при пошерстному напрямку та від  $T=24,2$  до  $T=93,3$  млн. т брутто при протишерстному напрямку руху;

б) для переводів типу Р50 М 1/9 від  $T=17,5$  до  $T=136,6$  млн. т брутто при пошерстному напрямку та від  $T=31,5$  до  $T=116,6$  млн. т брутто при протишерстному напрямку руху;

Аналіз результатів експлуатаційних спостережень за роботою хрестовин на протязі їх роботи в діючих головних коліях показує наступне:

1. Найбільш інтенсивне накопичення зносу поверхні кочення відбувається на початковій стадії експлуатації хрестовин в період пропуску перших 20-30 млн. т брутто.

2. Знос вусовиків і осердь хрестовин наростає по мірі збільшення пропущеного по хрестовинам тоннажу, за виключенням тих випадків де з'являється викришування металу, безпосередньо в зоні перекочування колеса з вусовика на осердя і навпаки, при цьому інтенсивність зносу значно збільшується. Таке явище збільшення інтенсивності зносу спостерігається при досягненні пропущеного тоннажу значень від 80 млн. т брутто.

3. Знос вусовиків в найбільш зношуємій зоні (від математичного центра хрестовини та перерізом 20 мм осердя) здійснюється більш інтенсивно у порівнянні зі зносом осердя. Така закономірність може змінюватись при ПРШ напрямку руху, коли починається викрашуватись осердя.

4. Осердя хрестовин найбільш інтенсивно зношуються у перерізі 20 мм.

5. Вусовики хрестовин найбільш інтенсивно зношуються в зоні напроти перерізів осердя 20 мм і 12 мм і менше в зоні математичного центра хрестовини. Найбільш характерні перерізи елементів хрестовини де формується максимальний знос:

знос вусовиків хрестовин:

- для типу Р50 найбільший знос спостерігається навпроти перерізу осердя 12мм при ПШ русі та перерізу 20 мм осердя при ПРШ русі поїздів;

- для типу Р65 знос найбільше формується навпроти перерізу осердя 20 мм як для ПШ так і ПРШ напрямків руху поїздів;

знос осердя хрестовин:

- для типу Р50 найбільший знос спостерігається в перерізах 20 і 30 мм осердя при ПРШ русі та в перерізі 20 мм осердя при ПШ русі поїздів;

- для типу Р65 знос найбільше формується в перерізі 40 мм осердя як для ПРШ та перерізі 20 мм осердя для ПШ руху поїздів.

Порівняльний аналіз вертикального зносу хрестовин типу Р50 1/9 (рис. 3.11) при пропущеному тоннажі від  $T=20$  млн. т до  $T=140$  млн. т показав наступне:

- вусовик в перерізі 20 мм з переважним (ПШ) рухом зношується в межах 1,5-1,4 рази інтенсивніше ніж осердя в перерізі 40 мм;

- осердя в перерізі хрестовини 40 мм з переважним (ПРШ) рухом зношується інтенсивніше ніж вусовик в перерізі 20 мм в межах приблизно 1,4-1,2 рази;

- вусовики при переважному (ПШ) і (ПРШ) напрямках руху до набуття пропущеного тоннажу до  $T=40$  млн. т зношуються майже одночасно, а при зростанні тоннажу вусовики ПШ напрямку в 1,1 рази зношуються більш інтенсивно ніж при ПРШ русі;

- осердя в перерізі 40 мм хрестовини з ПРШ напрямком зношуються в межах від 2,2 до 1,5 разів інтенсивніше ніж при ПШ русі.

Порівняльний аналіз вертикального зносу хрестовин типу Р65 1/9 (рис. 3.12) при пропущеному тоннажі від  $T=20$  млн. т до  $T=140$  млн. т показав наступне:

- вусовик в перерізі 20 мм з переважним (ПШ) рухом зношується в межах 2,1-1,7 рази інтенсивніше ніж осердя в перерізі 40 мм;

- осердя в перерізі хрестовини 40 мм з переважним (ПРШ) рухом зношується інтенсивніше ніж вусовик в перерізі 20 мм в межах приблизно 1,1-0,9 рази;

- вусовик в перерізі 20 мм з переважним (ПШ) рухом та осердя в перерізі 40 мм хрестовини з переважним (ПРШ) рухом при набутті пропущеного

тоннажу від  $T=40$  млн. т до  $T=60$  млн. т зношуються з однаковою інтенсивністю;

- вусовики при переважному (ПШ) в перерізі 20 мм зношуються інтенсивніше приблизно в 1,2 рази в порівнянні з вусовиками (ПРШ) напрямку руху, в той час як у випадку з конструкцією хрестовини типу Р50 1/9 зношуються майже одночасно;

- осердя в перерізі 40 мм хрестовини з ПРШ напрямком зношуються інтенсивніше приблизно в 1,6 рази ніж при ПШ русі.

Порівняльний аналіз вертикального зносу хрестовин типів Р50 та Р65 марки 1/9 (рис. 3.11, 3.12) при пропущеному тоннажі від  $T=20$  млн. т до  $T=140$  млн. т показав наступне:

- вусовики (ПШ) напрямку руху при хрестовині типу Р50 зношуються інтенсивніше в 1,1-1,3 рази в порівнянні з хрестовинами типу Р65;

- вусовики (ПРШ) напрямку руху при хрестовині типу Р50 зношуються інтенсивніше в 1,0-1,2 рази в порівнянні з хрестовинами типу Р65;

- осердя (ПШ) напрямку руху при хрестовині типу Р50 зношуються інтенсивніше в 1,3-1,7 рази в порівнянні з хрестовинами типу Р65;

- осердя (ПРШ) напрямку руху при хрестовині типу Р50 зношуються інтенсивніше в 1,3-1,6 рази в порівнянні з хрестовинами типу Р65.

### **3.1.2.5 Методика визначення вертикального зносу поверхні кочення вістряків та рамних рейок стрілочних переводів**

Знос поверхні кочення елементів стрілки стрілочного переводу поділяють на вертикальний та боковий, який визначається окремо для прямого і бокового вістряків та рамних рейок за методикою, що регламентується нормативно-технічними документами [85, 74, 106].

Вертикальний знос вістряка від початку його і до того місця, де ширина головки становить 50 мм, контролюється штангенциркулем, вимірюється від підшви вістряка до його вершини та визначається як різниця між висотою нового та зношеного вістряка.

Боковий знос вістряків контролюється у найбільш зношеному місці поза межами бокової строжки головки та визначається як різниця ширини нової і зношеної головки на рівні 13 мм нижче поверхні кочення. Ширина головки нового вістряка на рівні 13 мм з несиметричною головкою ОР65 складає 68 мм, ОР50 – 64,6 мм.

Боковий знос рамних рейок контролюється біля вістря вістряків та на відстані від вістря вістряків до місця, де ширина головки вістряка становить 20 мм та визначається як різниця нової та зношеної ширини головки на рівні 13 мм нижче поверхні кочення. За величину зносу приймається його значення в найбільш зношеному місці. Боковий знос рамних рейок в інших місцях контролюється на рівні 13 мм нижче поверхні кочення та визначається як різниця між шириною нової та зношеної головки.

Вертикальний знос вістряка від початку його і до того місця, де ширина головки становить 50 мм, контролюється штангенциркулем, вимірюється від підшви вістряка до його вершини та визначається як різниця між висотою нового та зношеного вістряка.

Вертикальний знос рамних рейок і вістряків, де ширина їх головки більше 50 мм, контролюється по осі головки і вимірюється як різниця між висотою нових і зношених рамних рейок та вістряків.

В дисертаційному дослідженні зносостійкості були виконані наступні вимірювання зносу вістряків та рамних рейок стрілочних переводів типу Р65 і Р50 марки 1/9:

- вертикальний знос вістряків (прямолінійний та криволінійний) вимірювався в контрольних перерізах 5, 20, 50 і 65 мм. Схема вістряка ОР65 та ОР50 з характеристиками поздовжнього та поперечних профілів в контрольних перерізах наведено на рис. 3.13. Вістряки ОР50 для стрілочних переводів типу Р50 виготовлені за проектом 2498, а вістряки ОР65 для переводів типу Р65 виготовлені за проектом 2433. Основні розміри вістряків ОР65 та ОР50 за довжиною відповідно до [85, 106, 107] наведено в табл. 3.8;

- знос рамних рейок вимірювався біля вістря вістряка за межами бокового строжки головки рейки (обидві рамні рейки).



Рис. 3.13 Поздовжні та поперечні профілі вістряків OP65 та OP50

Таблиця 3.8

Основні розміри вістряків за довжиною

№ з/п	Проект переводу	Тип, марка, довжина вістряка	Вістряк кривий				Позначення вістряка	Вістряк прямий				
			А	Б	В	Г		А	Б	В	Г	
1	2433	P65 M1/9 L=8300	563	1821	3589	4451	ДнСП 520	327	1309	3273	4477	ДнСП 521
2	2498	P50M 1/9 L=6515	399	1404	2964	3617	ДнСП 579	280	1120	2800	3640	ДнСП 578

### 3.1.2.6 Результати дослідження зносу рейкових елементів стрілки

Дослідження зносу елементів стрілки (рамна рейка, вістряк) проводились в той самий час на тих самих конструкціях стрілочних переводів, характеристики і експлуатаційні умови для яких також наведені в табл. 3.1-3.3).

Знос елементів стрілки (вістряків та рамних рейок) проводився в таких перерізах: для прямого та криволінійного вістряка в перерізі 5, 20, 50 і 65 мм; рамна рейка – біля вістря вістряка (вертикальний та боковий знос).

Результати вимірювань вертикального зносу вістряків та вертикального і горизонтального зносу рамних рейок стрілочних переводів наведені в табл. 3.9 для переводів типу P50 марки 1/9 та в табл. 3.10 для переводів типу P65 марки 1/9.

Таблиця 3.9

Результати вимірювань вертикального та горизонтального зносу рейкових елементів стрілки типу Р50 марки 1/9

Переважає рух	Пропущений тonaж, млн. т бруто	Станція	№ стрілочного переводу	Знос елементів стрілочного переводу, мм											
				Вертикальний знос прямого вістряка в перерізі				Вертикальний знос кривого вістряка в перерізі				Рамна рейка біля вістря вістряка			
				5	20	50	65	5	20	50	65	прямолінійна		криволінійна	
												гориз. знос	верт. знос	гориз. знос	верт. знос
ПШ	53,6	Оболонь	2	1,7	0,1	0,0	0,0	1,2	1,1	0,2	0,0	1,4	0	0,8	0
ПШ	243,6	Контрактова площа	2	2,3	1,0	0,7	0,2	0,9	0,2	0,0	0,0	0,1	1,2	0	2,0
ПШ	70,8	Либідська	1	2,2	1,5	0,7	0,1	1,4	1,2	0,1	0,1	0,6	0,4	1,3	0,4
ПШ	132,8	Либідська	2	0,6	0,2	0,1	0,0	2,7	1,7	0,2	0,0	0,7	0	1,3	0
ПШ	61,4	Васильківська	1	2,1	1,2	0,9	0,1	1,7	1,2	0,2	0,0	0,4	0	0,6	0,4
ПШ	254,2	Святошин	1	1,8	1,4	0,6	0,0	2,5	1,8	0,3	0,2	0,5	1,6	0,6	1,7
ПШ	366,2	Шулявська	1	2,9	1,6	1,0	0,2	2,4	2,0	0,3	0,1	0,1	1,8	0,2	1,8
ПШ	31,3	Шулявська	2	1,7	0,8	0,4	0,1	1,3	1,1	0,0	0,0	0,8	0,7	0,4	0
ПШ	112,9	Хрещатик	2	1,0	0,1	0,0	0,0	2,0	1,7	0,3	0,1	0,8	2,1	1,3	0,5
ПШ	344,9	Арсенальна	2	2,4	0,4	0,1	0,0	3,2	2,5	0,2	0,0	0	3,2	0,8	2,2
ПШ	122,4	Дарниця	6	2,3	0,1	0,5	0,2	2,6	1,0	0,1	0,0	0,7	0,5	0,8	0,8
ПШ	223,4	Дарниця	7	2,4	1,2	0,4	0,1	0,5	0,1	0,0	0,0	0	0,2	0	2,2
ПШ	133,4	Дарниця	11	1,7	0,5	0,1	0,0	1,4	0,8	0,1	0,0	1,6	0,6	0,4	0,5
ПРШ	61,4	Васильківська	2	2,2	0,8	0,4	0,1	1,4	0,8	0,2	0,0	0,6	0	0,7	0
ПРШ	80,6	Героїв Дніпра	1	1,7	1,0	0,1	0,1	2,0	1,2	0,1	0,0	0,3	0,4	1,1	0,6
ПРШ	239,6	Контрактова площа	1	1,8	1,0	0,0	0,0	2,3	1,5	0,5	0,2	0,1	0,8	0,5	0,7
ПРШ	204,2	Святошин	2	1,3	1,2	0,4	0,1	3,6	0,6	0,6	0,1	1,3	0	0,9	0,1
ПРШ	112,9	Хрещатик	1	1,2	0,6	0,3	0,0	1,9	1,1	0,1	0,0	0,3	1,3	0,4	0
ПРШ	366,9	Арсенальна	1	2,4	0,9	0,4	0,1	2,2	1,4	0,1	0,0	0,7	0,7	0,5	1,7
ПРШ	255,4	Дарниця	1	0,4	0,1	0,0	0,0	2,8	1,2	0,2	0,0	1,3	0	0,6	0
ПРШ	367,4	Дарниця	2	3,0	2,2	0,4	0,1	2,9	1,2	0,4	0,1	0,5	2,2	0,5	1,6
ПРШ	222,4	Дарниця	9	1,4	0,5	0,3	0,0	0,8	0,2	0,0	0,0	0,5	0,8	0,6	0

Таблиця 3.10

Результати вимірювань вертикального та горизонтального зносу рейкових елементів стрілки типу Р65 марки 1/9

Переважний напрямок руху	Пропущений тоннаж, млн. т бруто	Станція	№ стрілочного переводу	Знос елементів стрілочного переводу, мм											
				Вертикальний знос прямого вістряка в перерізі				Вертикальний знос кривого вістряка в перерізі				Рамна рейка біля вістря вістряка			
				5	20	50	64,8	5	20	50	64,8	прямолінійна		криволінійна	
												гориз. знос	верт. знос	гориз. знос	верт. знос
ПШ	224,7	Дорогожичі	1	2,0	1,0	0,8	0,1	1,7	1,0	0,5	0,1	1,6	1,7	0,1	1,1
ПШ	261,7	Лук'янівська	1	2,0	1,5	1,0	0,3	2,1	1,1	0,6	0,1	0,6	0,9	0,4	1,3
ПШ	334,7	Золоті ворота	1	3,4	1,6	1,2	0,0	2,4	1,1	0,3	0,0	0,9	0,9	0	1,3
ПШ	397,7	Золоті ворота	2	1,6	1,5	1,2	0,2	1,7	1,2	0,8	0,2	0,7	0,6	0,9	0,6
ПШ	344,9	Кловська	1	2,9	1,2	1,3	0,5	3,4	1,6	0,9	0,1	0,4	1,4	0	0,7
ПШ	326,9	Дружби Народів	2	0,7	1,2	0,3	0,0	0,5	0,1	0,1	0,1	0,3	1,4	0,4	0,7
ПШ	340,2	Видубичі	1	2,9	1,1	1,0	0,0	3,4	1,1	0,5	0,1	0,6	0,7	0,7	1,7
ПШ	328,2	Видубичі	2	1,2	0,8	1,0	0,7	3,5	1,3	0,7	0,2	0	2,5	0	2,3
ПШ	313,0	Осокорки	2	1,3	1,4	1,1	0,4	0,5	0,1	0,0	0,0	0	1,5	0	0,4
ПШ	286,0	Харківська	2	1,5	1,0	1,0	0,3	3,5	1,6	0,9	0,2	0	1,9	0	2,1
ПРШ	224,7	Дорогожичі	2	2,9	1,6	0,4	0,1	2,2	1,0	0,4	0,1	0,5	1,4	0	1,0
ПРШ	261,7	Лук'янівська	2	2,3	1,4	0,6	0,2	2,4	1,5	0,6	0,2	0,6	0,2	0	0,6
ПРШ	341,9	Кловська	2	3,5	1,6	0,5	0,2	2,6	1,5	0,7	0,2	0,3	0,1	0,7	0
ПРШ	326,9	Дружби Народів	1	2,5	1,4	0,7	0,1	2,5	1,2	0,5	0,1	1,2	0,7	0,2	1,0
ПРШ	313,0	Осокорки	1	3,4	2,0	0,4	0,1	1,9	0,7	0,3	0,1	0,7	1,2	0,2	0,3

### 3.1.2.7 Обробка результатів експериментальних досліджень зносу вістряків та рамних рейок. Апроксимація кривих зносу поверхні кочення

При встановленні закономірностей формування зносу вістряків стрілочних переводів приймалися до уваги характерні особливості їх роботи під поїздами, які встановлені на основі багаторічних експериментальних досліджень й експлуатаційних спостережень за роботою стрілочних переводів на залізницях України та залізницях країн СНД [1, 32, 36, 81-83].

Стрілочні переводи *пошерстного (ПШ)* і *протишерстного (ПРШ)* напрямків мають різні особливості формування зносу, тому вони *повинні розглядатися окремо*.

Апроксимація отриманих натурних значень зносу виконувалась за аналогічної методикою що і для хрестовин, що дозволило встановити аналітичні залежності зносу елементів в характерних перерізах. При тому, для оцінки можливого напрацювання тоннажу були встановлені значення інтенсивності накопичення вертикального і бокового зносу (мм) при різних значеннях пропущеного тоннажу, які представлено в табл. 3.9 і 3.10. Аналітичні криві  $h = f(T)$  що характеризують набуття зносу елементів стрілки залежно від пропущеного по конструкції тоннажу також представлено на рис. 3.14-3.17.

Апроксимація кривих зносу дозволяє використовувати кожну конкретну криву на прогнозованому терміні служби вістряків по зносу, впритул до набуття допустимої величини зносу ( $h_{дон}$ ), а це дозволяє в свою чергу визначати поточне значення зносу вістряків в будь-який період експлуатації, що характеризується пропущеним тоннажем  $T_i$ , а також визначати чи прогнозувати строки служби конструкції ( $T_{норм}$ ) вже в початковий період її експлуатації в колії чи в період проектування укладки стрілочного переводу.

Отримані аналітичні залежності  $h = f(T)$  дають можливість прогнозувати набуття зносу на вістряках від перерізу 5 мм до повного перерізу головки вістрякової рейки.

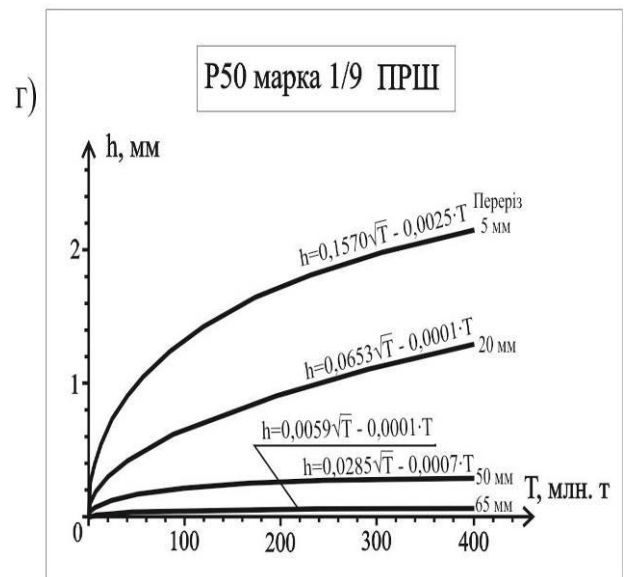
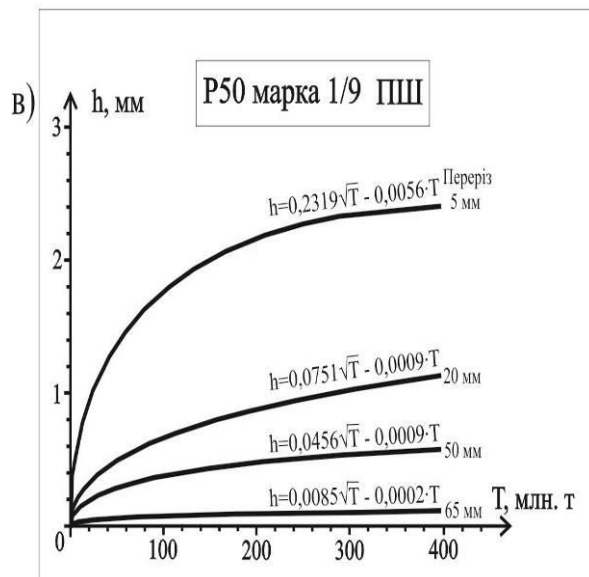
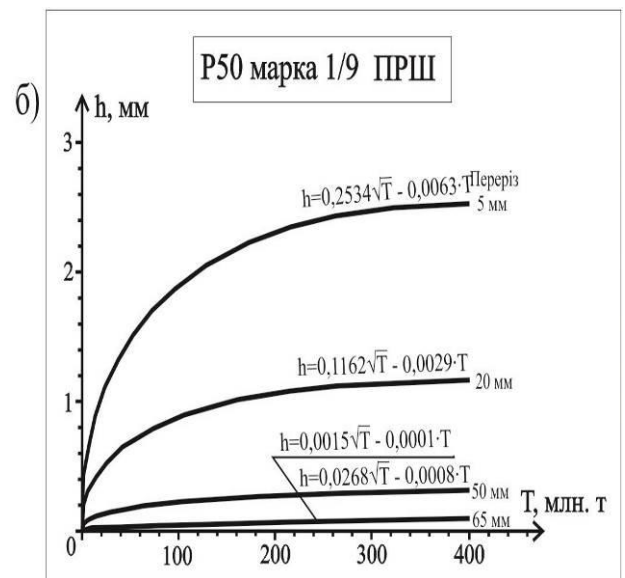
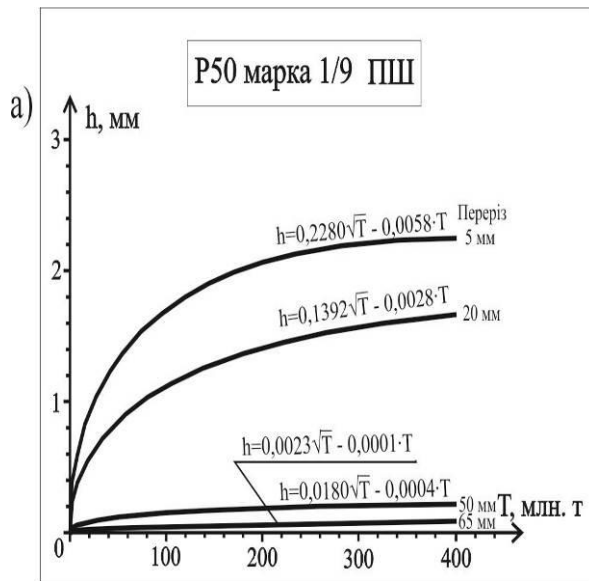


Рис. 3.14 Знос вістряків стрілочного переводу типу P50 марки 1/9 при ПШ напрямку руху  
а) кривий вістряк; в) прямий вістряк;

Рис. 3.15 Знос вістряків стрілочного переводу типу P50 марки 1/9 при ПРШ напрямку руху  
б) кривий вістряк; г) прямий вістряк

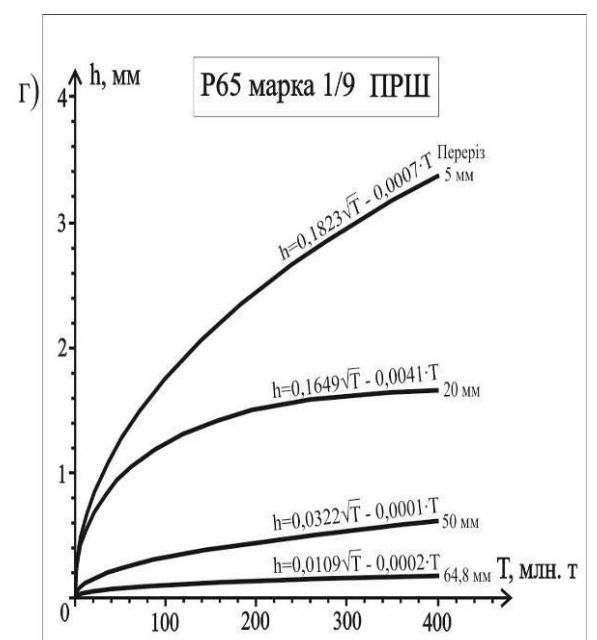
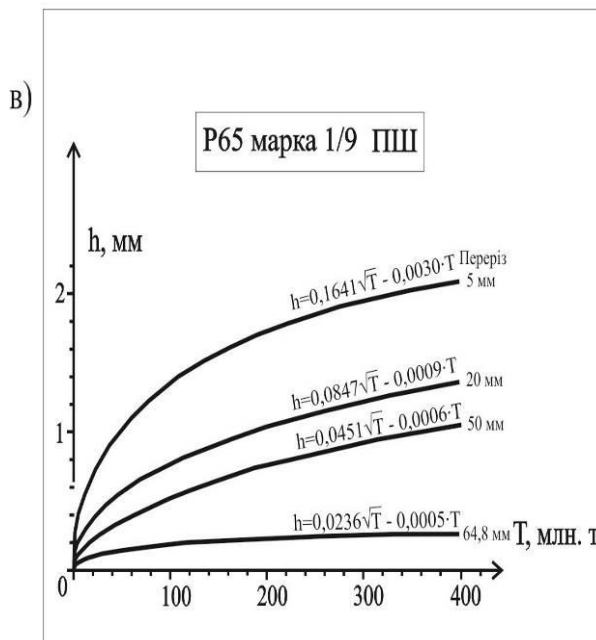
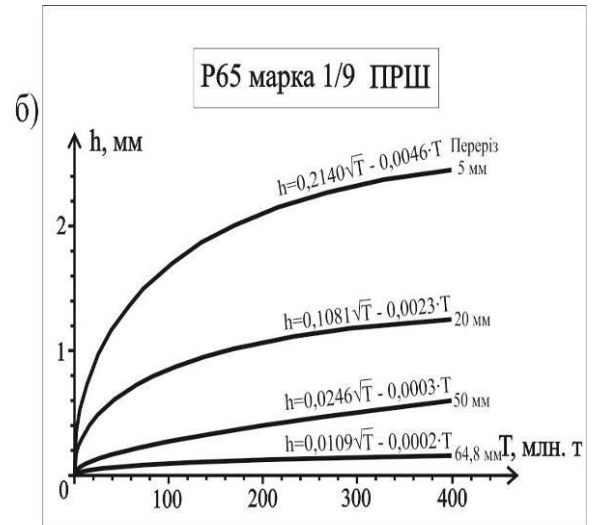
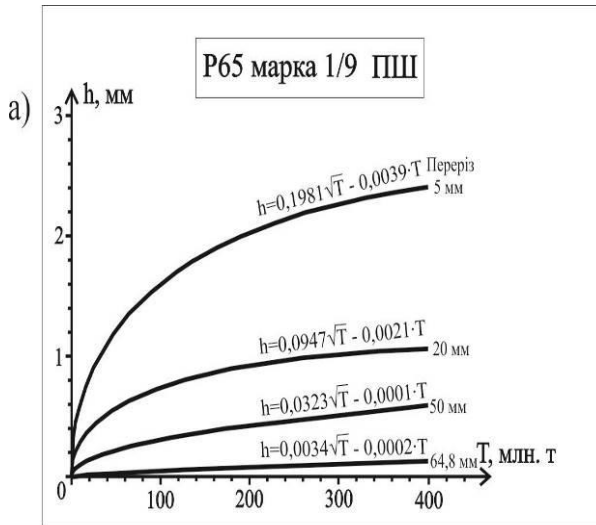


Рис. 3.16 Знос вістряків стрілочного переходу типу Р65 марки 1/9 при ПШ напрямку руху

а) кривий вістряк; в) прямий вістряк;

Рис. 3.17 Знос вістряків стрілочного переходу типу Р65 марки 1/9 при ПРШ напрямку руху

б) кривий вістряк; г) прямий вістряк

Таблиця 3.11

Результати розрахунку накопичення вертикального та горизонтального зносу рейкових елементів стрілки типу Р50 марки 1/9

Переважний напрямок руху	Пропущений тоннаж, млн. т брутто	Станція	№ стрілочного переводу	Накопичення зносу елементів стрілочного переводу, мм											
				Накопичення вертикального зносу прямого вістряка в перерізі (мм на млн. т брутто)				Накопичення вертикального зносу кривого вістряка в перерізі (мм на млн. т брутто)				Рамна рейка біля вістря вістряка			
				5	20	50	65	5	20	50	65	прямолінійна		криволінійна	
												гориз. знос	верт. знос	гориз. знос	верт. знос
<b>Р-50, ПШ</b>															
ПШ	53,6	Оболонь	2	0,0317	0,0019			0,0224	0,0205	0,0037		0,0261		0,0149	
ПШ	243,6	Контрактова площа	2	0,0094	0,0041	0,0029	0,0008	0,0037	0,0008			0,0004	0,0049		0,0082
ПШ	70,8	Либідська	1	0,0311	0,0212	0,0099	0,0014	0,0198	0,0169	0,0014	0,0014	0,0085	0,0056	0,0184	0,0056
ПШ	132,8	Либідська	2	0,0045	0,0015	0,0008		0,0203	0,0128	0,0015		0,0053		0,0098	
ПШ	61,4	Васильківська	1	0,0342	0,0195	0,0147	0,0016	0,0277	0,0195	0,0033		0,0065		0,0098	0,0033
ПШ	254,2	Святошин	1	0,0071	0,0055	0,0024		0,0098	0,0071	0,0012	0,0008	0,0020	0,0063	0,0024	0,0067
ПШ	366,2	Шулявська	1	0,0079	0,0044	0,0027	0,0005	0,0066	0,0055	0,0008	0,0003	0,0003	0,0049	0,0005	0,0049
ПШ	31,3	Шулявська	2	0,0543	0,0256	0,0128	0,0032	0,0415	0,0351			0,0256	0,0224	0,0128	
ПШ	112,9	Хрещатик	2	0,0089	0,0009			0,0177	0,0151	0,0027	0,0009	0,0071	0,0186	0,0115	0,0044
ПШ	344,9	Арсенальна	2	0,0070	0,0012	0,0003		0,0093	0,0072	0,0006			0,0093	0,0023	0,0064
ПШ	122,4	Дарниця	6	0,0188	0,0008	0,0041	0,0016	0,0212	0,0082	0,0008		0,0057	0,0041	0,0065	0,0065
ПШ	223,4	Дарниця	7	0,0107	0,0054	0,0018	0,0004	0,0022	0,0004				0,0009		0,0098
ПШ	133,4	Дарниця	11	0,0127	0,0037	0,0007		0,0105	0,0060	0,0007		0,0120	0,0045	0,0030	0,0037
<b>Р-50, ПРШ</b>															
ПРШ	61,4	Васильківська	2	0,0358	0,0130	0,0065	0,0016	0,0228	0,0130	0,0033		0,0098		0,0114	
ПРШ	80,6	Героїв Дніпра	1	0,0211	0,0124	0,0012	0,0012	0,0248	0,0149	0,0012		0,0037	0,0050	0,0136	0,0074
ПРШ	239,6	Контрактова площа	1	0,0075	0,0042			0,0096	0,0063	0,0021	0,0008	0,0004	0,0033	0,0021	0,0029
ПРШ	204,2	Святошин	2	0,0064	0,0059	0,0020	0,0005	0,0176	0,0029	0,0029	0,0005	0,0064		0,0044	0,0005
ПРШ	112,9	Хрещатик	1	0,0106	0,0053	0,0027		0,0168	0,0097	0,0009		0,0027	0,0115	0,0035	
ПРШ	366,9	Арсенальна	1	0,0065	0,0025	0,0011	0,0003	0,0060	0,0038	0,0003		0,0019	0,0019	0,0014	0,0046
ПРШ	255,4	Дарниця	1	0,0016	0,0004			0,0110	0,0047	0,0008		0,0051		0,0023	
ПРШ	367,4	Дарниця	2	0,0082	0,0060	0,0011	0,0003	0,0079	0,0033	0,0011	0,0003	0,0014	0,0060	0,0014	0,0044
ПРШ	222,4	Дарниця	9	0,0063	0,0023	0,0013		0,0036	0,0010			0,0022	0,0036	0,0027	

Таблиця 3.12

Результати розрахунку накопичення вертикального та горизонтального зносу рейкових елементів стрілки типу Р65 марки 1/9

Переважний напрямок руху	Пропущений тоннаж, млн. т брутто	Станція	№ стрілочного переводу	Накопичення зносу елементів стрілочного переводу, мм											
				Накопичення вертикального зносу прямого вістряка в перерізі (мм на млн. т брутто)				Накопичення вертикального зносу кривого вістряка в перерізі (мм на млн. т брутто)				Рамна рейка біля вістря вістряка			
				5	20	50	64,8	5	20	50	64,8	прямолінійна		криволінійна	
												гориз. знос	верт. знос	гориз. знос	верт. знос
<b>Р-65, ПШ</b>															
ПШ	224,7	Дорогожичі	1	0,0089	0,0045	0,0036	0,0004	0,0076	0,0045	0,0022	0,0004	0,0071	0,0076	0,0004	0,0049
ПШ	261,7	Лук'янівська	1	0,0076	0,0057	0,0038	0,0011	0,0080	0,0042	0,0023	0,0004	0,0023	0,0034	0,0015	0,0050
ПШ	334,7	Золоті ворота	1	0,0102	0,0048	0,0036		0,0072	0,0033	0,0009		0,0027	0,0027		0,0039
ПШ	397,7	Золоті ворота	2	0,0040	0,0038	0,0030	0,0005	0,0043	0,0030	0,0020	0,0005	0,0018	0,0015	0,0023	0,0015
ПШ	344,9	Кловська	1	0,0084	0,0035	0,0038	0,0014	0,0099	0,0026	0,0026	0,0003	0,0012	0,0041		0,0020
ПШ	326,9	Дружби Народів	2	0,0021	0,0037	0,0009		0,0015	0,0003	0,0003	0,0003	0,0009	0,0043	0,0012	0,0021
ПШ	340,2	Видубичі	1	0,0085	0,0032	0,0029		0,0100	0,0032	0,0015	0,0003	0,0018	0,0021	0,0021	0,0050
ПШ	328,2	Видубичі	2	0,0037	0,0024	0,0030	0,0021	0,0107	0,0060	0,0021	0,0006		0,0076		0,0070
ПШ	313,0	Осокорки	2	0,0042	0,0045	0,0035	0,0013	0,0016	0,0003				0,0048		0,0013
ПШ	286,0	Харківська	2	0,0052	0,0035	0,0035	0,0010	0,0122	0,0056	0,0031	0,0007		0,0066		0,0073
<b>Р-65, ПРШ</b>															
ПРШ	224,7	Дорогожичі	2	0,0129	0,0071	0,0018	0,0004	0,0098	0,0045	0,0018	0,0004	0,0022	0,0062		0,0045
ПРШ	261,7	Лук'янівська	2	0,0088	0,0053	0,0023	0,0008	0,0091	0,0057	0,0023	0,0008	0,0023	0,0008		0,0023
ПРШ	341,9	Кловська	2	0,0102	0,0047	0,0015	0,0006	0,0076	0,0044	0,0020	0,0006	0,0009	0,0003	0,0020	
ПРШ	326,9	Дружби Народів	1	0,0076	0,0043	0,0021	0,0003	0,0076	0,0037	0,0015	0,0003	0,0037	0,0021	0,0006	0,0031
ПРШ	313,0	Осокорки	1	0,0109	0,0064	0,0013	0,0003	0,0061	0,0022	0,0010	0,0003	0,0022	0,0038	0,0006	0,0010

## **3.2 Аналіз результатів досліджень зносу рейкових елементів стрілочних переводів**

### **3.2.1 Аналіз результатів досліджень зносу хрестовин**

Аналіз зносостійкості елементів хрестовин стрілочних переводів типу Р65 і Р50 марки 1/9 на дерев'яних брусах типової конструкції, що експлуатуються в головних Київського метрополітену виконаний для наступних умов:

- переводи розміщувались на ділянках головних колій Святошинсько-Броварської, Куренівсько-Червоноармійської та Сирецько-Печерської лінії метрополітену;

- діапазон пропущеного тоннажу на час проведення досліджень склав:

а) для переводів типу Р65 М 1/9 від  $T=25,2$  до  $T=108,3$  млн. т брутто при пошерстному напрямку та від  $T=24,2$  до  $T=93,3$  млн. т брутто при протишерстному напрямку руху;

б) для переводів типу Р50 М 1/9 від  $T=17,5$  до  $T=136,6$  млн. т брутто при пошерстному напрямку та від  $T=31,5$  до  $T=116,6$  млн. т брутто при протишерстному напрямку руху;

Аналіз результатів експлуатаційних досліджень за роботою хрестовин на протязі їх роботи в діючих головних коліях показує наступне:

1. Найбільш інтенсивне накопичення зносу поверхні кочення відбувається на початковій стадії експлуатації хрестовин в період пропуску перших 20-30 млн. т брутто.

2. Знос вусовиків і осердь хрестовин наростає по мірі збільшення пропущеного по хрестовинам тоннажу, за виключенням тих випадків де з'являється викришування металу, безпосередньо в зоні перекочування колеса з вусовика на осердя і навпаки, при цьому інтенсивність зносу значно збільшується. Таке явище збільшення інтенсивності зносу спостерігається при досягненні значень пропущеного тоннажу від 80 млн. т брутто.

3. Знос вусовиків в найбільш зношувемій зоні (від математичного центра хрестовини та перерізом 20 мм осердя) здійснюється більш інтенсивно у порівнянні зі зносом осердя. Така закономірність може змінюватись при ПРШ напрямку руху, коли починається викрашуватись осердя.

4. Осердя хрестовин найбільш інтенсивно зношуються у перерізі 20 мм ÷ 40 мм.

5. Вусовики хрестовин найбільш інтенсивно зношуються в зоні напроти перерізів осердя 20 мм і 12 мм і менше в зоні математичного центра хрестовини. Найбільш характерні перерізи елементів хрестовини де формується максимальний знос:

знос вусовиків хрестовин:

- для типу Р50 найбільший знос спостерігається навпроти перерізу осердя 12мм при ПШ русі та перерізу 20 мм осердя при ПРШ русі поїздів;

- для типу Р65 знос найбільше формується навпроти перерізу осердя 20 мм як для ПШ так і ПРШ напрямків руху поїздів;

знос осердя хрестовин:

- для типу Р50 найбільший знос спостерігається в перерізах 20 і 30 мм осердя при ПРШ русі та в перерізі 20 мм осердя при ПШ русі поїздів;

- для типу Р65 знос найбільше формується в перерізі 40 мм осердя для ПРШ та перерізі 20 мм осердя для ПШ руху поїздів.

Отримані результати зносостійкості хрестовин стрілочних переводів та встановлені аналітичні залежності формування вертикального зносу у вигляді рівняння (1.4 див. розділ 1) є основою для прогнозування строків експлуатації цих конструкцій для розглянутих умов експлуатації.

### **3.2.2 Аналіз результатів досліджень зносу стрілок**

Для пошерстних (ПШ) стрілочних переводів типу Р50 інтенсивність вертикального зносу складала: для рамних рейок 0,0009 – 0,0224 мм на 1 млн. т бруто; для прямих вістряків в перерізі головки 50 мм 0,0003 – 0,0147 мм на 1млн. т бруто; для прямих вістряків в повному перерізі головки 65 мм 0,0004 – 0,0032 мм на 1 млн. т бруто; для кривих вістряків в перерізі головки 50 мм 0,0007 – 0,0037 мм на 1млн. т бруто; для кривих вістряків в повному перерізі головки 65 мм 0,0003 – 0,0014 мм на 1млн. т бруто.

Для пошерстних (ПШ) стрілочних переводів типу Р65 інтенсивність вертикального зносу склала: для рамних рейок 0,0013 – 0,0076 мм на 1 млн. т брутто; для прямих вістряків в перерізі головки 50 мм 0,0009 – 0,0037 мм на 1 млн. т брутто; для прямих вістряків в повному перерізі головки 65 мм 0,0004 – 0,0021 мм на 1 млн. т брутто; для кривих вістряків в перерізі головки 50 мм 0,0003 – 0,00317 мм на 1 млн. т брутто; для кривих вістряків в повному перерізі головки 65 мм 0,0003 – 0,0007 мм на 1 млн. т брутто.

Для протишерстних (ПРШ) стрілочних переводів типу Р50 інтенсивність вертикального зносу склала: для рамних рейок 0,0005 – 0,0115 мм на 1 млн. т брутто; для прямих вістряків в перерізі головки 50 мм 0,0011 – 0,0065 мм на 1 млн. т брутто; для прямих вістряків в повному перерізі головки 65 мм 0,0003 – 0,0016 мм на 1 млн. т брутто; для кривих вістряків в перерізі головки 50 мм 0,0003 – 0,0033 мм на 1 млн. т брутто; для кривих вістряків в повному перерізі головки 65 мм 0,0003 – 0,0008 мм на 1 млн. т брутто.

Для протишерстних (ПРШ) стрілочних переводів типу Р65 інтенсивність вертикального зносу складала: для рамних рейок 0,0003 – 0,0062 мм на 1 млн. т брутто; для прямих вістряків в перерізі головки 50 мм 0,0013 – 0,0023 мм на 1 млн. т брутто; для прямих вістряків в повному перерізі головки 65 мм 0,0003 – 0,0008 мм на 1 млн. т брутто; для кривих вістряків в перерізі головки 50 мм 0,0010 – 0,0023 мм на 1 млн. т брутто; для кривих вістряків в повному перерізі головки 65 мм 0,0003 – 0,0008 мм на 1 млн. т брутто.

Таким чином порівняльний аналіз зносостійкості рейкових елементів стрілочних переводів типу Р50 і Р65, що експлуатуються в головних коліях Київському метрополітені, дозволяє зробити висновок про те, що по інтенсивності зносу таких елементів стрілки як вістряки і рамні рейки, стрілочні переводи типу Р50 зношуються інтенсивніше приблизно в 1,2 рази порівняно з типом Р65. Отримані фактичні значення зносостійкості основних рейкових елементів стрілочних переводів слугують основою для встановлення нормативів термінів їх служби залежно від експлуатаційних умов.

Таким чином, порівняльний аналіз зносостійкості рейкових елементів стрілочних переводів типу Р50 і Р65, що експлуатуються в головних коліях Київського метрополітену, дозволяє зробити наступний висновок:

- при пошерстному напрямку руху (ПШ) рамні рейки стрілочних переводів типу Р65 зношуються менше в 0,5-0,6 разів, вістряки в межах 0,6-1,0 разів ніж ці самі елементи переводів типу Р50;

- при протишерстному напрямку руху (ПРШ) рамні рейки стрілочних переводів типу Р65 зношуються менше в 0,4-0,5 разів, вістряки в межах 0,6-1,5 разів.

Отримані фактичні значення зносостійкості основних рейкових елементів стрілочних переводів є основою для встановлення нормативних термінів їх служби залежно від експлуатаційних умов.

### **3.3 Аналіз результатів досліджень зносостійкості хрестовин на коліях метрополітену**

Для більш об'єктивного і якісного аналізу характеристик зносостійкості хрестовин, що експлуатуються на коліях метрополітену марки 1/9 типів Р65 і Р50, в таблиці 3.13 приведені порівняльні характеристики, що характеризують роботу вказаних хрестовин на коліях Київського метрополітену протягом повного строку їх експлуатації. При тому, результати по зносостійкості приведені як в початковий період експлуатації, так і в середині строку служби і в кінцевому періоді експлуатації при набутті вертикального нормативного зносу  $h_n=6$  мм і пропуску нормативного тоннажу ( $T_n$ ). Результати приведені при пропущеному тоннажі  $T=30$ ,  $T=120$  (млн. т брутто) аж до набуття нормативного строку служби  $T_n$  (який визначається при вертикальному зносі поверхні кочення  $h_n=6$  мм) і який може складати до  $T_n = 200$  млн. т брутто і більше.

Таблиця 3.13

Порівняння характеристик зносостійкості хрестовин марки 1/9 типу Р65 та типу Р50 при експлуатації  
на коліях метрополітену

Характеристика конструкції зношуваних елементів хрестовин	Розрахункові показники										
	Вантажо-напруженість, $G$ , млн. т км / км в рік	Комплексна характеристика експлуатаційних умов, $U$ , кН·с/м	Розрахункове рівняння кривої зносу	Нормативний тоннаж, $T_n$ , млн т бруто при $h_n=6$ мм	Знос, $h$ , мм		Інтенсивність зносу, $i$ , мм/1 млн т бруто		Відношення характеристик при $T=120$		
					при $T=30$	при $T=120$	при $T=30$	при $T=120$	$i_{P65}/i_{P50} \left( i_{P50}/i_{P65} \right)$	$i_m/i_{y3}$	$U_m/U_{y3}$
Р65 1/9											
осердя	21,1	131	$h = 0,1990 \cdot \sqrt{T} + 0,0111 \cdot T$	254	1,42	3,512	0,0474	0,0293	0,755	0,669 з/б 0,630 дер. середнє 0,650	0,655
вусовик		131	$h = 0,1569 \cdot \sqrt{T} + 0,0169 \cdot T$	218	1,37	3,747	0,0455	0,0312	0,904	—	—
Р50 1/9											
осердя	21,1	131	$h = 0,3930 \cdot \sqrt{T} + 0,0029 \cdot T$	191	2,24	4,653	0,0747	0,0388	1,324	—	—
вусовик		131	$h = 0,2109 \cdot \sqrt{T} + 0,0153 \cdot T$	197	1,61	4,146	0,0538	0,0346	1,106	—	—

Аналіз та порівняння характеристик зносостійкості поверхні кочення хрестовин, що експлуатуються на коліях метрополітену для типів Р65 марки 1/9 та Р50 марки 1/9 показав наступне:

1) Величина зносу поверхні кочення ( $h$ ) на осердях і вусовиках хрестовин обох типів (Р65 1/9 та Р50 1/9) здійснюється нерівномірно по мірі пропущеного тоннажу, тобто більш інтенсивно накопичується знос на початковому періоді експлуатації (при пропуску тоннажу від  $T=0$  приблизно до  $T=30$  млн. т брутто). Це відповідає криволінійній частині розрахункового рівняння кривої зносу (4.1), що приведене в розділі 4 (§ 4.4). В подальшому, поступово по мірі зростання пропущеного тоннажу ( $T$ ), інтенсивність накопичення зносу поверхні кочення хрестовин зменшується (як по осердю, так і по вусовиках) і зростання величини зносу ( $h$ ) здійснюється практично рівномірно, що відповідає прямолінійній частині основного розрахункового рівняння кривої зносу ((4.1) див. § 4.4) поверхні кочення хрестовин.

Інтенсивність зносу поверхні кочення ( $i$ ) для хрестовин Р65 1/9 склала на початковому періоді експлуатації (при  $T=до 30$  млн. т брутто) відповідно: для осердя  $i=0,0474$  мм/1 млн. т брутто; для вусовика  $i=0,0455$  мм/1 млн. т брутто. А вже на подальшому етапі експлуатації (при  $T=$  від 30 до 120 млн. т брутто) інтенсивність зносу для тих же хрестовин Р65 1/9 склала відповідно: для осердя  $i=0,0293$  мм/1 млн. т брутто; для вусовика  $i=0,0312$  мм/1 млн. т брутто. Тобто, інтенсивність зносу на подальшому (основному) періоді експлуатації зменшилась відповідно: для осердя в 1,61 раза; для вусовика в 1,46 раза.

Для хрестовин Р50 марки 1/9 інтенсивність зносу поверхні кочення ( $i$ ) складала на початковому етапі (при  $T=до 30$  млн. т брутто) відповідно: для осердя  $i=0,0747$  мм/1 млн. т брутто; для вусовика  $i=0,0538$  мм/1 млн. т брутто, а на подальшому (основному) етапі експлуатації (при  $T=$  від 30 до 120 млн. т брутто) інтенсивність зносу для хрестовин Р50 1/9 склала відповідно: для осердя  $i=0,0388$  мм/1 млн. т брутто; для вусовика  $i=0,0346$  мм/1 млн. т брутто. Тобто, інтенсивність зносу на подальшому (основному) періоді експлуатації зменшилась відповідно: для осердя в 1,93 раза; для вусовика в 1,56 раза.

2) Порівняння характеристик інтенсивностей зносу поверхні кочення хрестовин типу Р65 та типу Р50 виражається відношенням  $i_{P65}/i_{P50}$  або  $i_{P50}/i_{P65}$  та дає можливість співставити ці характеристики окремо для осердь і вусовиків при однакових умовах експлуатації.

У виконаних дослідженнях отримані наступні значення відношень  $i_{P65}/i_{P50}$  : для осердя 0,755; для вусовика 0,904 і відповідно відношення  $i_{P50}/i_{P65}$  для осердя 1,324; для вусовика 1,106.

3) Представляє окремий і особливий інтерес співставлення інтенсивностей зносу поверхні кочення хрестовин одного типу і марки для умов експлуатації в коліях метрополітену та в коліях Укрзалізниці. За результатами досліджень, що виконані в дисертації, маємо можливість порівняти інтенсивність зносу поверхні кочення хрестовин типу Р65 марки 1/9 (тобто однакового типу і марки) для суттєво різних умов експлуатації, в яких працюють стрілочні переводи на коліях метрополітену та Укрзалізниці.

Порівняння експлуатаційних умов на коліях Київського метрополітену і на коліях Укрзалізниці (в зоні укладання стрілочних переводів марки 1/9 типу Р65) можна зробити за методикою проф. Даніленка Е.І., застосовуючи комплексну характеристику експлуатаційних умов  $U\left(\frac{\kappa H \cdot c}{M}\right)$ . Дана характеристика визначається за спеціальною методикою відповідно до [109] і включає урахування практично повного комплексу енергетичних характеристик експлуатації, які є на розглядаємій ділянці, а саме: колісні навантаження, швидкості руху, вантажонапруженість, динамічні силові додатки та ін.

Співвідношення комплексних характеристик експлуатаційних умов метрополітену і колій Укрзалізниці (в межах експлуатації стрілочних переводів

типу Р65 1/9) складає:

$$\frac{U_{\text{м}}}{U_{\text{вз}}} = \frac{131 \frac{\kappa H \cdot c}{M}}{200 \frac{\kappa H \cdot c}{M}} = 0,655.$$

Порівняння інтенсивностей зносу поверхні кочення хрестовин типу Р65 марки 1/9, що експлуатуються в коліях метрополітену і в коліях Укрзалізниці

дають наступний результат (для розрахунку розглядаються осердя хрестовин на залізобетонних та дерев'яних брусах):

$$\left. \begin{aligned} \frac{i_m}{i_{v3}(з/б)} &= \frac{0,0293}{0,0438} = 0,669 \\ \frac{i_m}{i_{v3}(дер.)} &= \frac{0,0293}{0,0465} = 0,630 \end{aligned} \right\} \text{ середнє значення для з/б та дер. брусів} = 0,650.$$

Таким чином, у виконаних дослідженнях отримано, що відношення інтенсивностей зносу поверхні кочення хрестовин (по осердю) типу Р65 1/9 в метрополітені до таких же хрестовин, що експлуатуються в коліях Укрзалізниці  $\frac{i_m}{i_{v3}}(сер.) = 0,650$ , практично точно відповідає відношенню комплексних характеристик експлуатаційних умов  $\frac{U_m}{U_{v3}} = 0,655$  на даних коліях.

Тобто, можна зробити висновок, що комплексну характеристику експлуатаційних умов  $U\left(\frac{кН \cdot с}{м}\right)$ , що отримана в наукових працях проф. Даніленка Е.І. [1, 37, 38, 81, 82], можна застосовувати для оцінки і прогнозування зносостійкості хрестовин в суттєво різних умовах експлуатації, що відрізняються від типових умов магістральних залізничних колій, тобто, в тому числі для прогнозування зносостійкості хрестовин, що експлуатуються на коліях метрополітену.

### 3.4 Висновки по розділу 3

1. Результати досліджень зі зносостійкості металевих елементів стрілочних переводів в умовах експлуатації метрополітену підтвердили те, що зносостійкість рейкових елементів безумовно залежить від умов експлуатації. При цьому хрестовини з більш складними умовами зношуються більш інтенсивно, що справедливо, як для стрілок і хрестовин (вусовиків і осердя) так і для обох переважних напрямків руху поїздів ПШ і ПРШ.

2. Порівняльний аналіз зносостійкості рейкових елементів стрілочних переводів типу Р50 і Р65, що експлуатуються в головних коліях Київському метрополітені, дозволяє зробити висновок про те, що по інтенсивності зносу

таких елементів стрілки як вістряки і рамні рейки, стрілочних переводів типу Р50 зношуються інтенсивніше приблизно в 1,2 рази порівняно з типом Р65.

3. Порівняльний аналіз зносостійкості поверхні кочення хрестовин, що експлуатуються на коліях метрополітену для типів Р65 марки 1/9 та Р50 марки 1/9 показав, що величина зносу поверхні кочення на осердях і вусовиках хрестовин типів Р65 1/9 та Р50 1/9 здійснюється нерівномірно по мірі пропущеного тоннажу. Тобто, характер наростання зносостійкості хрестовин в цілому аналогічний характеру, які працюють Укрзалізниці в цілому аналогічний характеру, який наявний в коліях АТ «Укрзалізниці», проте має різну інтенсивність.

4. При однакових умовах експлуатації інтенсивність зносу поверхні вусовиків і осердь хрестовин типу Р65 та Р50 виражається відношенням  $i_{P65}/i_{P50}$  : для осердя 0,755; для вусовика 0,901.

5. Встановлено, що відношення інтенсивностей зносу поверхні кочення хрестовин (по осердю) типу Р65 1/9 в метрополітені до таких же хрестовин, що експлуатуються в коліях Укрзалізниці складає  $i_m/i_{v3} (сер.) = 0,6495$ . Це практично точно відповідає відношенню комплексних характеристик експлуатаційних умов  $U_m/U_{v3} = 0,655$ .

6. Комплексну характеристику експлуатаційних умов  $U\left(\frac{\kappa H \cdot c}{m}\right)$ , що отримана в наукових працях проф. Даніленка Е.І. можна застосовувати для оцінки і прогнозування зносостійкості хрестовин в суттєво різних умовах експлуатації, що відрізняються від типових умов магістральних залізниць.

## РОЗДІЛ 4

### ПРОГНОЗУВАННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ТА НОРМАТИВНИХ СТРОКІВ СЛУЖБИ ХРЕСТОВИН ЗАЛЕЖНО ВІД ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ УМОВ

#### 4.1 Загальні поняття про строки служби стрілок і хрестовин стрілочних переводів

Строки служби стрілок і хрестовин визначаються кількістю пропущеного по стрілочному переводу тоннажу до досягнення величини вертикального зносу, регламентованого [85], або до появи дефектів чи пошкоджень, регламентованих [87], які не дозволяють подальшу експлуатацію цих конструкцій в колії. Строки служби стрілок і хрестовин різні.

Строк служби стрілочного переводу в цілому визначають по стану стрілки, і насамперед, по зносу її головних рейкових елементів – вістряків і рамних рейок.

Розрізняють нормативні та гарантійні строки служби стрілок і хрестовин.

*Нормативні строки служби стрілок і хрестовин* визначаються кількістю пропущеного по них тоннажу  $T_{норм}$  – нормативним напрацюванням до досягнення величини *регламентованого вертикального зносу*  $h_{норм}$  конструкції елементів стрілок (рамна рейка та вістряк) і конструкцій елементів хрестовин (осердя та вусовик). Нормативні строки служби є різними для стрілок і хрестовин, для конструкцій, що працюють в різних умовах експлуатації (тобто при різних осьових навантаженнях, різних швидкостях руху поїздів, різній вантажонапруженості та ін.). Вони також є різними для різних типів і марок стрілочних переводів [90, 110].

*Гарантійні строки служби стрілок і хрестовин* визначаються якістю виготовлення конструкцій на заводах (за умов технічно правильної експлуатації) і встановлюються за погодженням замовника (Укрзалізниці) і виробника (заводу) з метою підвищення відповідальності підприємств постачальників стрілочної продукції [90, 109].

*Нормативні строки служби стрілок та хрестовин  $T_{\text{норм}}$*  встановлюються за критерієм досягнення величини їх регламентованого вертикального зносу  $h_{\text{норм}}$ .

Боковий знос не розглядається при визначенні нормативних строків служби стрілок та хрестовин.

*Гарантійні строки служби стрілок та хрестовин* встановлюються за критерієм накопичення дефектів на їх конструктивних елементах: рамних рейках і вістряках в стрілках та на осердях і вусовиках в хрестовинах.

Дефектами або пошкодженнями вважаються будь-які невідповідності елементів конструкції наявній нормативно-технічній документації на них, Правилам технічної експлуатації залізниць України, «Інструкцією з улаштування та утримання колії залізниць України» [36, 84, 85].

У тому числі дефектними вважаються елементи стрілочних переводів, що мають знос більше допустимого, що визначений нормами [36, 84, 85].

Докладно особливості призначення гарантійних строків служби стрілок і хрестовин стрілочних переводів та критерії їх встановлення наведені в розділі 5.

## **4.2 Допустимі норми зносу стрілок і хрестовин стрілочних переводів**

Допустимі норми зносу стрілок і хрестовин регламентовані [85, 90].

Найбільш допустимі норми вертикального зносу елементів стрілочних переводів наведені в табл. 4.1.

Зазначені норми зносу повинні служити підставою для ремонту і заміни частин стрілочних переводів. При перевищенні зазначених нормативів, аж до заміни, переводи можуть експлуатуватися з обмеженням швидкостей [85].

Методика й послідовність вимірювання та визначення вертикального зносу стрілок і хрестовин наведені в [85, 83].

Вертикальний знос рамних рейок і вістряків визначається як різниця проектної та фактичної висоти кожного з цих елементів, при цьому: вістряки

вимірюють у перерізі головки 50 мм і більше, а рамні рейки – в найбільш зношеному місці.

Вертикальний знос осердя гострої хрестовини (суцільнолитої чи збірної з литим осердем) вимірюється посередині поверхні кочення в перерізі, де до зносу його ширина на рівні 13 мм від поверхні кочення складала 40 мм.

Вертикальний знос вусовиків вимірюється на відстані  $\frac{3}{4}$  ширини його литої частини, рахуючи від лінії врізання в найбільш зношеному місці, розміщеному між горлом хрестовини і перерізом осердя шириною 30 мм.

Таблиця 4.1

Найбільші допустимі норми вертикального зносу елементів стрілочних переводів, мм

Елементи переводу	При швидкостях руху поїздів і типах рейок							
	пасаж. поїзди >140-160 км/год	пасаж. поїзди >120-140 км/год	вантаж. поїзди >80-90 км/год	пасаж. поїзди >100-120 км/год	пасаж. поїзди до 100 км/год, вантаж. поїзди до 80 км/год	всі поїзди до 40 км/год		Р43 і легше
	60E1 (UIC60), P65			P50, 60E1(UIC60), P65				
	головні колії					прийм.-відпр. колії	інші колії	інші колії
Вертикальний знос								
Рамні рейки	5	5	8	6	8	10	12	10
Вістряки	5	5	8	6	8	10	12	10
Осердя хрестовини в перетині 40 мм і вусовики в місці найбільшого зносу	5	5	6	5	6	8 (P50) 10 (P65, 60E1 (UIC60))	10 (P50) 12 (P65, 60E1 (UIC60))	10
Рейки з'єднувальних колій	5	6	9	10	10 (P50) 12 (P65, 60E1 (UIC60))	10 (P50) 13 (P65, 60E1 (UIC60))	10 (P50) 13 (P65, 60E1 (UIC60))	10

**Примітка:** Боковий знос рейкових елементів, вістряків і хрестовин не розглядається при визначенні нормативних і гарантійних строків служби стрілочних переводів.

### 4.3 Існуючі нормативи для регламентування строків служби стрілок і хрестовин, що застосовувались на вітчизняних залізницях до теперішнього часу

До 2003 року на залізницях України застосовувались середньомережеві нормативні строки служби для стрілок і хрестовин на дерев'яних брусах, що були встановлені в 1979 – 1982 роках для мережі залізниць СРСР (наказ МШС СРСР №20/ЦЗ від 16.04.79р., додаткові вказівки МШС СРСР № М–19958 від 21.07.82 р. і № М–39923 від 16.12.82 р.). В табл. 4.2 приведені нормативні строки служби за нормами 1979 – 1982 років. Вказані норми застаріли і не могли бути раціонально використані для мережі залізниць України в теперішній час: по-перше тому, що вони лише приблизно характеризували строки служби вказаних елементів і лише відносно тільки середньомережеві умов залізниць СРСР; по-друге тому, що ці нормативи не передбачали врахування конкретних експлуатаційних умов для конкретних ділянок залізниць. Тим більш ці нормативи не були призначені для сучасних стрілочних переводів на залізобетонних брусах [83].

Таблиця 4.2

Середньомережеві нормативні строки служби для стрілок і хрестовин звичайних переводів, що були встановлені в 1979 – 1982 роках

Найменування елемента	Тип, марка перевода	Місце розміщення стрілочного перевода		
		головні колії	приймально-відправні колії	сортувальні і гірочні колії
Хрестовини з литим осердям із високомарганцевистої сталі	P50,1/9	60	70	-
	P50, 1/11	70	80	-
	P65,1/9	70	95	-
	P65, 1/11	85	105	-
Хрестовина з рухомим гнучким осердям	P65,1/11	300	-	-
	P65, 1/18	320	-	-
Стрілка	P50, 1/9 і 1/11	230	260	-
	P65, 1/9 і 1/11	300	360	-
	P65, 1/18	320	-	-

Застосування зазначених нормативів для залізниць України в умовах коли удосконалюються конструкції стрілочних переводів та впроваджуються в експлуатацію нові стрілочні переводи на залізобетонних брусах було недоцільним з зазначених вище причин і потребувало змін з врахуванням роботи конкретних конструкцій стрілочних переводів в реальних умовах експлуатації.

#### **4.4 Прогнозування зносостійкості та строків служби стрілочних переводів залежно від комплексу експлуатаційних умов**

Нормування строків служби стрілочних переводів [1, 36, 45, 83, 85] є однією з основ ведення стрілочного господарства, планування ремонтів і заміни конструктивних елементів безпосередньо впливає на ресурсозбереження.

Регламентовані строки служби стрілочних переводів (стрілка, з'єднувальні колії та хрестовини) визначаються по нормативу зносу рейкових елементів – вістряків, рамних рейок і хрестовин [85, 36, 1, 90]. При цьому найменший строк служби мають жолобчаті хрестовини, так як в межах їх довжини реалізується перетин рейкових ниток, а конструктивні особливості пов'язані з необхідністю руху колеса по малим контактним площинам в зоні перекочування з вусовика на осердя. Строк служби хрестовин в 2-3 рази менше ніж стрілок. Тому прогнозування строків служби хрестовин стрілочних переводів є пріоритетною задачею.

Призначення норм зносу залежить від цілого ряду факторів [85, 36, 1, 90], головними з яких виступають: конструкція елементів, допустимі геометричні параметри перекочування; допустимі величини силової взаємодії; міцність і надійність конструкції та умови експлуатації на ділянці.

Допустимі норми зносу основних несучих елементів стрілочних переводів нормуються (табл. 4.1) та служать основою для призначення ремонту та зміни конструкцій.

Багатьма дослідженнями [3, 4, 9, 12, 14, 18, 19, 22, 25, 45] встановлено, що строки служби стрілочних переводів в цілому (і хрестовин, в першу чергу, як найбільш відповідального елементу стрілочного переводу) перш за все впливають умови їх експлуатації. Найбільш характерним показником умов експлуатації є пропущений по конструкціям за час їх експлуатації тоннаж  $\sum T$  (млн. т. брутто). Тобто, і знос елементів стрілочних переводів і накопичення дефектів залежать функціонально від пропущеного тоннажу  $h = f(\sum T)$ . Так як в даному дослідженні поставлена задача вивчення зносостійкості та дефектостійкості найбільш відповідальних елементів конструкцій стрілочних переводів будемо розглядати перш за все залежності зносу хрестовин від пропущеного тоннажу, так як хрестовини накопичують знос швидше ніж інші конструктивні елементи. Багатьма дослідженнями вітчизняних вчених [3, 4, 45] ще в середині 50-х – 60-х років встановлено, що існує залежність накопичення вертикального зносу поверхні кочення хрестовин стрілочних переводів від пропущеного по ним тоннажу, яка описується формулою:

$$h = a\sqrt{T} + b \cdot T, \quad (4.1)$$

де  $T$  – пропущений тоннаж;

$h$  – вертикальний знос;

$a, b$  – деякі коефіцієнти, які встановлюються окремо для кожної конструкції.

Слід вказати, що до 1990-х років минулого століття в цілому правильна залежність (4.1), що приведена вище, не знаходила практичного застосування, тому що не існувало методики визначення коефіцієнтів « $a$ » і « $b$ » для конкретних конструкцій стрілочних переводів. Лише в 1990-1991 р.р. ця задача була вирішена професором Е.І. Даніленком в його докторській дисертації [81].

Професором Е.І. Даніленком було доведено, що при прогнозуванні зносостійкості елементів стрілочних переводів в залежності від умов експлуатації існує необхідність повного врахування усіх факторів, що впливають на строк експлуатації конструкції, так як саме це дозволяє прослідкувати картину зносу елементів конструкцій стрілочних переводів на будь-якому етапі експлуатації, залежно від існуючих експлуатаційних умов, чи тих умов, що проектуються.

Тому в даній дисертаційній роботі для вирішення поставлених задач були прийняті за основу теоретичні положення, розроблені проф. Е.І. Даніленком.

#### **4.4.1 Теоретичні основи визначення строків служби хрестовин стрілочних переводів для різних умов експлуатації**

У відповідності до теорії проф. Даніленко Е.І., в якості базової, прийнята формула (4.1) залежності зносу від пропущеного тоннажу, яка дозволяє прогнозувати нормативні строки служби хрестовин  $T_n$  в залежності від нормативної величини зносу  $h_i$  і виду кривої. При тому, конкретний вид кривої  $h = f(T)$  визначається коефіцієнтами «а» і «в» рівняння (4.1), які відповідають за зминання та стирання металу в сумарному накопиченні зносу.

В теоретичну основу методики визначення нормативних строків служби стрілок і хрестовин для побудови розрахункового апарату прийняті положення, які базуються, по-перше, на загальних закономірностях кінетики зносу ( $h$ ) хрестовин залежно від пропущеного тоннажу ( $T$ ) рівняння (4.1); по-друге, у визначенні впливу на знос інших експлуатаційних факторів, таких як колісні навантаження  $P_i$  (та їх спектр), діаметри коліс рухомого складу  $d_i$ , швидкості руху  $V_i$  поїздів (та їх спектр) й інтенсивність руху поїздопотоків).

З метою встановлення загальних закономірностей, дослідження проведені на різних типах і марках хрестовин на дерев'яних брусах з використанням методів факторного та логічного аналізу на основі узагальнення й систематизації результатів багатоваріантних досліджень. Це дозволило

встановити функціональний зв'язок між експлуатаційними умовами роботи конструкцій та змінними величинами коефіцієнтів « $a$ » і « $v$ » рівняння (4.1).

Експериментальна перевірка проведених досліджень на хрестовинах стрілочних переводів (відносно зносу як вусовиків так і осердь) у всіх випадках дала добру схожимість з розрахунковими даними (в межах 7%). Це дало підставу стверджувати про справедливість застосування розробленої методики при визначенні чи прогнозуванні зносу елементів стрілочних переводів різного конструктивного оформлення в будь-який момент експлуатації.

Як зазначалось, залежність (4.1) найбільш правильно відтворює фізичну сутність явища зносу тому, що знос поверхні кочення відбувається головним чином внаслідок двох процесів, які протікають одночасно: за рахунок зминання металу в результаті впливу високих контактних тисків і за рахунок стирання металу внаслідок фрикційної взаємодії між колесами та поверхнею кочення. Перевага того або іншого фізичного процесу визначає інтенсивність накопичення зносу в конкретний період експлуатації. Структура формули (4.1) прямо відповідає фізичній сутності явища зносу. В початковий період експлуатації накопичення зносу відбувається головним чином за рахунок зминання металу і в цьому періоді найбільше навантаження бере на себе 1-й член правої частини рівняння (4.1) з коефіцієнтом « $a$ », потім після набуття наклепу металу на поверхні кочення, накопичення зносу продовжується головним чином за рахунок стирання металу і в цей період найбільше навантаження бере на себе 2-й член правої частини рівняння (4.1) з коефіцієнтом « $v$ ».

Коефіцієнти « $a$ » і « $v$ » у формулі (4.1) мають конкретні значення для кожної конкретної конструкції хрестовини і конкретного перерізу осердя чи вусовика. Значення коефіцієнта « $a$ » завжди позитивне та може змінюватись в діапазоні від  $a = 0$  до  $a > 1$ . Коефіцієнт « $v$ » може приймати як плюсові, так і мінусові значення, по абсолютній величині, при цьому, як правило,  $|v| < |a|$ . Вони змінюються залежно від типу рейок стрілочного переводу та марки

хрестовини, а також залежно від конкретного конструктивного оформлення та, що не менш важливо, від умов експлуатації.

Використовуючи базову формулу (4.1) та розв'язуючи її відносно величини пропущеного тоннажу  $T$ , при підстановці конкретного значення величини зносу  $h_n$ , проф. Даніленком Е.І. була отримана формула, що дозволяє прогнозувати нормативні строки служби хрестовин  $T_n$  в залежності від нормативної величини зносу  $h_n$ .

$$T_n = \left( \frac{-a + \sqrt{a^2 + 4 \cdot v \cdot h_n}}{2 \cdot v} \right)^2 \quad (4.2)$$

де  $h_n$  – нормативна величина вертикального зносу хрестовин для конструкцій, які розглядаються, приймається з інструкції;

$a$  і  $v$  – числові коефіцієнти рівняння зносу (1.2) для конкретної конструкції хрестовини.

Згідно методики [1, 81, 83] для врахування експлуатаційних факторів прийнята комплексна характеристика експлуатаційних умов  $U_i = f(P_i, V_i, d_i, P_{\kappa}^{дин})$ , що враховує всі основні фактори (крім пропущеного тоннажу,  $T$ , що враховується рівнянням (1.2)), які впливають на знос хрестовин, в тому числі: величини й спектр пропущених колісних навантажень  $P_i$ , швидкості руху поїздів  $V_i$ , діаметри коліс рухомого складу  $d_i$ , величини додаткових динамічних сил від нерівностей на поверхні кочення  $P_{\kappa}^{дин}$  та час дії динамічної сили  $\Delta t$ .

Коефіцієнти « $a$ » і « $v$ » розраховуються залежно від комплексної силової характеристики експлуатаційних умов  $U_i$  за формулами:

$$\left. \begin{aligned} a_i \pm \sqrt{|e_i|} &= (K_1)_i \cdot U_i + (C_1)_i \\ e_i &= A_i \cdot \sin(\varpi \cdot U_i + \varphi_i) + (K_2)_i \end{aligned} \right\}, \quad (4.3)$$

де  $K_1, K_2, C_1$  – числові коефіцієнти, що визначаються розрахунком і мають конкретні значення для кожної марки хрестовини відповідної конструкції;

$A_i, \omega_i, \varphi_i$  – відповідно амплітуда, кругова частота й фаза зміщення відносно початку координат синусоїди, за рівнянням якої змінюється величина коефіцієнту « $e_i$ » рівняння (4.2).

Комплексна характеристика експлуатаційних умов розраховується за формулою:

$$U = U_1 + U_2 = \frac{\bar{P}_{(T)} \cdot \bar{V}_{(T)}}{g \cdot \bar{d}_{(T)}} + \frac{P_k^{\text{дин}} \cdot \Delta t}{\bar{d}_{(T)}}, \quad (4.4)$$

де  $\bar{P}_{(T)}; \bar{V}_{(T)}; \bar{d}_{(T)}$  – відповідно середньозважені (по тоннажу) значення колісних навантажень, що діють на рейку, швидкостей руху й діаметрів коліс рухомого складу, що рухаються через конструкцію, яка розглядається;

$\Delta t$  – час дії динамічної сили  $P_k^{\text{дин}}$  на ділянці конструкції де реалізуються найбільші динамічні сили (приймається довжина ділянки, яка дорівнює довжині нерівності);

$P_k^{\text{дин}}$  – вертикальна динамічна інерційна сила, що виникає (додатково до статичного колісного навантаження) від впливу нерівностей на колії (або колесі) та від коливань рухомого складу.

Після визначення комплексної характеристики експлуатаційних умов  $U_i$ , функціональну залежність накопичення вертикального зносу  $h$  в функції від  $U_i$ , і  $T$  можна визначати по наступній формулі проф. Е.І. Даніленка:

$$h = \left( K_i U_i + C_1 \mp \sqrt{A \cdot \sin(\omega_i U_i + \varphi_i) + K_2} \right) \cdot \sqrt{T} + (A \cdot \sin(\omega_i U_i + \varphi_i) + K_2) \cdot T. \quad (4.5)$$

Формула (4.5) дозволяє вирішувати задачі по прогнозуванню зносу поверхні кочення конкретної конструкції хрестовини в будь-який момент експлуатації, залежно від існуючих чи проектуємих умов експлуатації.

В тому числі формула (4.5) при підстановці регламентованого нормативного значення зносу  $h_n$  і вирішенні рівняння відносно величини ( $T$ ) дозволяє визначати величину прогнозованого нормативного пропускаемого тоннажу ( $T_H$ ).

Вираз (4.5) є вірним для визначення величини зносу на хрестовинах будь-якої марки та типу в будь-який момент експлуатації.

Таким чином використовуючи формули (4.1–4.5), маємо розрахунковий апарат для визначення прогнозуємих нормативних строків служби хрестовин  $T_H$ , а також величини прогнозуємого вертикального зносу  $h_i$  в будь-який період експлуатації, що визначається пропущеним по конструкції тоннажем  $T_i$ .

Методика проф. Е.І. Даніленка для визначення прогнозних строків служби хрестовин та стрілочних переводів, в залежності від комплексної характеристики експлуатаційних умов  $T_H = f(U_i)$  була затверджена Укрзалізницею в нормативному документі «Гарантійні строки служби та умови забезпечення гарантійної експлуатації металевих елементів стрілочних переводів» [109] та застосовувалась на залізницях України протягом більше 10 років. Однак, як показала практика, застосування вказаної методики для визначення прогнозних строків служби хрестовини, що експлуатуються в колії, виявилось пов'язаним з деякими складнощами.

А саме, для розрахунків по формулам (4.1-4.5) потрібно ще знати, або вміти визначати характеристики умов експлуатації для конкретних конструкцій стрілочних переводів протягом повного періоду роботи конструкцій. А це є: величини колісних навантажень, які реалізуються на досліджуваних конструкціях стрілочних переводів  $P_{\max}^{din}$ ; реалізуємий спектр колісних навантажень і також реалізуємі швидкості руху поїздів, що пройшли по стрілочному переводу, який розглядається. Все це необхідно для визначення комплексної характеристики експлуатаційних умов  $U$  за виразом (4.4). Тобто,

розрахунковий апарат для визначення прогнозних нормативних строків служби хрестовин  $T_n$  потребує постійних спостережень за експлуатацією конструкцій, що розглядаються протягом усього періоду експлуатації.

В реальних умовах експлуатації стрілочних переводів в залізничній колії, як правило, досить важко визначати комплексну характеристику експлуатаційних умов  $U_i$  для кожної конкретної конструкції. Тому, у 2016-2017 р.р. кафедра залізничної колії та колійного господарства (ЗККГ) ДУІТ отримала завдання від АТ «Укрзалізниця» на розробку нового нормативного документа СТП «Верхня будова колії. Стрілочні переводи. Правила визначення нормативних та гарантійних строків служби в різних умовах експлуатації» [90]. Новий нормативний документ було розроблено в 2019 році під керівництвом д.т.н., професора Е.І. Даніленка колективом кафедри ЗККГ, за участю автора даної дисертації. Метою цієї науково-дослідної роботи була розробка такої нової методики визначення нормативних та гарантійних строків служби стрілок і хрестовин стрілочних переводів, щоб ці строки можна було розраховувати без зайвих технічних труднощів залежно від заздалегідь відомих технічних характеристик, а саме:

- технічної характеристики стрілочного переводу (тип, марка, підрейкова основа);
- характеристика елемента конструкції (осердя, вусовик);
- нормативного зносу ( $h_n$ );
- вантажонапруженості ( $\Gamma$ );
- комплексної характеристики експлуатаційних умов  $U$ ;
- пропущеного тоннажу за період експлуатації на момент вимірювань ( $T_i$ ).

Саме нову методику визначення нормативних та гарантійних строків служби стрілок і хрестовин стрілочних переводів, що розроблена колективом кафедри ЗККГ ДУІТ (за безпосередньою участю автора даної дисертації), було прийнято за основу при написанні даного розділу дисертації. Технічна сутність нової методики викладена нижче в розділі 4.6.

#### **4.5 Методика визначення нормативних строків служби елементів стрілочних переводів на основі статистичних даних (спостережень за їх експлуатацією в колії)**

Для того, щоб отримати об'єктивні відомості про надійність роботи виробу (в даному випадку, хрестовини або стрілки стрілочного переводу) можна використовувати емпіричні дані про відмови, які отримані в процесі експлуатації з послідувочою математично-статистичною обробкою емпіричних даних. Маючи інформацію про відмови, можливо визначити показники надійності, виявляти недоліки в конструкції стрілочних переводів та їх утриманні, встановлювати вплив на надійність умов експлуатації, прогнозувати строки служби конструкції та на основі цього вживати заходи для підвищення надійності колії.

##### **4.5.1 Характеристика умов експлуатації стрілочних переводів, відібраних для статистичних досліджень зносостійкості. Аналіз вилучення елементів з колії залежно від умов експлуатації**

Для встановлення достовірних та обґрунтованих результатів норм на експлуатацію стрілочних переводів та надання гарантій заводами-виробниками стрілочної продукції, кафедрою залізничної колії та колійного господарства ДУІТ (за участю автора дисертації) була проведена статистична обробка результатів експлуатаційних досліджень вилучених з колій елементів стрілочних переводів (хрестовини, вістряки, рамні рейки) або стрілочних переводів в цілому за період в три роки. Дослідження базувалося на статистичних даних служб колій усіх 6-ти залізниць АТ «Українська залізниця». Аналіз проводився для усіх типів, марок та конструкцій стрілочних переводів, які були вилучені з експлуатації через понаднормативний знос та наявність дефектів за останні 3 роки (2016-2018 р.р.). В аналіз було включено типи переводів Р65 та Р50 з марками 1/9, 1/11, 1/18 та 1/6, які були вилучені з головних, приймально-відправних та інших категорій колій. Відповідно до

наданих даних спостережень всього по АТ «Українська залізниця» за 3 роки було вилучено з експлуатації 12113 штук, з них 8961 через досягнення граничної величини зносу елемента та 3152 через появу дефектів. Розподіл вилучених з експлуатації елементів стрілочних переводів (рамні рейки, вістряки, хрестовини) по залізницях наведено в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3

Розподіл вилучених з експлуатації елементів стрілочних переводів

Залізниця	Знос			Дефекти		
	Елементи стрілочного переводу					
	Рамна рейка	Вістряк	Хрестовина	Рамна рейка	Вістряк	Хрестовина
Південно-Західна	392	576	324	53	119	482
Південна	271	895	411	55	42	263
Одеська	248	1067	389	66	153	629
Львівська	110	708	601	184	163	396
Донецька	129	565	148	29	122	344
Придніпровська	262	1100	765	3	20	29
ВСЬОГО	1412	4911	2638	390	619	2143
	за зносом – 8961			за дефектами – 3152		
	12113					

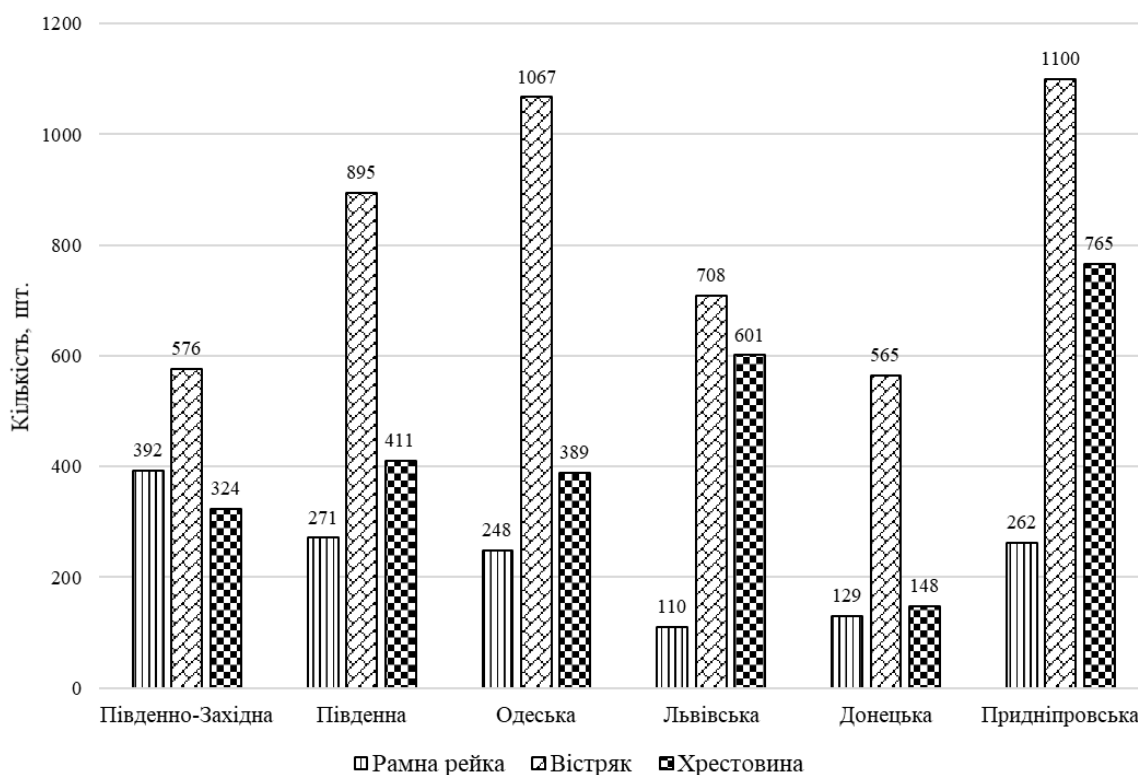


Рис. 4.1 Розподіл виходу елементів стрілочних переводів за зносом

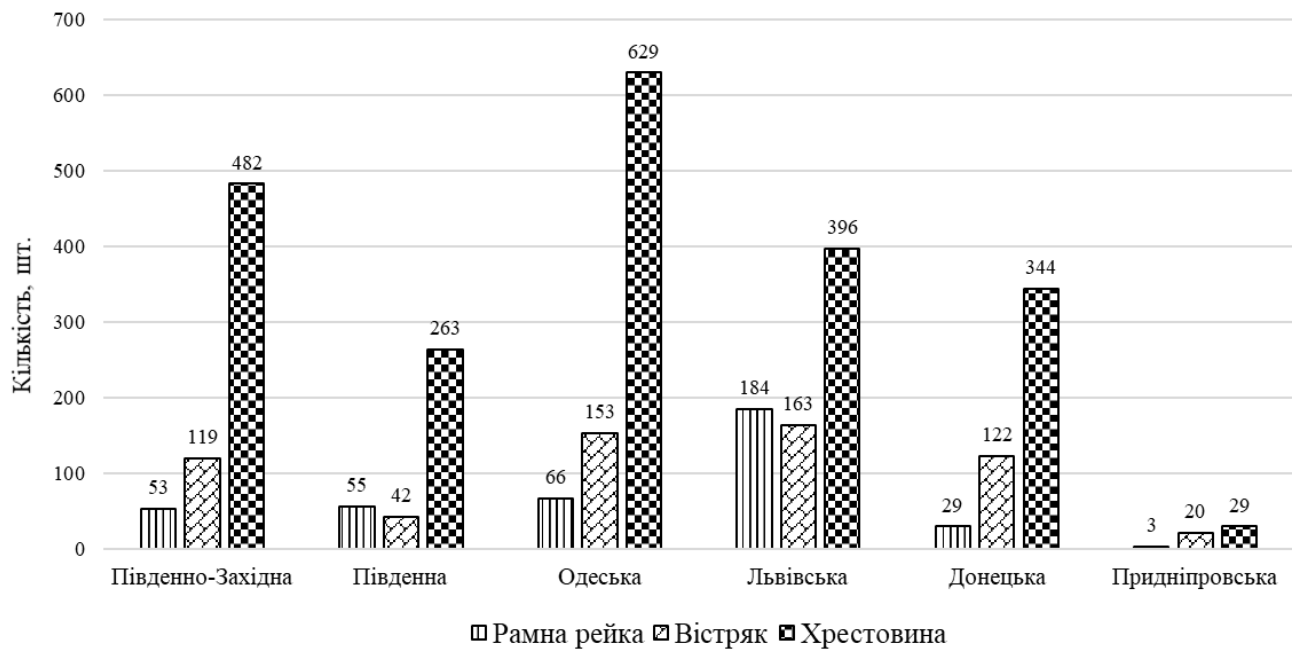


Рис. 4.2 Розподіл виходу елементів стрілочних переводів за дефектами

Проаналізувавши вихід елементів стрілочних переводів по зносу (рис. 4.1), можна зробити висновок, що найбільше рамних рейок за зносом – 392 шт. було вилучено з експлуатації на Південно-Західній залізниці, що складає 27,8 % від загальної кількості, найбільше вістряків за зносом – 1100 шт. було вилучено з експлуатації на Придніпровській залізниці, що складає 19,4 % від загальної кількості, найбільше хрестовин за зносом – 765 шт. було вилучено з експлуатації також на Придніпровській залізниці, що складає 28,9 % від загальної кількості. Якщо аналізувати вихід елементів стрілочних переводів за іншими критеріями (тобто дефектами, рис. 4.2), то можна побачити таку картину: найбільше рамних рейок за дефектами – 184 шт. було вилучено з експлуатації на Львівській залізниці, що складає 47,2 % від загальної кількості, а найбільше вістряків за дефектами – 163 шт. було вилучено з експлуатації також на Львівській залізниці, що складає 26,3 % від загальної кількості і найбільше хрестовин за дефектами – 629 шт. було вилучено з експлуатації на Одеській залізниці, що складає 29,4 % від загальної кількості.

Так як стрілочні переводи виходять з ладу, перш за все, за строком служби хрестовин, то в дисертаційній роботі для більш детального аналізу в

подальшому прийнятті до розгляду тільки хрестовини стрілочних переводів різних типів та марок. (Достатньо високий відсоток виходу з ладу вістряків бокового напрямку за боковим зносом поверхні кочення в дисертації не розглядається, так як це пов'язано з особливостями умов експлуатації та технологіями виготовлення конструкції). Дані щодо вилучених з експлуатації хрестовин різних типів і марок за показником допустимої величини зносу та наявності дефектів наведені в таблицях 4.4 та 4.5.

Таблиця 4.4

Кількість вилучених елементів хрестовин стрілочних переводів за зносом

Елементи хрестовини	Тип хрестовини							
	P50				P65			
	1/18	1/11	1/9	1/6	1/18	1/11	1/9	1/6
<b>ГОЛОВНІ</b>								
<b>Вусовик</b>	-	14	4	-	18	87	63	-
<b>Осердя</b>	-	32	28	-	18	1086	327	-
<b>ПРИЙМАЛЬНО-ВІДПРАВНІ</b>								
<b>Вусовик</b>	-	1	12	-	-	20	60	2
<b>Осердя</b>	-	20	54	1	-	258	384	15
<b>ІНШІ</b>								
<b>Вусовик</b>	-	-	17	-	-	2	-	-
<b>Осердя</b>	-	13	10	1	-	13	28	43

Таблиця 4.5

Кількість вилучених елементів хрестовин стрілочних переводів за дефектами

Елементи хрестовини	Тип хрестовини							
	P50				P65			
	1/18	1/11	1/9	1/6	1/18	1/11	1/9	1/6
<b>ГОЛОВНІ</b>								
<b>Вусовик</b>	-	8	6	-	10	543	73	-
<b>Осердя</b>	-	6	24	-	14	822	104	-
<b>ПРИЙМАЛЬНО-ВІДПРАВНІ</b>								
<b>Вусовик</b>	-	4	10	-	-	78	64	1
<b>Осердя</b>	-	16	36	3	-	137	106	2
<b>ІНШІ</b>								
<b>Вусовик</b>	-	2	3	3	-	4	6	3
<b>Осердя</b>	-	3	6	3	-	10	4	3

Розподіл вилучення з експлуатації елементів хрестовин стрілочних переводів (вусовиків та осердь) по зносу та дефектам для найбільш поширених типів та марок представлено на рис. 4.3-4.6. (Слід вказати, що в подальшому з аналізу були виключені стрілочні переводи марки 1/6, так як вони укладаються в основному тільки в інших коліях та на дерев'яних брусах та мають невелику інтенсивність експлуатації).

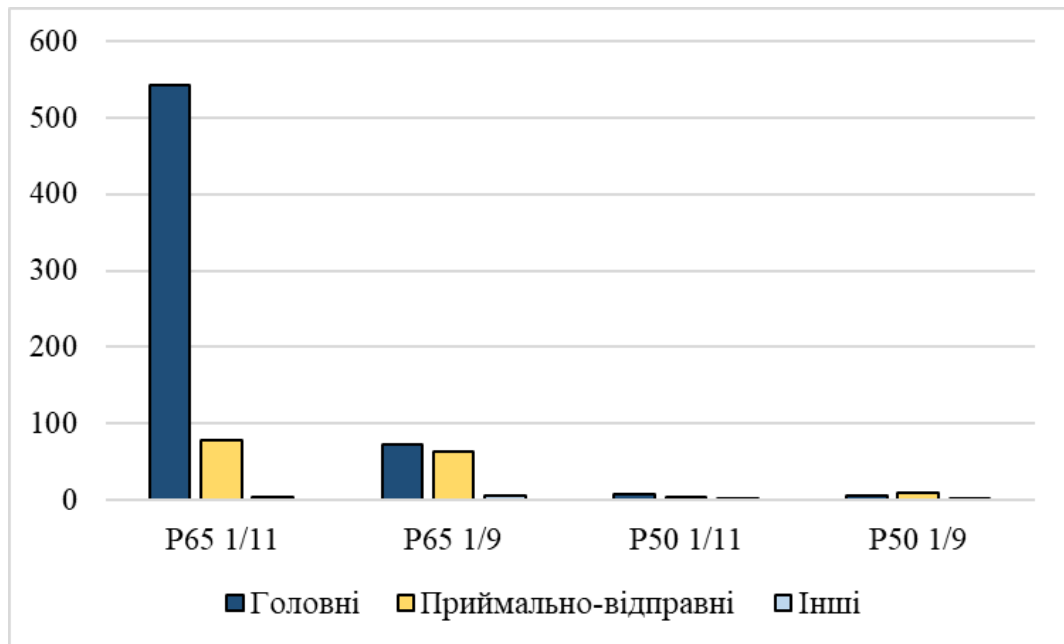


Рис. 4.3 Розподіл вилучення вусовиків за дефектами

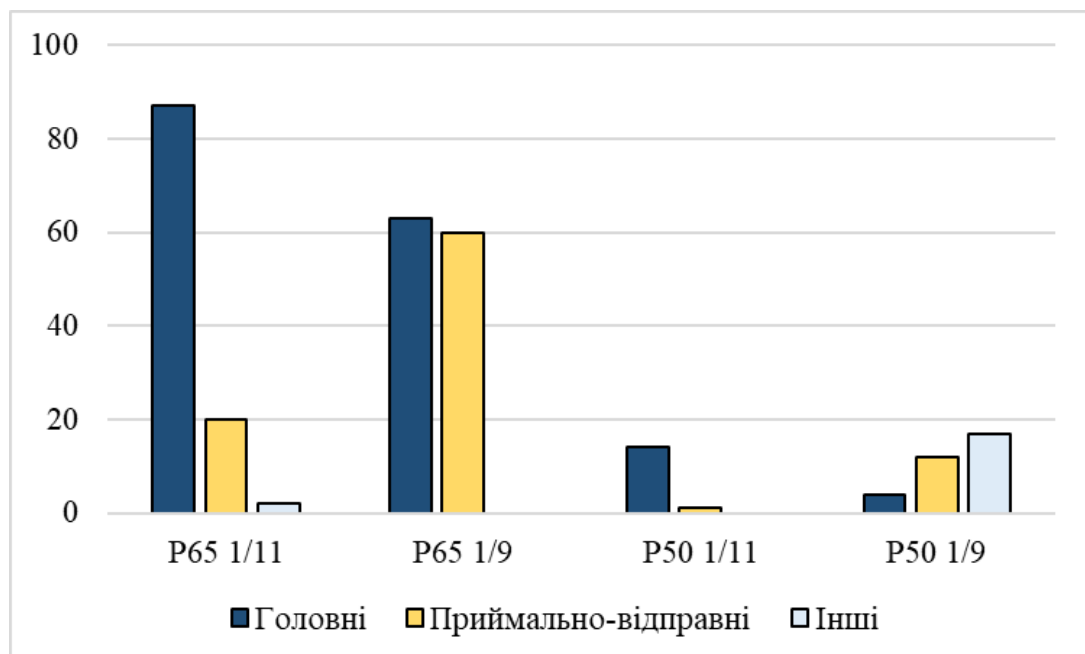


Рис. 4.4 Розподіл вилучення вусовиків за зносом

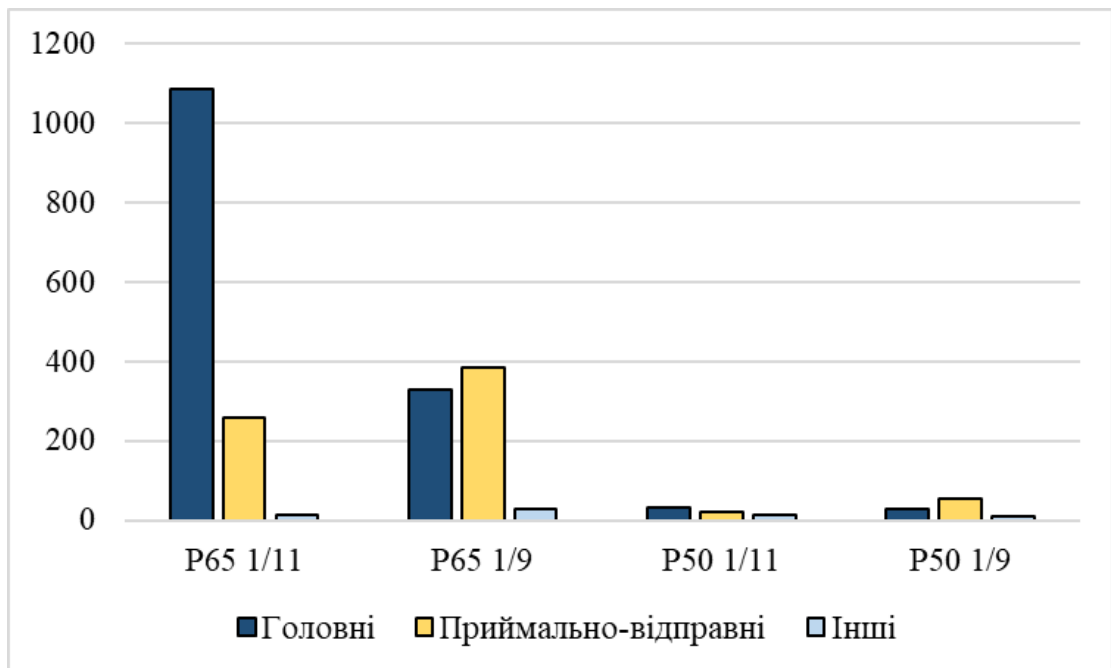


Рис. 4.5 Розподіл вилучення осердь за дефектами

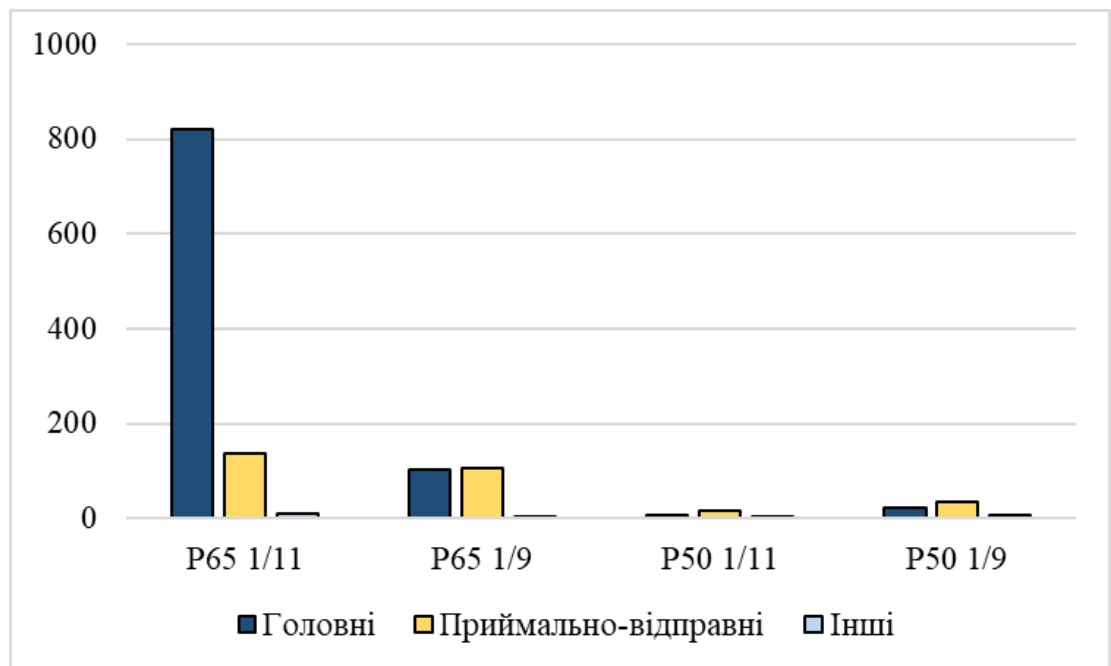


Рис. 4.6 Розподіл вилучення осердь за зносом

Найбільш розповсюдженими типами та марками стрілочних переводів, що експлуатуються в головних коліях залізниць України є тип Р65 марок 1/11 та 1/9, що складають 94,7 % від загальної кількості стрілочних переводів. Тому в першу чергу в дослідженні розглядаємо ці найбільш поширені тип та марки стрілочних переводів.

#### 4.5.2 Висновки за результатами аналізу вилучення елементів стрілочних переводів з колії залежно від умов експлуатації

Відповідно до [111, 112] залежно від їх призначення, характеру, розмірів і швидкостей руху існуючі залізничні колії поділяються на VII категорій. Тому аналіз зносостійкості хрестовин стрілочних переводів проводився в межах розподілу по розрахунковій приведеній річній вантажонапруженості, що відповідає відповідній категорії залізничної колії.

Таблиця 4.6

Кількісний розподіл вилучених хрестовин залежно від вантажонапруженості

Тип та марка стрілочного переводу	Вантажонапруженість по категоріям колій, Г, млн. т км брутто/км за рік	Середнє значення вантажонапруженості, Г <sub>сер</sub> , млн. т км брутто/км за рік	Пропущений тоннаж до вилучення, Т <sub>сер</sub> , млн т брутто та максимальні значення пропущеного тоннажу			Кількість стрілочних переводів, штук
			Мінімальне	Максимальне	Середнє	
Р65 1/11	> 80	97,8	51,1	421,4	167,9	11
	50,1-80	57,9	48,0	440,0	193,5	96
	30,1-50	38,7	20,7	482,0	231,1	303
	15,1-30	21,9	30,0	465,3	176,1	426
	5,1-15	10,4	11,5	445,4	159,1	215
	<5	2,7	3,1	209,7	92,0	93
Р65 1/9	> 80	-	-	-	-	-
	50,1-80	56,3	17,9	280,0	145,1	33
	30,1-50	37,8	12,0	416,0	192,7	75
	15,1-30	21,9	8,7	350,4	153,6	13
	5,1-15	9,3	12,0	278,0	129,0	82
	<5	2,6	5,7	157,4	49,6	24

Так, кількість хрестовин стрілочних переводів типів Р65 марок 1/9 і 1/11, що були вилучені через знос та дефектність за останні три роки становить 1371 шт. Кількісний розподіл вилучених хрестовин відповідно до показника – вантажонапруженості ділянок наведено в табл. 4.6, де також наведені середні значення вантажонапруженості для кожної з аналізованої групи та середнє значення пропущеного по конструкції тоннажу до моменту їх вилучення з експлуатації.

На рис. 4.10 проаналізовано залежність середніх значень пропущеного тоннажу по вилученим за зносом стрілочних переводів типу Р65 для марок 1/11 і 1/9 в функції від вантажнапруженості по категоріям. А на рис. 4.11 так само в функції від вантажнапруженості по категоріям проаналізовано залежність середніх значень вантажнапруженості для тих же марок хрестовин 1/11 і 1/9 стрілочних переводів типу Р65.

Порівняльний аналіз рис. 4.7 і 4.8 показує, що хоча середні значення вантажнапруженості для хрестовин різних марок 1/11 і 1/9 є приблизно однаковою в межах кожної окремої категорії колії, але середні значення пропущеного тоннажу до вилучення з експлуатації хрестовин 1/11 і 1/9 відрізняється (на користь марки 1/11) приблизно на 25-30 % для категорій колій з вантажнапруженістю  $\Gamma > 5$  до  $\Gamma=80$  млн. т км/км брутто за рік та приблизно на 45 % для колій з вантажнапруженістю  $\Gamma < 5$  млн. т км/км брутто за рік.

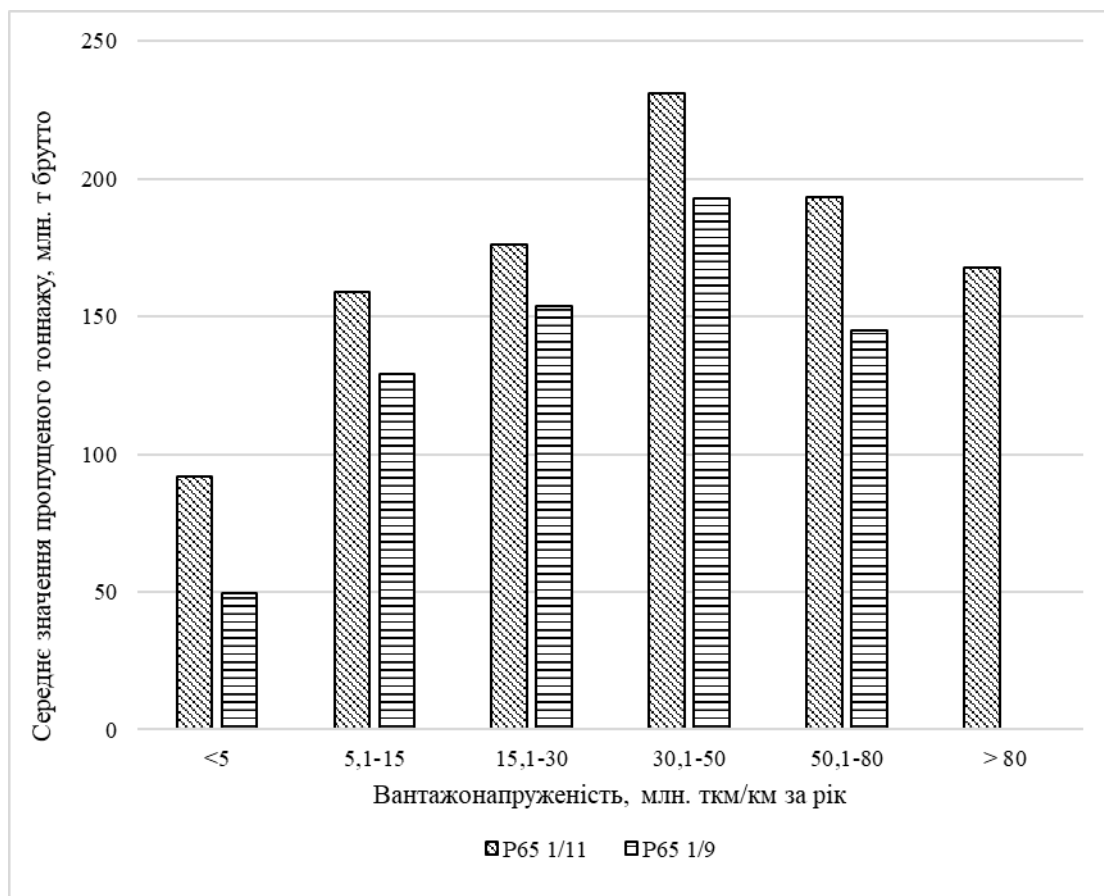


Рис. 4.7 Середні значення пропущеного тоннажу по стрілочних переводах типу Р65 марок 1/11 та 1/9

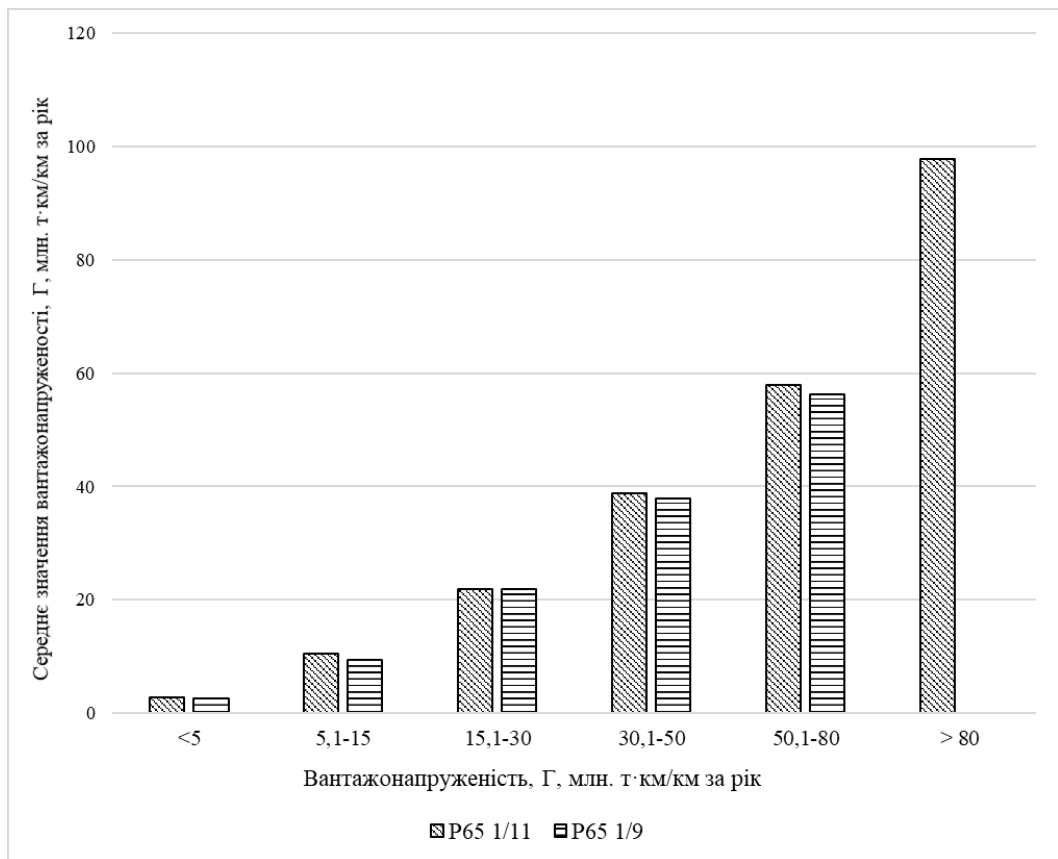


Рис. 4.8 Середні значення вантажонапруженості по стрілочних переводах типу Р65 марок 1/11 та 1/9

## 4.6 Методика прогнозування формування вертикального зносу поверхні кочення хрестовин залежно від умов експлуатації (за новим методом ДУІТ)

### 4.6.1 Теоретичні основи нової методики

#### 4.6.1.1 Прогнозування вірогідного значення нормативного пропущеного тоннажу $T_{сер\ норм}$ по хрестовинам на основі статистичних даних, отриманих в процесі експлуатації

Для того, щоб встановити аналітичні залежності виду (4.1) з конкретними значеннями коефіцієнтів  $a_i$ ,  $b_i$  для кожної конкретної конструкції для можливості прогнозування строків формування максимального допустимого зносу для кожної розглядуваної конструкції залежно від умов експлуатації, була прийнята наступна методика.

Перш за все, необхідно взяти до уваги те, що потрібно розглядати окремо кожний окремий тип і марку конструкцій хрестовин, і також окремо знос осердя і вусовиків хрестовин. Крім того, щоб знайти залежність зносу поверхні кочення хрестовин від умов експлуатації стрілочних переводів необхідно аналізувати роботу конструкцій окремо для кожної групи стрілочних переводів, які експлуатуються під поїздами відповідно до встановленої вантажонапруженості по прийнятим категоріям ( $\Gamma = (>80; 50,1-80; 30,1-50; 15,1-30; 5,1-15; <5$  млн. т км/км брутто за рік) [112, 113].

На першому етапі рішення поставленої задачі виконується аналіз всього масиву статистичних даних в кожній групі, яка приймається до розгляду (в межах кожної категорії вантажонапруженості) по параметру реалізованого вертикального зносу, що досягнув нормованої величини ( $h_i = h_n$ ) і став причиною вилучення хрестовини з експлуатації. (при тому, нормативна величина зносу  $h_n$  встановлюється відповідно до табл. 4.1 п. 4.2. Для головних колій прийнято  $h_n = 6,0$  мм).

На основі вказаного аналізу будується графік залежності  $h_n = f(\Gamma)$  (рис. 4.12). При цьому, для спрощення аналізу можна брати обмежений масив статистичних даних вилучення з колії хрестовин за зносом (при досягненні реалізованого вертикального зносу  $h_i = h_n$ ), а саме на ділянках з вантажонапруженістю  $\Gamma_i > 15,0$  млн. т км/км брутто за рік можна приймати розглядуваний інтервал пропущеного тоннажу від  $0,5 \cdot T_n^{icn}$  до  $2,0 \cdot T_n^{icn}$ , де  $T_n^{icn}$  – встановлений існуючий норматив пропущеного тоннажу при досягненні величини нормативного зносу  $h_n = 6,0$  мм для головних колій. Відповідно на ділянках з малою вантажонапруженістю  $\Gamma_i < 15,0$  млн. т км/км брутто за рік, можна приймати обмежений розглядуваний інтервал від  $0,1 \cdot T_n^{icn}$  до  $1,0 \cdot T_n^{icn}$ . І в результаті математичній обробці статистичних даних визначається величина середньо ймовірного значення пропущеного тоннажу  $T_{сер}^{(n)}$  для розглядаємої групи хрестовин, який реалізується при досягненні хрестовиною нормованої

величини вертикального зносу  $h_n$ , що потребує вилучення конструкції з експлуатації.

Графічна схема визначення середньостатистичного нормативного пропускового тоннажу  $T_n^{(сер)}$  по хрестовині при реалізації нормативного вертикального зносу  $h_n$  показано на рис. 4.9.

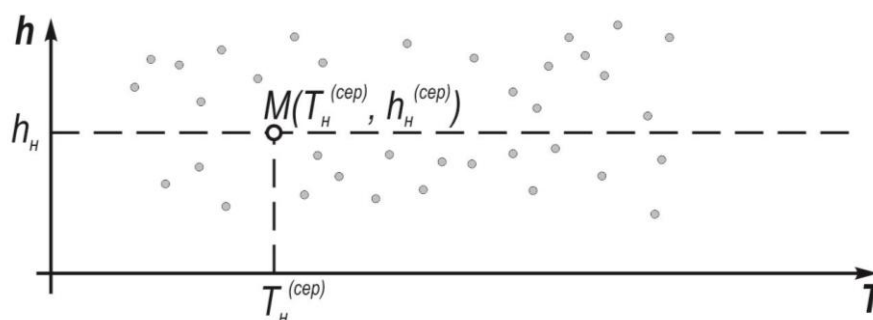


Рис. 4.9 Визначення середнього статистичного значення нормативного пропущеного тоннажу  $T_n^{(сер)}$  по осердю або вусовику хрестовини при реалізації нормативного значення вертикального зносу  $h_n$

Для практичних розрахунків в дисертації для знаходження розрахункової точки ( $\cdot$ )  $M$ , яка визначає найбільш вірогідне значення нормативного тоннажу  $T_{норм}^{(сер)}$  при  $h_{норм} = h_{дон}$ , було проаналізовано весь масив статистичних даних, для кожного типу і марки хрестовин при різних умовах експлуатації, залежно від вантажонапруженості ( $\Gamma$ ) і характеристики експлуатаційних умов ( $U$ ). І, таким чином встановлені функціональні залежності  $T_{норм} = f(\Gamma, U)$  та знайдені середньостатистичні значення нормативного пропущеного тоннажу  $T_{норм}^{(сер)}$  по хрестовинам різних типів і марок (окремо для осердя і вусовиків). Дані розрахунків приведені в розділі 4.6.2 (див. рис. 4.13, 4.14, 4.15 та табл. 4.7-4.11).

Отримана точка ( $\cdot$ )  $M$  середнього нормативного тоннажу  $T_n^{(сер)}$  на рис. 4.10 є точкою, через яку повинна проходити аналітична крива виду (4.1). Місце розташування цієї точки для кожного конкретного випадку відрізняється (тобто відрізняється для різних типів конструкції), також як це буде розрізнятися і для

ділянок з різною вантажнапруженістю через реалізацію різного впливу умов експлуатації.

З аналізу рівняння (4.1) і рис. 4.10, витікає що 1-й член рівняння ( $a\sqrt{T}$ ) в більшій мірі впливає на побудову кривої зносу на ділянці від початкового пропущеного тоннажу  $T=0$  до тоннажу  $T_n^{(сеп)}$ , тому в першому наближенні можна визначити прогнозну криву на першій (криволінійній) ділянці довжиною  $l_1 = T_{норм}$  за виразом (4.6). З рівняння (4.6) можна знайти коефіцієнт « $a_1$ ».

$$h_n = a_1 \sqrt{T_n^{(сеп)}} \quad (4.6)$$

Коефіцієнт « $a_1$ » можна вважати як величину коефіцієнта ( $a_i$ ) (в першому наближенні) для основного рівняння (4.1).

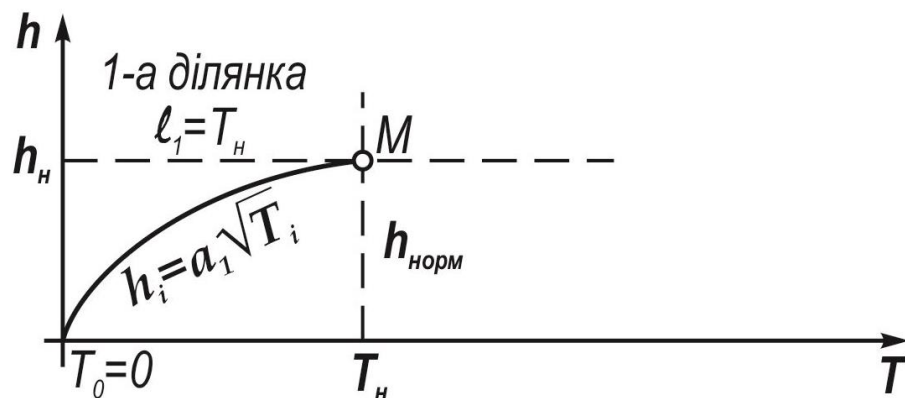


Рис. 4.10 Початкова ділянка кривої зносу

**4.6.1.2 На другому етапі рішення задачі потрібно визначити ухил прямої ділянки графіка зносу поверхні кочення хрестовин, що описується другим членом (« $v \cdot T$ ») основного рівняння (4.1)**

На цьому етапі рішення задачі розглянемо ділянку від  $T_n^{(сеп)}$  до  $T_{max}$ , де  $T_{max}$  приймається рівним максимальному пропущеному тоннажу по хрестовинам,

що були прийняті для досліджень. (звичайно, для достовірності досліджень, достатньо приймати  $T_{\max} \approx 2,0 \div 2,5(T_{\text{сер}}^{(h)})$  (рис. 4.11)).

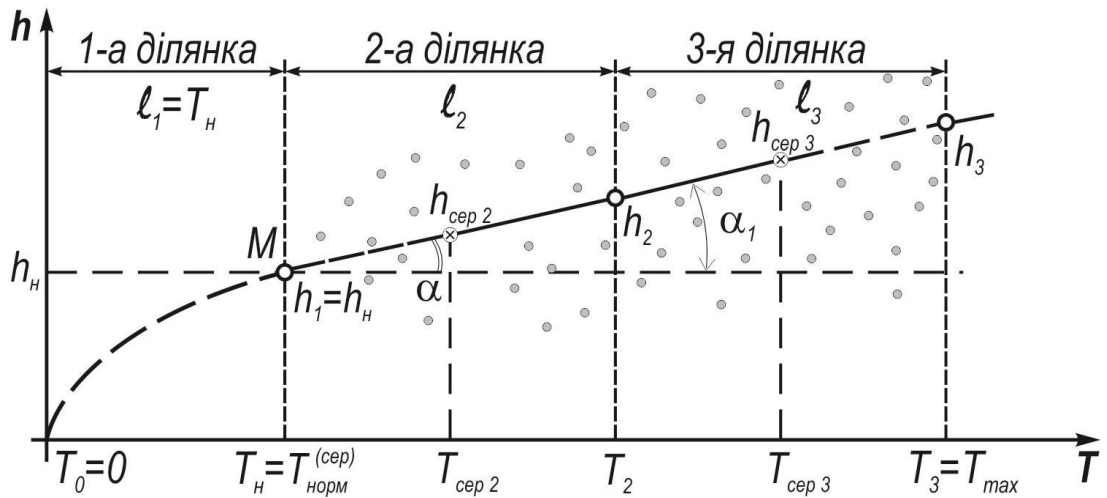


Рис. 4.11 Схема для визначення ухилу прямої ділянки кривої зносу

При значеннях пропущеного тоннажу більших ніж  $T_{\text{н}}^{(\text{сер})}$  в рівнянні (4.1) при визначенні величини зносу хрестовини ( $h_i$ ) здійснюється більший вплив на шукану величину зносу 2-го члена рівняння (4.1) « $v \cdot T$ », який на графіку характеризується прямою лінією, що має ухил до горизонталі, по якій вказується збільшення пропущеного тоннажу. Щоб визначити ухил прямої ділянки графіку зносу залежності (4.1) в даній методиці пропонується наступний алгоритм дій:

1) потрібно на схемі залежності (4.1)  $h_i = a\sqrt{T_i} + b \cdot T_i$ , зображеної в системі координат  $h$  і  $T$  (рис. 4.11), розділити весь масив статистичних даних по вилученню хрестовин за зносом на 3 ділянки по горизонталі: перша ділянка від  $T = 0$  до  $T_{\text{н}}^{(\text{сер})}$ , друга ділянка від  $T_{\text{н}}^{(\text{сер})}$  до  $T_2$  і третя ділянка від  $T_2$  до  $T_{\max}$ . При цьому, довжину ділянок рекомендується прийняти:  $l_1 = T_{\text{н}}^{(\text{сер})}$ ;  $l_2 = (0,7 \div 0,75) \cdot l_1$ ;  $l_3 = (0,7 \div 0,75) \cdot l_1$ . Тобто рекомендується прийняти  $T_2 \cong T_{\text{н}}^{(\text{сер})} + (0,7 \dots 0,75) \cdot T_{\text{н}}^{(\text{сер})}$ ;  $T_3 \cong T_{\text{н}}^{(\text{сер})} + (1,4 \dots 1,5) \cdot T_{\text{н}}^{(\text{сер})}$ .

2) Після цього для ділянок 2 і 3 визначаються середні вірогідні значення вертикального зносу в межах кожної ділянки ( $h_{cep2}$ ); ( $h_{cep3}$ ), який реалізується на хрестовинах до їх вилучення за критерієм вертикального зносу. Значення  $h_{cep2}$  і  $h_{cep3}$  визначаються шляхом математичної обробки статистичних даних зносу хрестовин в межах кожної ділянки  $l_2$  і  $l_3$ . Тобто, в результаті визначаються середні вірогідні значення вертикального зносу хрестовин для ділянок  $l_2$  і  $l_3$ . Ординати  $h_{cep2}$  і  $h_{cep3}$  на графіку (рис. 4.11) вважаються відповідними значеннями пропущеного тоннажу  $T_{cep2}$  і  $T_{cep3}$ .

В заключній частині другого етапу визначається ухил прямої ділянки графіку зносу, що описується другим членом « $v \cdot T$ » рівняння (4.1). Для цього на графіку (рис. 4.11) з'єднуються точки  $h_{cep2}$  і  $h_{cep3}$ , отримуючи пряму частину графіку, ухил якої до горизонталі визначається як:

$$tg\alpha_1 = \frac{h_{cep3} - h_{cep2}}{l_2 / 2 + l_3 / 2} = \frac{\Delta h(cep3 - cep2)}{\Delta T(cep3 - cep2)}. \quad (4.7)$$

В заключенні точка  $(\cdot) h_{cep2}$  з'єднується з точкою  $(\cdot) M$  і напрямком прямої частини графіку продовжується через точку  $(\cdot) h_{cep3}$  до кінця ділянки  $l_3$ . Таким чином кінцево визначена пряма частина графіку, яка починається від точки  $(\cdot) M$  з ординатою « $h_n$ » і продовжується до точки  $(\cdot)$ , що є вершиною ординати « $h_{cep3}$ » і закінчується в  $(\cdot) h_3$ , що є вершиною ординати « $h_3$ » в кінці 3-ї ділянки графіку. Таким чином, заключний вираз для визначення ухилу прямої частини графіку до горизонталі складає:

$$tg\alpha = \frac{h_{cep3} - h_n}{l_2 + l_3 / 2} \quad (4.8)$$

Цей же тангенс кута і є коефіцієнтом « $v$ » вихідного рівняння кривої зносу  $h_i = a\sqrt{T_i} + b \cdot T_i$  (4.1).

Однак, в зв'язку з тим, що на даному етапі ще не визначено кінцеве значення коефіцієнта « $a$ », але визначено значення цього коефіцієнту лише в першому наближенні « $a_1$ », то так само і коефіцієнт « $v$ » в рівнянні (4.1) також приймаємо в першому наближенні, тобто:

$$tg\alpha = v_1 \quad (4.9)$$

В подальшому коефіцієнти « $a_1$ » і « $v_1$ » потребують уточнення.

#### **4.6.1.3 Уточнення і корегування коефіцієнтів « $a$ » і « $v$ » основного рівняння (4.1)**

На третьому етапі рішення задачі виконуються уточнення коефіцієнтів « $a$ » і « $v$ » вихідного рівняння (4.1).

Як відмічено на початку даного параграфу, при рішенні задачі, що розглядається по знаходженню аналітичної залежності виду  $h_i = a\sqrt{T_i} + b \cdot T_i$  (4.1) з конкретними значеннями коефіцієнтів « $a_i$ », « $v_i$ » для кожної конкретної конструкції, в першому наближенні на кривій ділянці кривої зносу (рис. 4.10) бере участь тільки перший член  $h_n = a_1\sqrt{T_n}$  загального рівняння (4.1), але там ще має бути і другий член рівняння  $v_1 \cdot T_n$ . Тому необхідно визначити коефіцієнт « $a_1$ » в другому наближенні, тобто « $a_2$ ». Визначимо цей коефіцієнт наступним чином, записавши рівняння:

$$a_1\sqrt{T_n} = a_2\sqrt{T_n} + v_1 \cdot T_n, \quad (4.10)$$

Звідси знаходимо коефіцієнт « $a_2$ »:

$$a_2 \sqrt{T_n} = a_1 \sqrt{T_n} - \epsilon_1 \cdot T_n. \quad (4.11)$$

Тобто, вираз для визначення уточненого коефіцієнту « $a_2$ » для загального рівняння виду (4.1) в заключному вигляді буде:

$$a_2 = \frac{a_1 \sqrt{T_n} - \epsilon_1 \cdot T_n}{\sqrt{T_n}}. \quad (4.12)$$

Після цього переходимо до уточнення коефіцієнту « $\epsilon_2$ ».

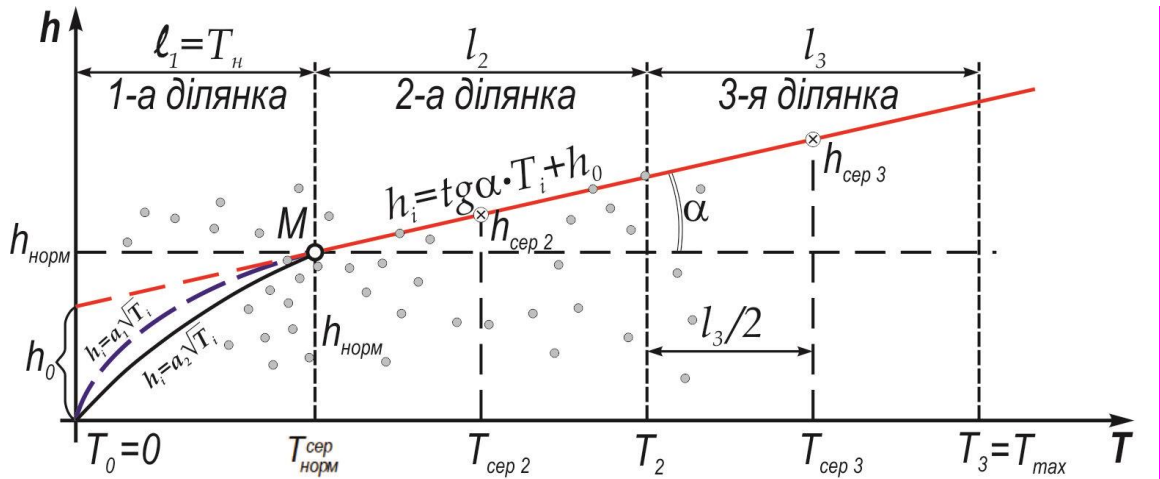


Рис. 4.12 Схема для визначення рівняння кривої зносу на всій протяжності від  $T_0=0$  до  $T_{max}$

На іншій прямолинійній ділянці кривої зносу також необхідно врахувати вплив першого члену рівняння (4.1) з уточненим значенням коефіцієнту « $a_2$ ». Тому спочатку відповідно до схеми рис. 4.12 визначаємо ординату  $h_{сер 2}$ :

$$h_{сер 2} = h_n + \epsilon_1 \cdot (T_{сер 2} - T_n). \quad (4.13)$$

Але, з урахуванням впливу першого члену загального рівняння (4.1) ординату  $h_{cep2}$  можна також записати у наступному вигляді:

$$h_{cep2} = a_2 \sqrt{T_{cep2}} + \epsilon_2 \cdot T_{cep2}. \quad (4.14)$$

Прирівнявши вирази (4.13) і (4.14) отримуємо наступне:

$$h_n + \epsilon_1 \cdot (T_{cep2} - T_n) = a_2 \sqrt{T_{cep2}} + \epsilon_2 \cdot T_{cep2}. \quad (4.15)$$

І врешті, за допомогою проведення математичних операцій отримуємо нове уточнене значення коефіцієнта  $\epsilon_2$ , яке обчислюється за виразом:

$$\epsilon_2 = \frac{h_n + \epsilon_1 \cdot (T_{cep2} - T_n) - a_2 \sqrt{T_{cep2}}}{T_{cep2}}. \quad (4.16)$$

Таким чином отримано нове уточнене значення коефіцієнта  $\epsilon_2$ , яке і треба приймати для вихідного рівняння кривої зносу (4.1).

В кінцевому результаті вихідне розрахункове рівняння (4.1) для визначення величин вертикального зносу хрестовин в функції від пропущеного тоннажу буде мати такий вигляд:

$$h_i = a_2 \cdot \sqrt{T_i} + b_2 \cdot T_i. \quad (4.1-1)$$

В рівнянні (4.1-1) позначено:  $h_i$  – вертикальний знос (мм) поверхні кочення хрестовин в будь-якому розрахунковому перерізі на момент пропуску по хрестовині тоннажу  $T_i$  (відповідно для осердя або вусовика хрестовини);  $T_i$  – тоннаж, що пропущений по хрестовині (млн. т брутто); « $a_2$ » і « $b_2$ » – відповідні коефіцієнти при першому і другому доданках правої частини рівняння, які визначені за формулами (4.12) і (4.16).

Для накопичення вертикального зносу хрестовини в розрахунковому перерізі, що відповідає нормативному значенню для відповідної категорії колій  $h_i = h_n$  ( $h_n$  – нормується згідно нормативних технічних документів (див. п. 4.2)), необхідно пропустити величину тоннажу, який має назву «нормативний тоннаж», тобто має бути  $T_i = T_n$ . В такому випадку рівняння (4.1) набуде іншого вигляду:

$$h_n = a_2 \cdot \sqrt{T_n} + b_2 \cdot T_n. \quad (4.1-2)$$

У випадках, коли невідоме значення нормативного тоннажу ( $T_n$ ), який потрібно пропустити по конструкції хрестовини до набуття нормативного зносу поверхні кочення (по осердю або вусовику), то з формули (4.1-2) шляхом незначних математичних перетворень можна отримати шукану розрахункову формулу для визначення потрібного нормативного пропущеного тоннажу (4.2).

$$T_n = \left( \frac{-a + \sqrt{a^2 + 4 \cdot v \cdot h_n}}{2 \cdot v} \right)^2 \quad (4.2)$$

В формулі (4.2) приймається  $a = a_2$ ;  $v = v_2$ ;  $h_n$  – нормується згідно нормативних технічних документів (див. § 4.2).

Формулу (4.2) можна застосовувати для перевірки графіків кривих вертикального зносу хрестовин, які побудовані на основі емпіричних даних, що отримані в процесі експлуатаційних спостережень за роботою хрестовин в колії і статистичної математичної обробки емпіричних даних.

(Формула (4.2) застосована в нормативно технічному документі «СТП. Верхня будова колії. Стрілочні переводи. Правила визначення нормативних та гарантійних строків служби у різних експлуатаційних умовах» [90]. Даний стандарт розроблено в 2019 році кафедрою ЗККГ під керівництвом професора Е.І. Даніленка, за участі автора даної дисертації).

## 4.6.2 Результати розрахунків по прогнозуванню вертикального зносу поверхні кочення хрестовин та визначення їх нормативних строків служби за новим методом ДУІТ

### 4.6.2.1 Визначення нормативних строків служби хрестовин стрілочних переводів на основі статистичних даних їх експлуатації в колії

За алгоритмом, що викладений в п. 4.6.1 було проаналізовано увесь масив даних щодо вилучених з експлуатації хрестовин, що досягли граничного зносу та встановлено аналітичні рівняння прогнозних кривих формування вертикального зносу, як функції пропущеного тоннажу для хрестовин стрілочних переводів при різних параметрах вантажонапруженості ділянок (різних категорій колій).

Результати розрахунків наведені нижче.

На 1-му етапі було виконано збір і обробку результатів широкомасштабних експлуатаційних спостережень за роботою в колії стрілочних переводів типів Р65 1/11 та 1/9 на 6-ти залізницях України протягом декількох років в різних експлуатаційних умовах при вантажонапруженості від 5 до 80 млн ткм/км брутто за рік.

Найбільш вірогідне значення нормативного середнього статистичного тоннажу  $T_{норм}^{сер.ст.}$  визначалося при досягненні регламентованої величини допустимого вертикального зносу  $h_{дон}=h_n$  для елементів конструкцій стрілочних переводів, що розглядались (табл. 4.1). При тому обробка даних спостережень виконувалась окремо для конкретних експлуатаційних умов:  $\Gamma=5-15$ ;  $\Gamma=15,1-30$ ;  $\Gamma=30,1-50$ ;  $\Gamma=50,1-80$  та  $\Gamma \geq 80$  млн т км/км за рік відповідно до [111, 112].

Дослідженнями встановлена функціональна залежність середнього статистичного нормативного тоннажу  $T_{норм}^{сер.ст.}$ , що визначався для хрестовин

стрілочних переводів, від комплексу експлуатаційних умов, за яких працюють стрілочні переводи  $T_{\text{норм}}^{\text{сер.ст.}} = f(\Gamma, U)$ . (Тут  $\Gamma$  – вантажонапруженість ділянки, млн. т км/км за рік;  $U$  – комплексна характеристика експлуатаційних умов,  $\frac{\kappa H \cdot c}{M}$ ), яка враховує середньозважені (по тоннажу) швидкості ( $V_{\text{сер}}$ ) та середньозважені (по тоннажу) осьові навантаження рухомого складу ( $P_{\text{сер}}^{\text{oc}}$ ), що обертається на ділянці залізниці.

Результати досліджень наведені на рис. 4.13 (табл. 4.7, 4.8), 4.14 (табл. 4.9, 4.10), 4.15 (табл. 4.11) відповідно для хрестовин типів Р65 марок 1/9, 1/11, 1/18.

Аналіз залежностей середньостатистичних нормативних строків служби ( $T_{\text{норм}}^{\text{сер.ст.}}$ ) в функції  $T_{\text{н}} = f(\Gamma, U)$ , що представлений на рис. 4.13 (табл. 4.7, 4.8), 4.14 (табл. 4.9, 4.10), 4.15 (табл. 4.11) показав, що існують аналогічні закономірності зміни шуканої величини ( $T_{\text{н}}$ ) в функції  $T_{\text{н}} = f(\Gamma, U)$  для усіх хрестовин як на залізобетонних, так і на дерев'яних брусах. А саме:

- при зростанні вантажонапруженості вище деякої критичної величини ( $\Gamma_{\text{сер}}^{\text{кр}} \geq 35-40$  млн т км/км брутто за рік) і далі до більш напружених категорій колій ( $\Gamma = 50,1 - 80,0$ ;  $\Gamma \geq 80,1$  млн т км/км за рік і більше) – величина нормативного тоннажу хрестовин ( $T_{\text{н}}$ ) закономірно знижується (див. рис. 4.13, 4.14, 4.15):

- однак, при зменшенні вантажонапруженості нижче саме такої критичної величини для головних колій ( $\Gamma_{\text{сер}}^{\text{кр}} \leq 40 \div 35$ ) і далі до малоінтенсивно завантажених ділянок ( $\Gamma = 20$ ; 15; 5 млн т км/км за рік) – величина нормативного тоннажу ( $T_{\text{н}}$ ) для усіх марок хрестовин також знижується. В даному випадку така залежність зрозуміло пояснюється не інтенсивністю колісних дій, а, в першу чергу, погіршенням якості поточного утримання колій на ділянках з малоінтенсивним рухом поїздів.

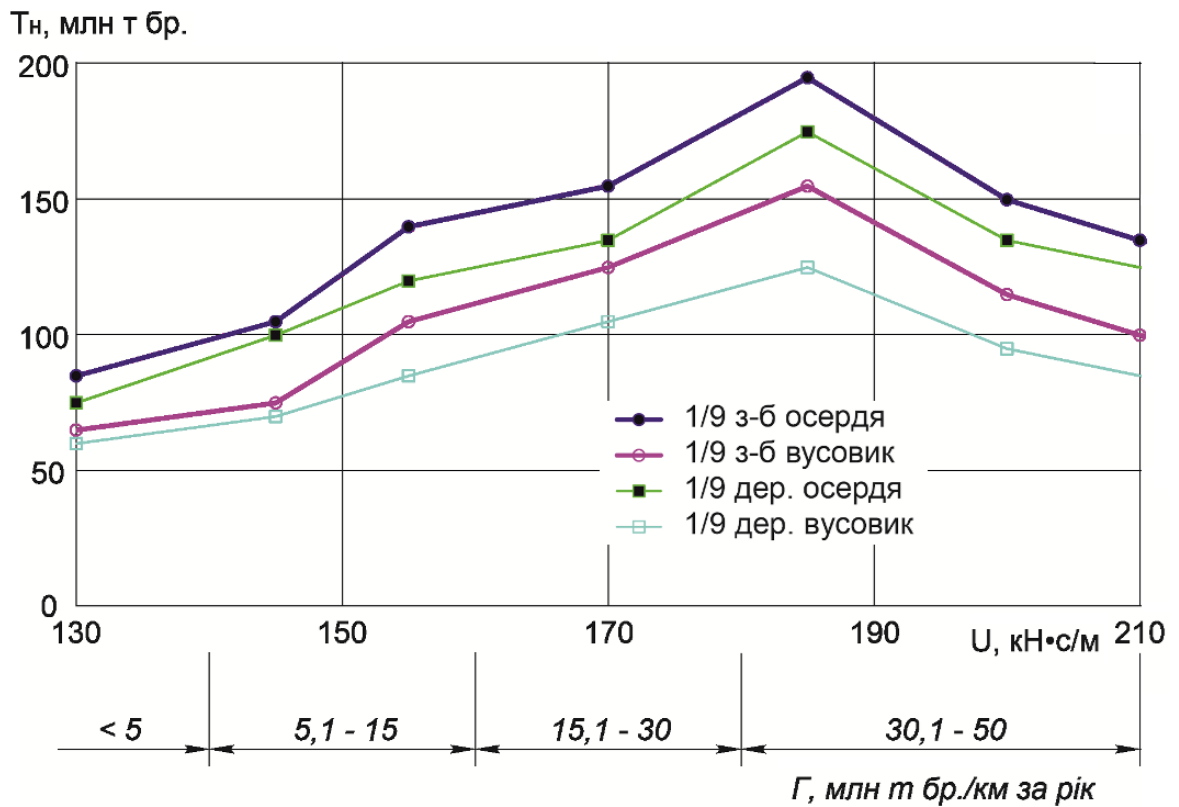


Рис. 4.13 Функціональна залежність середньостатистичного нормативного тонуажу для хрестовин Р65 1/9 на залізобетонних і дерев'яних брусах від комплексу експлуатаційних умов при яких вони працюють  $T_n = f(\Gamma, U)$

Таблиця 4.7

Р65 марки 1/9 на залізобетонних брусах	Вантажонапруженість, млн т км бр./км за рік		5-15	15-30	30-50
	U, кН·с/м		155	170	200
	осердя	$T_n = f(\Gamma, U)$	140	155	150
	вусовик		105	125	115

Таблиця 4.8

Р65 марки 1/9 на дерев'яних брусах	Вантажонапруженість, млн т км бр./км за рік		5-15	15-30	30-50
	U, кН·с/м		155	170	200
	осердя	$T_n = f(\Gamma, U)$	120	135	135
	вусовик		85	105	95

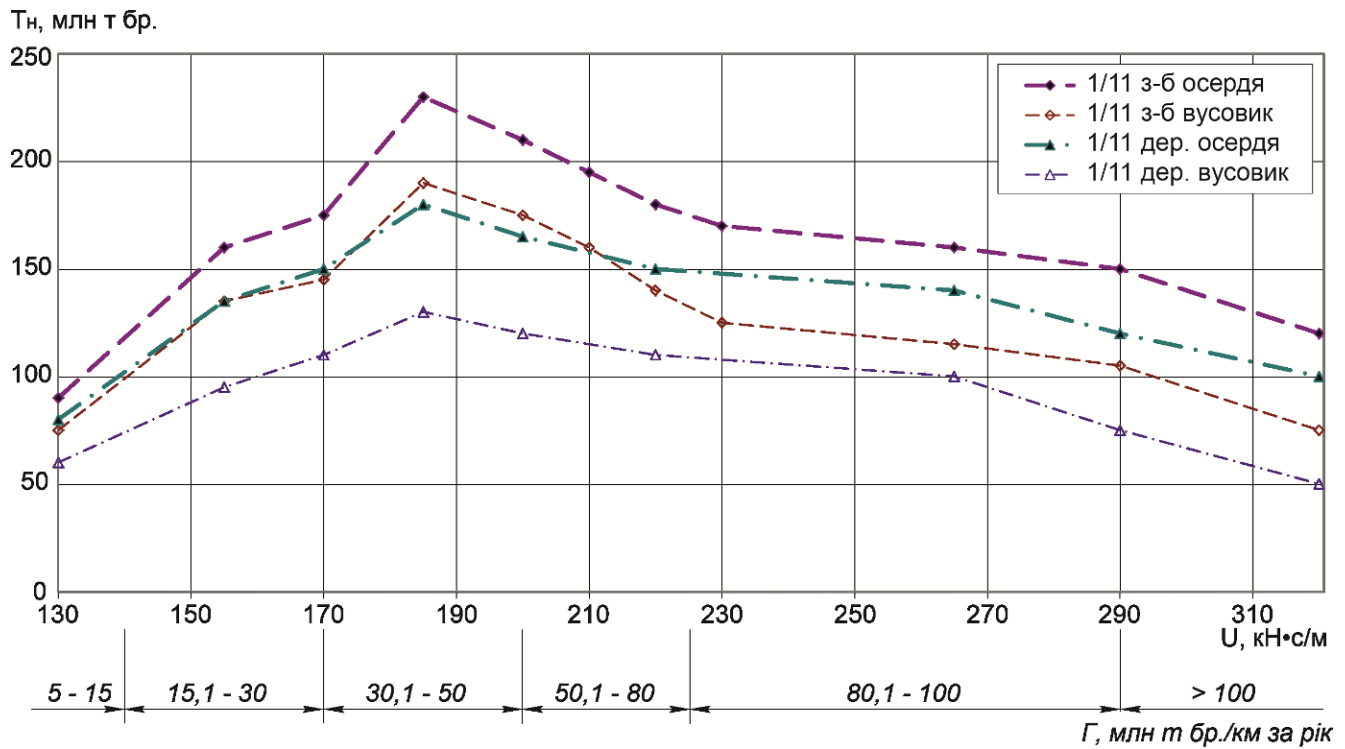


Рис. 4.14 Функціональна залежність середньостатистичного нормативного тоннажу для хрестовин Р65 1/11 на залізобетонних і дерев'яних брусах від комплексу експлуатаційних умов при яких вони працюють  $T_n = f(\Gamma, U)$

Таблиця 4.9

Р65 марки 1/11 на залізобетонних брусах	Вантажна напруженість, млн т км бр./км за рік	<5	5-30		30-50		30,1-50	50-80		>80
	U, кН·с/м	130	155	170	185	200	150	205	220	230
	осердя	$T_n = f(\Gamma, U)$	90	160	175	230	-	-	195	-
вусовик	-		-	-	-	175	210	155	140	-

Таблиця 4.10

Р65 марки 1/11 на дерев'яних брусах	Вантажна напруженість, млн т км бр./км за рік	50,1-80	>80			
	U, кН·с/м	290	255	290	320	320
	осердя	$T_n = f(\Gamma, U)$	-	150	140	80
вусовик	77,5		65	-	50	35

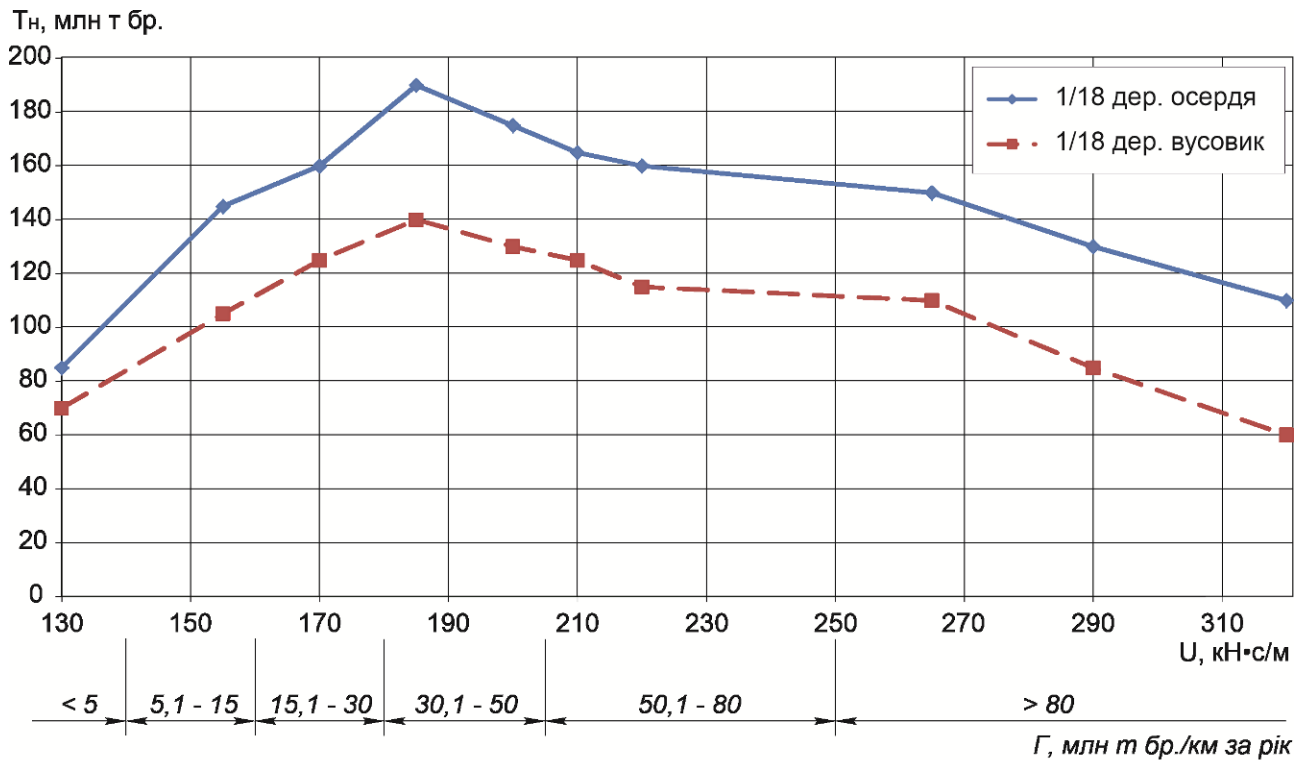


Рис. 4.15 – Функціональна залежність середньостатистичного нормативного тонуажу для хрестовин Р65 1/18 на дерев'яних брусах від комплексу експлуатаційних умов при яких вони працюють  $T_n = f(\Gamma, U)$

Таблиця 4.11

Р65 марки 1/18 на дерев'яних брусах	Вантажна напруженість, млн т км бр./км за рік	<5	5-15	15-30	30-50		50-80		>80		
	U, кН·с/м	130	155	170	185	200	210	220	265	290	320
	$T_n = f(\Gamma, U)$										
осердя		85	145	160	190	175	165	160	150	130	110
вусовик		70	105	125	140	130	125	115	110	85	60

**4.6.2.2** Визначення нормативних строків служби хрестовин графоаналітичним методом за формулою (4.2) з побудовою графіків залежності  $h_i = f(T_i)$  відповідно до методики § 4.6

На наступному етапі виконувалось визначення необхідних коефіцієнтів для побудови розрахункових кривих зносу та безпосередньо сама побудова розрахункових кривих зносу поверхні кочення вусовиків та осердя у функції

від пропущеного тоннажу  $h = f(T)$ . Причому для знаходження коефіцієнтів основного рівняння (4.1)  $a_1; \epsilon_1; a_2; \epsilon_2$  застосовувались вказівки методики, яка викладена в § 4.6.1. Але у виконаних дослідженнях (на відміну від методики [100]) коефіцієнт « $\epsilon_1$ » рівняння (4.1) для кожного типу і марки стрілочних переводів: визначався безпосередньо з результатів експлуатаційних спостережень і побудови графіків  $h = f(T)$ , як середньо-вірогідний нахил кута нахилу  $\beta$  кривої  $h = f(T)$  до горизонталі (див. рис. 4.12).

В подальшому застосовується окремий випадок залежності (4.1) при значеннях  $h = h_n$  і  $T = T_n$ :

$$h_n = a\sqrt{T_n} + \epsilon \cdot T_n, \quad (4.1)'$$

де  $h_n$  - значення регламентованої допустимої величини вертикального зносу хрестовин (осердя або вусовиків) (див. табл. 4.1);

$T_n$  - значення напрацьованого нормативного тоннажу для хрестовин при регламентованій величині  $h_n$ ;

$\epsilon = \epsilon_1$  – коефіцієнт в рівнянні (4.1), визначений в результаті експлуатаційних спостережень і побудови графіків  $h = f(T)$  для кожної конструкції, що розглядаються.

В подальшому для спрощення розрахунків приймається однаковий кут нахилу  $\beta$  кривої зносу  $h_i = f(T_i)$  до горизонталі на всій довжині від (·) М і до кінця 3-ї ділянки  $l_3$  (рис. 4.12), тобто приймається коефіцієнт  $\epsilon_2 = \epsilon_1 = \text{tg}\alpha$ . При тому коефіцієнт  $a_2$  загального рівняння (4.1) функціональної залежності  $h_i = f(T_i)$  визначається (згідно методики п. 4.6.1 за формулою (4.12)). Після цього вихідне розрахункове рівняння (4.1) приймає кінцевий вигляд як формула:

$$h_i = a_2 \cdot \sqrt{T_i} + b_2 \cdot T_i \quad (4.1-1).$$

На заключному етапі розрахунків виконується перевірка прийнятих до розгляду нормативних середньостатистичних строків служби хрестовин  $T_{норм}^{сер.ст.}$  (визначених в процесі експлуатаційних спостережень) методом теоретичних розрахунків за формулою (4.2) з урахуванням  $T_{норм}^{розрах.}$ , і також виконується аналіз та порівняння результатів.

Результати розрахунків приведені в таблицях 4.12; 4.13; 4.14; 4.15 для хрестовин типу Р65 марки 1/11 і 1/9 на залізобетонних та дерев'яних брусах (окремо для осердя і вусовиків хрестовин).

Таким чином, в результаті виконаних досліджень визначається не лише нормативний тоннаж  $T_n$  і нормативний строк служби для кожного конструктивного елементу кожної конструкції стрілочних переводів, що розглядаються, але також визначається крива прогнозованого вертикального зносу залежно від пропущеного тоннажу  $h_i = f(T_i)$ , котра показує вказану залежність на повному періоді експлуатації конструкції від  $T=0$  до  $T=max$ , і котра дозволяє прогнозувати роботу конструкцій стрілочних переводів на будь-якому періоді їх експлуатації та при будь-яких експлуатаційних умовах.

Функціональна залежність нормативного тоннажу для осердь хрестовин Р65 1/9 стрілочних переводів від комплексу експлуатаційних умов, при яких вони працюють  $T_{норм} = f(\Gamma, U)$

№№ кривих	Вантажо-напруженість, $\Gamma$ , млн. т км / км в рік	Комплексна (інтегральна) характеристика експлуатаційних умов, $U$ , кН·с/м	Статистичний норматив пропущеного тоннажу, $T_{норм}^{сер.ст.}$ , млн т брутто при $h_n=6$ мм	Розрахункові параметри, що приймаються						Розрахункове рівняння кривої зносу $h = a_2 \cdot \sqrt{T} + \epsilon_2 \cdot T$	Розрахунковий нормативний тоннаж, млн т брутто $T_{норм}^{розра} = \left( \frac{-a + \sqrt{a^2 + 4 \cdot \epsilon \cdot h_n}}{2 \cdot \epsilon} \right)^2$
				$a_1 = \frac{h_n}{\sqrt{T_n}}$	$\Delta h$ , мм	$\frac{\Delta T}{T_n}$ , млн т брутто	$\epsilon_1 = \frac{\Delta h}{\Delta T} = \text{tg } \alpha$	$a_2 = \frac{a_1 \cdot \sqrt{T_n} - \epsilon_1 \cdot T_n}{\sqrt{T_n}}$	$\epsilon_2 = \epsilon_1$		
<b>залізобетонні бруси</b>											
<b>1</b>	5,1-15	155	<b>140</b>	0,501745	0,3	85,0	0,003529	0,459540	0,003529	$h = 0,459540 \cdot \sqrt{T} + 0,003529 \cdot T$	<b>143,00</b>
<b>2</b>	15,1-30	170	<b>155</b>	0,489898	0,7	113,0	0,005000	0,428661	0,005000	$h = 0,428661 \cdot \sqrt{T} + 0,005 \cdot T$	<b>150,00</b>
<b>3</b>	30,1-50	200	<b>150</b>	0,486664	0,4	75,0	0,005333	0,420911	0,005333	$h = 0,420911 \cdot \sqrt{T} + 0,005333 \cdot T$	<b>152,00</b>
<b>дерев'яні бруси</b>											
<b>4</b>	5,1-15	155	<b>120</b>	0,538816	0,1	60,0	0,001667	0,520257	0,001667	$h = 0,520257 \cdot \sqrt{T} + 0,001667 \cdot T$	<b>124,00</b>
<b>5</b>	15,1-30	170	<b>135</b>	0,52027	0,7	116,0	0,006034	0,450673	0,006034	$h = 0,450673 \cdot \sqrt{T} + 0,006034 \cdot T$	<b>133,00</b>
<b>6</b>	30,1-50	200	<b>135</b>	0,51262	0,2	68,0	0,002941	0,478189	0,002941	$h = 0,478189 \cdot \sqrt{T} + 0,002941 \cdot T$	<b>137,00</b>

**Примітка.**  $T_n^{експл}$  – значення середнього статистичного нормативного пропущеного тоннажу, що отримано при експлуатаційних спостереженнях;  $T_n^{розра}$  – розрахунковий нормативний тоннаж, отриманий за формулою (4.2).

Функціональна залежність нормативного тоннажу для вусовиків хрестовин Р65 1/9 стрілочних переводів від комплексу експлуатаційних умов, при яких вони працюють  $T_{\text{норм}} = f(\Gamma, U)$

№№ кривих	Вантажо-напруженість, $\Gamma$ , млн. т км / км в рік	Комплексна (інтегральна) характеристика експлуатаційних умов, $U$ , кН·с/м	Статистичний норматив пропущеного тоннажу, $T_{\text{норм}}^{\text{сер.ст.}}$ , млн т брутто при $h_i=6$ мм	Розрахункові параметри, що приймаються						Розрахункове рівняння кривої зносу $h = a_2 \cdot \sqrt{T} + \epsilon_2 \cdot T$	Розрахунковий нормативний тоннаж, млн т брутто $T_{\text{норм}}^{\text{розра}} = \left( \frac{-a + \sqrt{a^2 + 4 \cdot \epsilon \cdot h_n}}{2 \cdot \epsilon} \right)^2$
				$a_1 = \frac{h_n}{\sqrt{T_n}}$	$\Delta h$ , мм	$\frac{\Delta \Gamma}{\Delta T}$ , млн т брутто	$\epsilon_1 = \frac{\Delta h}{\Delta T} = \text{tg } \alpha$	$a_2 = \frac{a_1 \cdot \sqrt{T_n} - \epsilon_1 \cdot T_n}{\sqrt{T_n}}$	$\epsilon_2 = \epsilon_1$		
<b>залізобетонні бруси</b>											
<b>1</b>	5,1-15	155	<b>105</b>	0,58332	0,5	68,8	0,00727	0,50857	0,00727	$h = 0,50857 \cdot \sqrt{T} + 0,00727 \cdot T$	<b>105,8</b>
<b>2</b>	15,1-30	170	<b>125</b>	0,53773	1,1	72,9	0,01509	0,36937	0,01509	$h = 0,36937 \cdot \sqrt{T} + 0,01509 \cdot T$	<b>124,5</b>
<b>3</b>	30,1-50	200	<b>115</b>	0,56146	0,8	73,5	0,01088	0,44514	0,01088	$h = 0,44514 \cdot \sqrt{T} + 0,01088 \cdot T$	<b>114,2</b>
<b>дерев'яні бруси</b>											
<b>4</b>	5,1-15	155	<b>85</b>	0,64438	0,2	28,9	0,00657	0,58316	0,00657	$h = 0,58316 \cdot \sqrt{T} + 0,00657 \cdot T$	<b>86,7</b>
<b>5</b>	15,1-30	170	<b>105</b>	0,58305	0,5	46,0	0,01088	0,47109	0,01088	$h = 0,47109 \cdot \sqrt{T} + 0,01088 \cdot T$	<b>105,9</b>
<b>6</b>	30,1-50	200	<b>95</b>	0,61142	0,3	39,7	0,00756	0,53722	0,00756	$h = 0,53722 \cdot \sqrt{T} + 0,00756 \cdot T$	<b>96,3</b>

**Примітка.**  $T_n^{\text{експл}}$  – значення середнього статистичного нормативного пропущеного тоннажу, що отримано при експлуатаційних спостереженнях;  $T_n^{\text{розра}}$  – розрахунковий нормативний тоннаж, отриманий за формулою (4.2).

Функціональна залежність нормативного тоннажу для осердь хрестовин Р65 1/11 стрілочних переводів від комплексу експлуатаційних умов, при яких вони працюють  $T_{норм} = f(\Gamma, U)$

№№ кривих	Вантажо- напруженість, $\Gamma$ , млн. т км / км в рік	Комплексна (інтегральна) характеристика експлуата- ційних умов, $U$ , кН·с/м	Статистичний норматив пропущеного тоннажу, $T_{норм}^{сер.ст.}$ , млн т брутто при $h_n=6$ мм	Розрахункові параметри, що приймаються						Розрахункове рівняння кривої зносу $h = a_2 \cdot \sqrt{T} + \epsilon_2 \cdot T$	Розрахунковий нормативний тоннаж, млн т брутто $T_{норм}^{розра} = \left( \frac{-a + \sqrt{a^2 + 4 \cdot \epsilon \cdot h_n}}{2 \cdot \epsilon} \right)^2$
				$a_1 = \frac{h_n}{\sqrt{T_n}}$	$\Delta h$ , мм	$\frac{\Delta T}{\Delta T}$ , млн т брутто	$\epsilon_1 = \frac{\Delta h}{\Delta T} = tg \alpha$	$a_2 = \frac{a_1 \cdot \sqrt{T_n} - \epsilon_1 \cdot T_n}{\sqrt{T_n}}$	$\epsilon_2 = \epsilon_1$		
<b>залізобетонні бруси</b>											
<b>1</b>	< 5	130	<b>92</b>	0,62554	0,5	76	0,006579	0,56244	0,006579	$h = 0,56244 \cdot \sqrt{T} + 0,006579 \cdot T$	<b>92,00</b>
<b>2</b>	5,1-30	155	<b>159</b>	0,47583	0,3	70	0,004286	0,42179	0,004286	$h = 0,42179 \cdot \sqrt{T} + 0,004286 \cdot T$	<b>159,00</b>
<b>3</b>		170	<b>176</b>	0,45227	0,4	98	0,004082	0,39812	0,004082	$h = 0,39812 \cdot \sqrt{T} + 0,004082 \cdot T$	<b>176,00</b>
<b>4</b>	30,1-50	185	<b>231</b>	0,39477	0,8	70	0,011429	0,22107	0,011429	$h = 0,22107 \cdot \sqrt{T} + 0,011429 \cdot T$	<b>231,00</b>
<b>5</b>	50,1-80	205	<b>194</b>	0,43077	1,0	96	0,010417	0,28569	0,010417	$h = 0,28569 \cdot \sqrt{T} + 0,010417 \cdot T$	<b>194,00</b>
<b>6</b>	> 80	230	<b>168</b>	0,46291	1,3	120	0,010833	0,32249	0,010833	$h = 0,32249 \cdot \sqrt{T} + 0,010833 \cdot T$	<b>168,00</b>
<b>дерев'яні бруси</b>											
<b>7</b>	> 80	255	<b>150</b>	0,48990	2	96,25	0,020779	0,23541	0,020779	$h = 0,23541 \cdot \sqrt{T} + 0,020779 \cdot T$	<b>150,00</b>
<b>8</b>		290	<b>140</b>	0,50709	2	67,5	0,029630	0,15651	0,029630	$h = 0,15651 \cdot \sqrt{T} + 0,02963 \cdot T$	<b>140,00</b>
<b>9</b>		320	<b>80</b>	0,67082	2	36,25	0,055172	0,17734	0,055172	$h = 0,17734 \cdot \sqrt{T} + 0,055172 \cdot T$	<b>80,00</b>

**Примітка.**  $T_n^{експл}$  – значення середнього статистичного нормативного пропущеного тоннажу, що отримано при експлуатаційних спостереженнях;  $T_n^{розра}$  – розрахунковий нормативний тоннаж, отриманий за формулою (4.2).

Функціональна залежність нормативного тоннажу для вусовиків хрестовин Р65 1/11 стрілочних переводів від комплексу експлуатаційних умов, при яких вони працюють  $T_{норм} = f(\Gamma, U)$

№№ кривих	Вантажо-напруженість, $\Gamma$ , млн. т км / км в рік	Комплексна (інтегральна) характеристика експлуатаційних умов, $U$ , кН·с/м	Статистичний норматив пропущеного тоннажу, $T_{норм}^{сер.ст.}$ , млн т бруто при $h_n=6$ мм	Розрахункові параметри, що приймаються						Розрахункове рівняння кривої зносу $h = a_2 \cdot \sqrt{T} + \epsilon_2 \cdot T$	Розрахунковий нормативний тоннаж, млн т бруто $T_{норм}^{розра} = \left( \frac{-a + \sqrt{a^2 + 4 \cdot \epsilon \cdot h_n}}{2 \cdot \epsilon} \right)^2$	
				$a_1 = \frac{h_n}{\sqrt{T_n}}$	$\Delta h$ , мм	$\frac{\Delta T}{T_n}$ , млн т бруто	$\epsilon_1 = \frac{\Delta h}{\Delta T} = tg \alpha$	$a_2 = \frac{a_1 \cdot \sqrt{T_n} - \epsilon_1 \cdot T_n}{\sqrt{T_n}}$	$\epsilon_2 = \epsilon_1$			
<b>залізобетонні бруси</b>												
1	15,1-30	150	<b>210</b>	0,41404	2	82,5	0,024242	0,06273	0,024242	$h = 0,06273 \cdot \sqrt{T} + 0,024242 \cdot T$	<b>210,00</b>	
2		200	<b>175</b>	0,45356	2	68,75	0,029091	0,06872	0,029091	$h = 0,06872 \cdot \sqrt{T} + 0,029091 \cdot T$	<b>175,00</b>	
3	30,1-50	205	<b>155</b>	0,48193	2	65,0	0,030769	0,09886	0,030769	$h = 0,09886 \cdot \sqrt{T} + 0,030769 \cdot T$	<b>155,00</b>	
4	50,1-80	220	<b>140</b>	0,50709	2	80,0	0,025000	0,21129	0,025000	$h = 0,21129 \cdot \sqrt{T} + 0,025 \cdot T$	<b>140,00</b>	
<b>дерев'яні бруси</b>												
5	<b>50,1-80 (80)</b>	290	<b>77,5</b>	0,68155	2	47,5	0,042105	0,31088	0,042105	$h = 0,31088 \cdot \sqrt{T} + 0,042105 \cdot T$	<b>77,50</b>	
6	<b>&gt; 80</b>	<b>(100)</b>	320	<b>50</b>	0,84853	2	23,75	0,084211	0,25307	0,084211	$h = 0,25307 \cdot \sqrt{T} + 0,084211 \cdot T$	<b>50,00</b>
7		<b>(100)</b>	255	<b>65</b>	0,74421	2	24,0	0,083333	0,07235	0,083333	$h = 0,07235 \cdot \sqrt{T} + 0,083333 \cdot T$	<b>65,00</b>

**Примітка.**  $T_n^{експл}$  – значення середнього статистичного нормативного пропущеного тоннажу, що отримано при експлуатаційних спостереженнях;  $T_n^{розра}$  – розрахунковий нормативний тоннаж, отриманий за формулою (4.2).

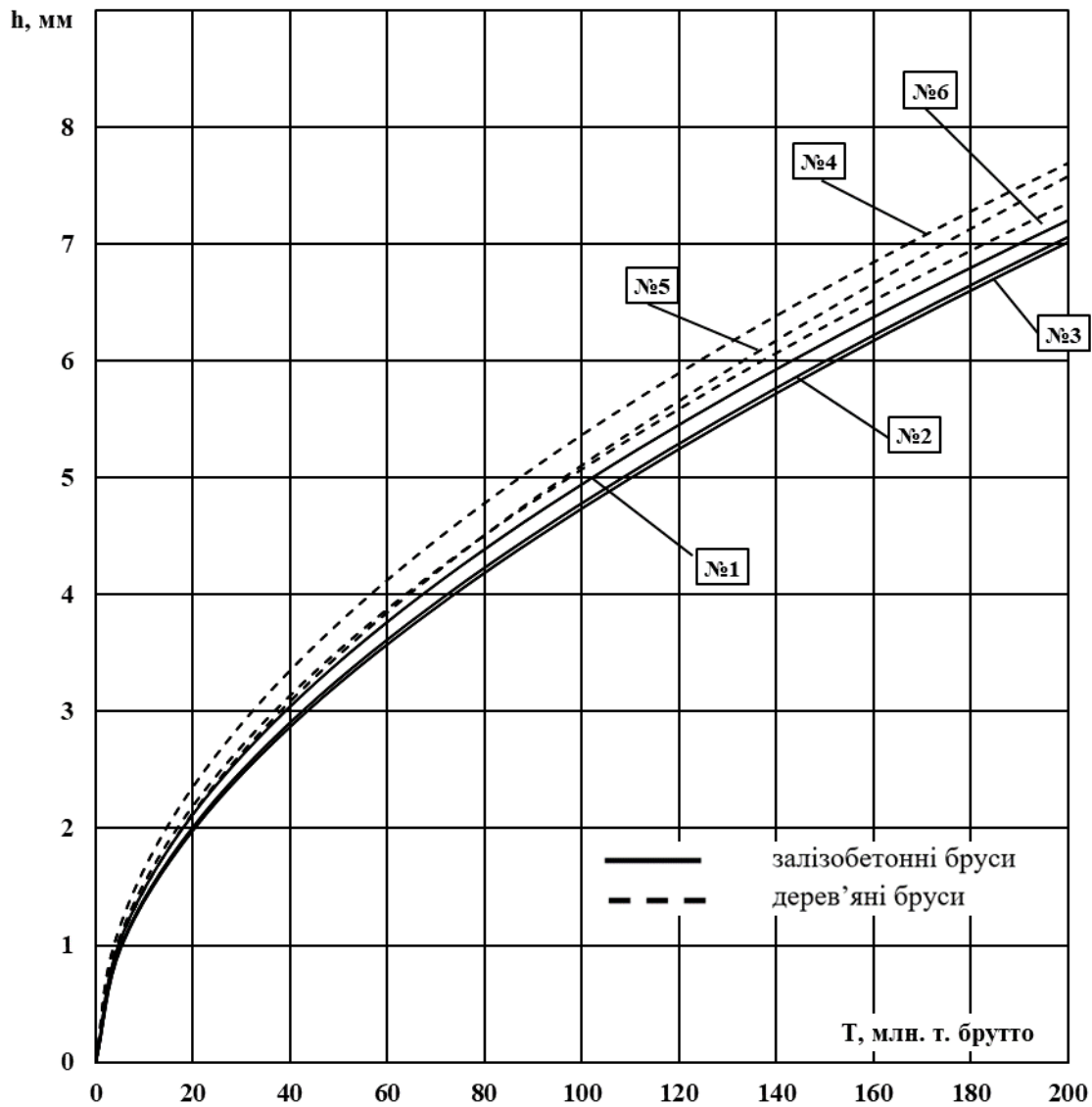


Рис. 4.16 Криві прогнозованого зносу осердь хрестовин стрілочних переходів типу Р65 марки 1/9, де:

№1 – $\Gamma = 5,1 \div 15$ млн. т км/км за рік, $U = 155$ кН·с/м, $T_h^{розр} = 143$ млн т брутто	} з/б
№2 – $\Gamma = 15,1 \div 30$ млн. т км/км за рік, $U = 170$ кН·с/м, $T_h^{розр} = 150$ млн т брутто	
№3 – $\Gamma = 30,1 \div 50$ млн. т км/км за рік, $U = 200$ кН·с/м, $T_h^{розр} = 152$ млн т брутто	

№4 – $\Gamma = 5,1 \div 15$ млн. т км/км за рік, $U = 155$ кН·с/м, $T_h^{розр} = 124$ млн т брутто	} дер.
№5 – $\Gamma = 15,1 \div 30$ млн. т км/км за рік, $U = 170$ кН·с/м, $T_h^{розр} = 133$ млн т брутто	
№6 – $\Gamma = 30,1 \div 50$ млн. т км/км за рік, $U = 200$ кН·с/м, $T_h^{розр} = 137$ млн т брутто	

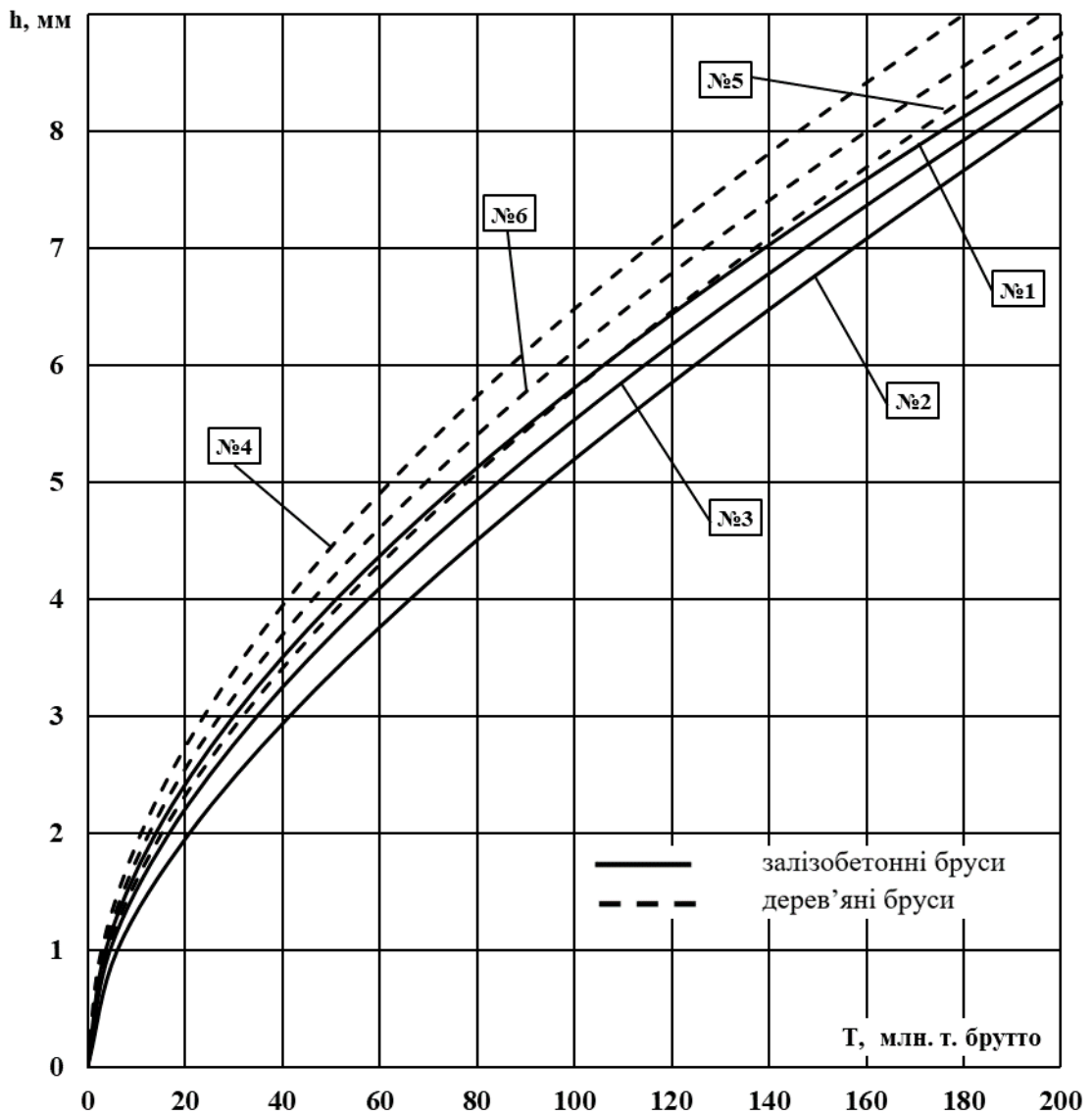


Рис. 4.17 Криві прогнозованого зносу вусовиків хрестовин стрілочних переводів типу Р65 марки 1/9, де:

№1 – $\Gamma = 5,1 \div 15$ млн. т км/км за рік, $U = 155$ кН·с/м, $T_n^{розр} = 105,8$ млн т брутто	} з/б
№2 – $\Gamma = 15,1 \div 30$ млн. т км/км за рік, $U = 170$ кН·с/м, $T_n^{розр} = 124,5$ млн т брутто	
№3 – $\Gamma = 30,1 \div 50$ млн. т км/км за рік, $U = 200$ кН·с/м, $T_n^{розр} = 114,2$ млн т брутто	

№4 – $\Gamma = 5,1 \div 15$ млн. т км/км за рік, $U = 155$ кН·с/м, $T_n^{розр} = 86,7$ млн т брутто	} дер.
№5 – $\Gamma = 15,1 \div 30$ млн. т км/км за рік, $U = 170$ кН·с/м, $T_n^{розр} = 105,9$ млн т брутто	
№6 – $\Gamma = 30,1 \div 50$ млн. т км/км за рік, $U = 200$ кН·с/м, $T_n^{розр} = 96,3$ млн т брутто	

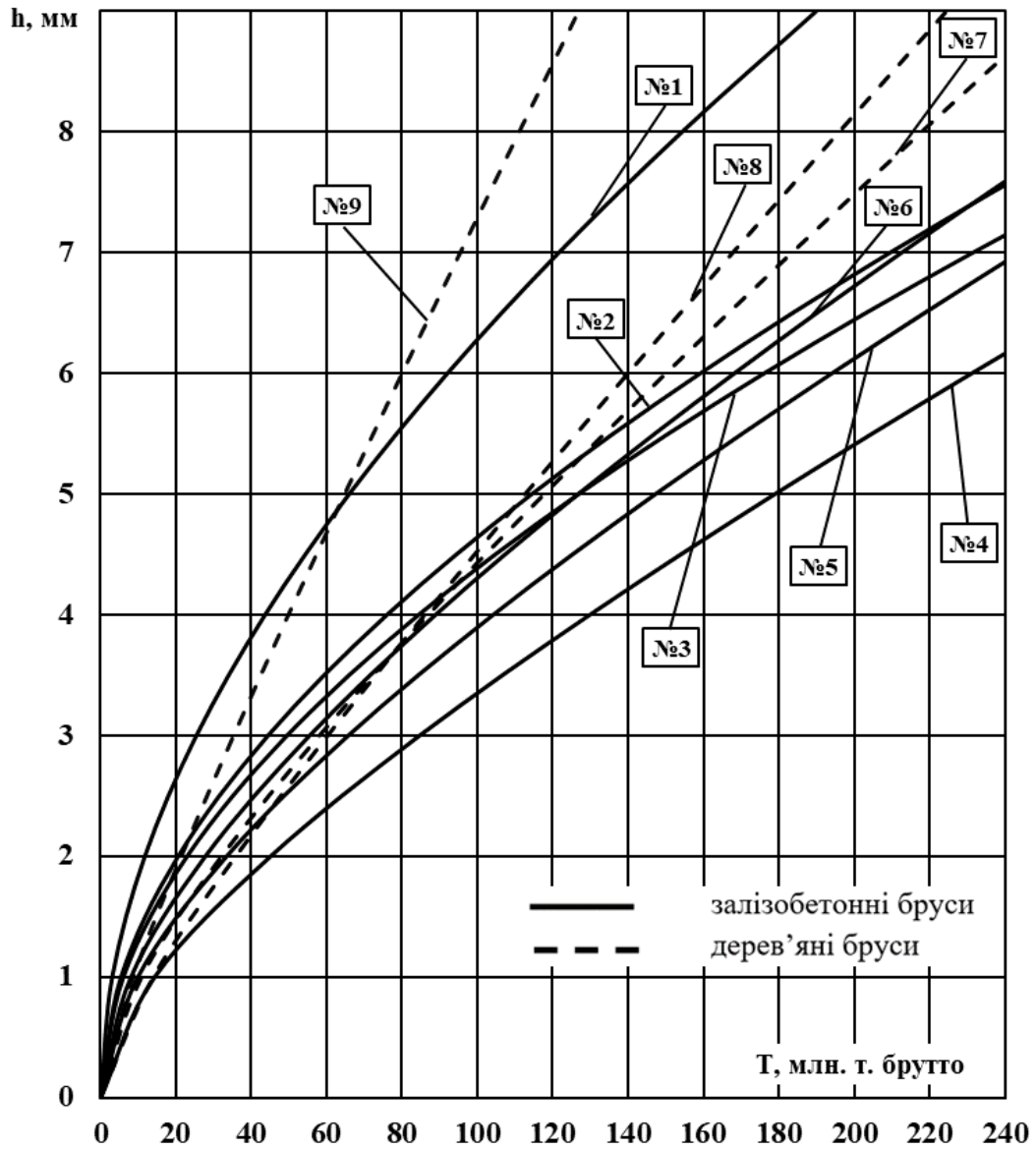


Рис. 4.18 Криві прогнозованого зносу осердь хрестовин стрілочних переводів типу Р65 марки 1/11, де:

№1 – $\Gamma < 5$ млн. т км/км за рік, $U=155$ кН·с/м, $T_n^{prozp} = 92$ млн т брутто	}	з/б
№2 – $\Gamma = 5,1 \div 30$ млн. т км/км за рік, $U=170$ кН·с/м, $T_n^{prozp} = 159$ млн т брутто		
№3 – $\Gamma = 5,1 \div 30$ млн. т км/км за рік, $U=200$ кН·с/м, $T_n^{prozp} = 176$ млн т брутто		
№4 – $\Gamma = 30,1 \div 50$ млн. т км/км за рік, $U=155$ кН·с/м, $T_n^{prozp} = 231$ млн т брутто		
№5 – $\Gamma = 50,1 \div 80$ млн. т км/км за рік, $U=170$ кН·с/м, $T_n^{prozp} = 194$ млн т брутто		
№6 – $\Gamma > 80$ млн. т км/км за рік, $U=200$ кН·с/м, $T_n^{prozp} = 168$ млн т брутто		
№7 – $\Gamma > 80$ млн. т км/км за рік, $U=170$ кН·с/м, $T_n^{prozp} = 150$ млн т брутто	}	дер.
№8 – $\Gamma > 80$ млн. т км/км за рік, $U=200$ кН·с/м, $T_n^{prozp} = 140$ млн т брутто		
№9 – $\Gamma > 80$ млн. т км/км за рік, $U=200$ кН·с/м, $T_n^{prozp} = 80$ млн т брутто		

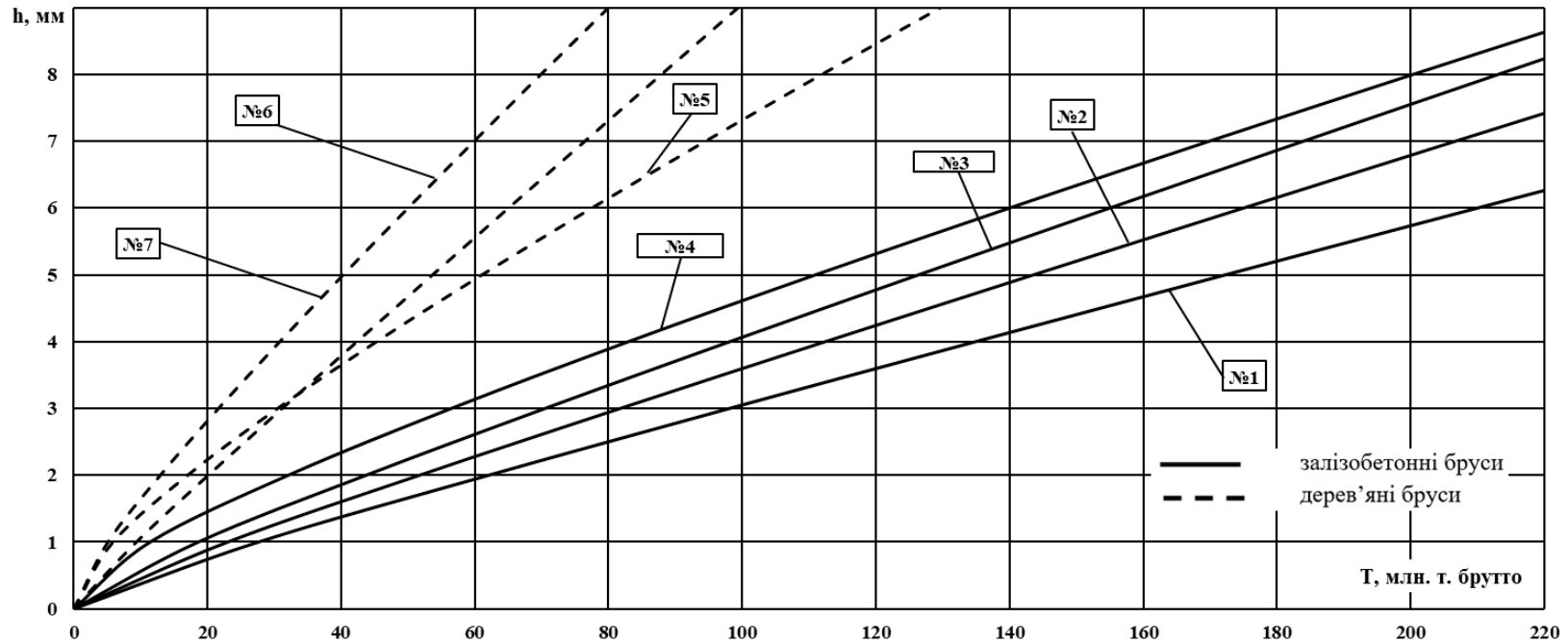


Рис. 4.19 Криві прогнозованого зносу вузовиків хрестовин стрілочних переходів типу Р65 марки 1/11, де:

- |  |        |
|--|--------|
| №1 – $\Gamma = 15,1 \div 30$ млн. т км/км за рік, $U = 155$ кН·с/м, $T_n^{розп} = 210$ млн т брутто  | } з/б  |
| №2 – $\Gamma = 15,1 \div 30$ млн. т км/км за рік, $U = 170$ кН·с/м, $T_n^{розп} = 175$ млн т брутто  |        |
| №3 – $\Gamma = 30,1 \div 50$ млн. т км/км за рік, $U = 200$ кН·с/м, $T_n^{розп} = 155$ млн т брутто  |        |
| №4 – $\Gamma = 50,1 \div 80$ млн. т км/км за рік, $U = 155$ кН·с/м, $T_n^{розп} = 140$ млн т брутто  |        |
| №5 – $\Gamma = 50,1 \div 80$ млн. т км/км за рік, $U = 170$ кН·с/м, $T_n^{розп} = 77,5$ млн т брутто | } дер. |
| №6 – $\Gamma > 80$ млн. т км/км за рік, $U = 200$ кН·с/м, $T_n^{розп} = 50$ млн т брутто             |        |
| №7 – $\Gamma > 80$ млн. т км/км за рік, $U = 200$ кН·с/м, $T_n^{розп} = 65$ млн т брутто             |        |

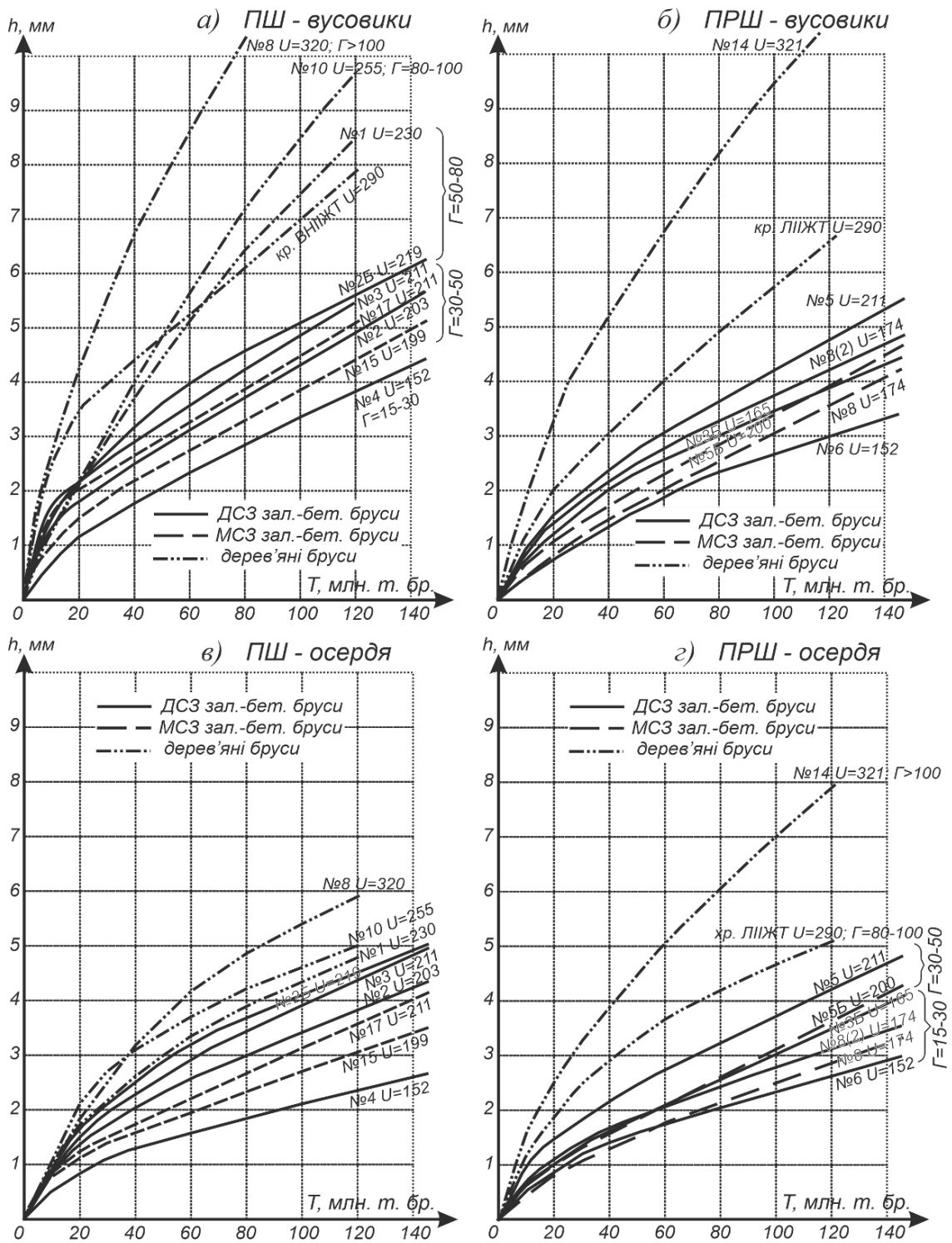


Рис. 4.20 Криві прогнозованого зносу хрестовин стрілочних переводів типу Р65 марки 1/11, що отримані в попередніх дослідженнях ДІТ; ДУІТ; ЛІЗТ (під керівництвом проф. Е.І. Даніленка):

- а) для вусовиків у перерізі 20 мм осердя для пошерстного напрямку руху;
- б) для вусовиків у перерізі 20 мм осердя для протишерстного напрямку руху;
- в) для осердя у перерізі 40 мм для пошерстного напрямку руху;
- г) для осердя у перерізі 40 мм для протишерстного напрямку руху.

### 4.6.3 Аналіз кривих прогнозованого зносу поверхні кочення хрестовин стрілочних переводів на залізницях магістрального транспорту

1) В результаті графоаналітичних розрахунків і побудови графічних залежностей прогнозованого зносу поверхні кочення хрестовин у функції від пропущеного тоннажу  $h_i = f(T_i)$  отриманий ряд кривих, що характеризують знос осердя та вусовиків хрестовин для найбільш розповсюджених типових конструкцій стрілочних переводів з рейок типу Р65 марки і 1/11 і 1/9, які експлуатуються на головних та приймально-відправних коліях Укрзалізниці. Напрямок кривих відносно координатних осей  $(h_i, T_i)$  є різним для кожної окремої конструкції (1/11 або 1/9 і також для осердь або вусовиків), і також є різним для конструкцій, що працюють в різних експлуатаційних умовах.

2) Криві зносу всіх розглянутих конструкцій хрестовин, що були досліджені, в цілому відповідають загальному вихідному рівнянню зносу поверхні кочення  $h_i = a\sqrt{T_i} + b \cdot T_i$  (4.1); більш конкретно ці самі криві відповідають уточненому розрахунковому рівнянню зносу поверхні кочення «жорстких» хрестовин  $h_i = a_2\sqrt{T_i} + b_2 \cdot T_i$  (4.1-1), яке отримане в методиці прогнозування вертикального зносу хрестовин (§ 4.6.1.3).

3) Динаміка накопичення зносу всіх розглянутих хрестовин, що були досліджені і кут нахилу кривої зносу до горизонталі функціонально залежать не тільки від пропущеного тоннажу ( $T_i$ ) (який входить у вираз (4.1-1)), але також залежить від таких основних характеристик експлуатаційних умов, якими є: вантажонапруженість (« $G$ », млн. ткм/км за рік); а також комплексна інтегральна характеристика експлуатаційних умов (« $U$ », кН·с/м), яка враховує крім вантажонапруженості такі важливі характеристики як: середньозважені осьові навантаження на осі рухомого складу (кН/вісь) і середньозважені швидкості руху поїздів, що пройшли по хрестовинах (км/с) за розрахунковий період.

4) Величина розрахункового нормативного пропущеного тоннажу ( $T_n^{позп}$ ) по хрестовинам, що визначається по розрахунковій формулі (4.2)

$$T_H = \left( \frac{-a + \sqrt{a^2 + 4 \cdot v \cdot h_n}}{2 \cdot v} \right)^2, \text{ практично в усіх випадках близько співпадає зі}$$

значеннями нормативного середньостатистичного тоннажу ( $T_{\text{норм}}^{\text{сер.ст.}}$ ), що отриманий в процесі експлуатаційних спостережень; (різниця в межах 1,5 %). Це підтверджує вірність обраної методики прогнозування і розрахунку нормативних строків служби хрестовин стрілочних переводів в різних умовах експлуатації.

5) Нормативний тоннаж, як для осердя так і для вусовиків хрестовин, що укладені на залізобетонних брусах, отримано більший ніж для хрестовин, які укладені на дерев'яних брусах у всіх випадках, тобто при різних характеристиках експлуатаційних умов (але ідентичних для порівнювальних конструкцій) на залізобетонних і дерев'яних брусах ( $U_{i_{з/б}} = U_{i_{дер}}$ ). А саме, коефіцієнт збільшення

нормативного строку служби хрестовин на залізобетонних брусах  $K_{зб} = \frac{T_{\text{норм}}^{з/б}}{T_{\text{норм}}^{\text{дер}}}$

складає:

- для хрестовин типу Р65 марки 1/9: для осердя  $K_{зб} = 1,11 \div 1,15$ ; для вусовиків –  $K_{зб} = 1,14 \div 1,22$ ;

- для хрестовин типу Р65 марки 1/11: для осердя  $K_{зб} = 1,12$ ; для вусовиків –  $K_{зб} = 1,2$ .

6) Нормативний тоннаж ( $T_H$ ) для вусовиків хрестовин порівняно з нормативним тоннажем для осердь хрестовин в усіх випадках отриманий меншим:

- для хрестовин типу Р65 марки 1/9 коефіцієнт зменшення отримано  $K_{зм} = 0,73 \div 0,83$  – для хрестовин на залізобетонних брусах;  $K_{зм} = 0,70 \div 0,79$  – для хрестовин на дерев'яних брусах;

- для хрестовин типу Р65 марки 1/11 коефіцієнт зменшення отримано  $K_{зм} = 0,80 \div 0,83$  – для хрестовин на залізобетонних брусах;  $K_{зм} = 0,55 \div 0,62$  – для хрестовин на дерев'яних брусах.

7) Динаміка зростання вертикального зносу поверхні кочення хрестовин суттєво збільшується як на вусовиках так і на осердях при зростанні комплексної

характеристики експлуатаційних умов до величини  $U_i \geq 250 - 300$  (кН·с / м), що як правило відбувається при високій вантажнапруженості  $\Gamma_i \geq 80 - 100$  (млн.ткм / км за рік). Порівняно із середньо-сітьовими умовами експлуатації на українських залізницях ( $\Gamma_i \approx 31 - 50$  млн.ткм / км за рік) величина нормативного тоннажу по хрестовинам стрілочних переводів може зменшуватись в  $2,5 \div 2,8$  разів, як по вусовикам так і по осердям, саме так може зменшуватись і нормативний строк служби хрестовин.

#### **4.7 Дані про вихід з експлуатації основних конструктивних елементів стрілок (рамних рейок та вістряків) порівняно зі строками служби хрестовин**

Вихід з експлуатації основних конструктивних елементів стрілок (тобто рамних рейок і вістряків) не відповідає тим закономірностям, що встановлені для хрестовин стрілочних переводів. В даній дисертації автором не ставилася задача детального вивчення закономірностей зносостійкості саме для рамних рейок і вістряків, перш за все, через особливості конструкції, які є різними для стрілок і хрестовин в зв'язку з різними якостями металу з якого вони виготовляються

Нижче наведені основні принципові положення, що застосовуються в теперішній час в практиці експлуатації стрілочних переводів на коліях Укрзалізниці.

В практичних задачах при визначенні нормативних строків служби основних конструктивних елементів стрілки, тобто рамних рейок і вістряків враховуються наступні фактичні дані про вихід з ладу усіх елементів стрілочних переводів, які отримані сучасними та попередніми дослідженнями, проведеними вітчизняними науковими школами (ДУІТ, ДНУЗТ, УкрДУЗТ [23, 33, 36, 38, 53, 74, 83, 90, 100, 101] та науковими школами колишнього СРСР (БелГУТ, Білорусь), ВНДІЗТ, ЛІЗТ (РФ)) [3, 4, 20, 32, 35, 40, 43, 45, 54, 77, 78, 81].

Основні фактичні дані по виходу з експлуатації основних конструктивних елементів стрілочних переводів, які рекомендується враховувати при визначенні їх нормативних та гарантійних строків служби наведені нижче.

1. Середнє напрацювання в колії вістряків типу Р65 до їх вилучення із експлуатації (при середніх експлуатаційних умовах по інтенсивності руху) складає 150-160 млн. т. брутто пропущеного тоннажу, а рамних рейок 185-200 млн т брутто (при встановленому нормативному напрацюванні стрілок 300-320 млн т брутто), тобто рамні рейки забезпечують безвідмовну роботу тільки у 62% випадків, а вістряки тільки в 52% випадків.

2. Середнє напрацювання в колії хрестовин до їх вилучення по зносу (при нормативному зносі 6 мм) при середньо мережевих експлуатаційних умовах по інтенсивності руху складає 80-125 млн. т. брутто.

3. Строк служби хрестовин, що вилучаються по дефектам в 2-2,5 рази менше строку служби хрестовин, що замінюються по зносу і складають 45 млн т брутто і менше; на момент досягнення нормативного напрацювання хрестовини забезпечують безвідмовну роботу (по дефектності) тільки в 65% випадків.

4. Із загальної кількості хрестовин, які замінюються, вихід по дефектам складає 35-40% , вихід по зносу складає 60% і більше (залежно від умов експлуатації).

5. Із загальної кількості виходу стрілочних переводів по дефектах на дефектні вістряки припадає приблизно 25%.

6. Підвищення навантаження на осі рухомого складу призводить до суттєвого зниження стійкості стрілок и хрестовин; так при збільшенні осьових навантажень від  $2P = 210$  кН до  $2P = 250$  кН стійкість хрестовин типу Р65 знижується в 1,7 рази.

7. Збільшення швидкості руху поїздів від 50-60 км/год до 100-120 км/год тягне за собою зменшення строку служби хрестовин в 1,4-1,3 рази і строку служби стрілок в 1,3-1,2 рази.

8. Імовірність безвідмовної роботи з'єднувальних рейок прямої колії вище ніж у рамних рейок приблизно у 1,5 рази, а з'єднувальних рейок бокової колії вище приблизно у 1,2-1,3 рази.

#### 4.8 Аналіз результатів досліджень зносостійкості хрестовин стрілочних переводів на магістральних коліях

Для більш об'єктивного і якісного аналізу характеристик зносостійкості хрестовин, що експлуатуються в коліях Укрзалізниці марок 1/9 та 1/11 типів Р65, в таблиці 4.16 приведені порівняльні характеристики, що характеризують роботу вказаних хрестовин на коліях Укрзалізниці протягом повного строку їх експлуатації. При тому, результати по зносостійкості приведені як в початковий період експлуатації, так і в середині строку служби і в кінцевому періоді експлуатації при набутті вертикального нормативного зносу  $h_n=6$  мм і пропуску нормативного тоннажу ( $T_{\text{норм}}$ ). Результати приведені при пропущеному тоннажі  $T=30$ ,  $T=120$  (млн. т брутто) аж до набуття нормативного строку служби  $T_{\text{норм}}$  (який визначається при вертикальному зносі поверхні кочення  $h_n=6$  мм) і який може складати до  $T_{\text{норм}} = 200$  млн. т брутто і більше.

Аналіз та порівняння характеристик зносостійкості поверхні кочення хрестовин, що експлуатуються в коліях Укрзалізниці для типу Р65 марок 1/9 та 1/11 показав наступне:

1) Величина зносу поверхні кочення ( $h$ ) на осердях і вусовиках хрестовин обох типів (Р65 1/9 та Р65 1/11) здійснюється нерівномірно по мірі пропущеного тоннажу, тобто більш інтенсивно накопичується знос на початковому періоді експлуатації (при пропуску тоннажу від  $T=0$  приблизно до  $T=30$  млн. т брутто). Це відповідає криволінійній частині розрахункового рівняння кривої зносу (4.1), що приведене в розділі 4.4. В подальшому поступово по мірі зростання пропущеного тоннажу ( $T$ ) інтенсивність накопичення зносу поверхні кочення хрестовин зменшується (як по осердю, так і по вусовиках) і зростання величини зносу ( $h$ ) здійснюється практично рівномірно, що відповідає прямолінійній частині вихідного розрахункового рівняння кривої зносу (4.1) поверхні кочення хрестовин. Тобто, характер наростання зносостійкості хрестовин, які працюють в коліях Укрзалізниці в цілому аналогічний характеру, який наявний в метрополітені, проте має різну інтенсивність.

Таблиця 4.16

Порівняння характеристик зносостійкості хрестовин типу Р65 марки 1/9 та марки 1/11 при експлуатації на коліях Укрзалізниці

Характеристика конструкції зношуваних елементів хрестовин	Розрахункові показники										
	Вантажо-напруженість, $G$ , млн. т км / км в рік	Комплексна характеристика експлуатаційних умов, $U$ , кН·с/м	Розрахункове рівняння кривої зносу	Нормативний тоннаж, $T_n$ , млн т брутто при $h_n=6$ мм	Знос, $h$ , мм		Інтенсивність зносу, $i$ , мм/1 млн т брутто		Відношення характеристик при $T=120$		
					при $T=30$	при $T=120$	при $T=30$	при $T=120$	$i_{3/6} / i_{деп.} \left( \frac{i_{деп.}}{i_{3/6}} \right)$	$i_{1/9} / i_{1/11} \left( \frac{i_{1/11}}{i_{1/9}} \right)$	$i_{3/3} / i_m$
Р65 1/9											
осердя з/б	30,1÷50	200	$h = 0,420911 \cdot \sqrt{T} + 0,005333 \cdot T$	152	2,47	5,251	0,0822	0,0438	0,942	1,386	1,495
осердя дер.		200	$h = 0,478189 \cdot \sqrt{T} + 0,002941 \cdot T$	137	2,71	5,591	0,0902	0,0465	1,062	1,099	1,587
вусовик з/б		200	$h = 0,44514 \cdot \sqrt{T} + 0,01088 \cdot T$	114,2	2,76	6,182	0,0922	0,0515	0,910	1,294	1,651
вусовик дер.		200	$h = 0,53722 \cdot \sqrt{T} + 0,00756 \cdot T$	96,3	3,17	6,792	0,1056	0,0566	1,099	—	1,814
Р65 1/11											
осердя з/б	30,1÷50	185	$h = 0,22107 \cdot \sqrt{T} + 0,011429 \cdot T$	231	1,55	3,793	0,0518	0,0316	0,747	0,721	—
осердя дер.		255	$h = 0,23541 \cdot \sqrt{T} + 0,020779 \cdot T$	150	1,91	5,072	0,0637	0,0423	1,339	0,910	—
вусовик з/б		205	$h = 0,09886 \cdot \sqrt{T} + 0,030769 \cdot T$	155	1,46	4,775	0,0488	0,0398	—	0,773	—

Інтенсивність зносу поверхні кочення ( $i$ ) для хрестовин Р65 1/9 складала на початковому періоді експлуатації (при  $T = до 30$  млн. т брутто) відповідно: для осердя (залізобетонні бруси)  $i = 0,0822$  мм/1 млн. т брутто; для осердя (дерев'яні бруси)  $i = 0,0902$  мм/1 млн. т брутто; для вусовика (залізобетонні бруси)  $i = 0,0922$  мм/1 млн. т брутто; для вусовика (дерев'яні бруси)  $i = 0,1056$  мм/1 млн. т брутто. А вже на подальшому етапі експлуатації (при  $T =$  від 30 до 120 млн. т брутто) інтенсивність зносу для тих же хрестовин Р65 1/9 складала відповідно: для осердя (залізобетонні бруси)  $i = 0,0438$  мм/1 млн. т брутто; для осердя (дерев'яні бруси)  $i = 0,0466$  мм/1 млн. т брутто; для вусовика (залізобетонні бруси)  $i = 0,0515$  мм/1 млн. т брутто; для вусовика (дерев'яні бруси)  $i = 0,0566$  мм/1 млн. т брутто. Тобто, інтенсивність зносу на подальшому (основному) періоді експлуатації зменшилась відповідно: для осердя в 1,91 раза; для вусовика в 1,83 раза.

Для хрестовин Р65 марки 1/11 інтенсивність зносу поверхні кочення ( $i$ ) складала на початковому етапі (при  $T = до 30$  млн. т брутто) відповідно: для осердя (залізобетонні бруси)  $i = 0,0518$  мм/1 млн. т брутто; для осердя (дерев'яні бруси)  $i = 0,0637$  мм/1 млн. т брутто; для вусовика (залізобетонні бруси)  $i = 0,0488$  мм/1 млн. т брутто, а на подальшому (основному) етапі експлуатації (при  $T =$  від 30 до 120 млн. т брутто) інтенсивність зносу для хрестовин Р65 1/11 складала відповідно: для осердя (залізобетонні бруси)  $i = 0,0316$  мм/1 млн. т брутто; для осердя (дерев'яні бруси)  $i = 0,0423$  мм/1 млн. т брутто; для вусовика (залізобетонні бруси)  $i = 0,0398$  мм/1 млн. т брутто. Тобто, інтенсивність зносу на подальшому (основному) періоді експлуатації зменшилась відповідно: для осердя в 1,51-1,64 раза; для вусовика в 1,23 раза.

2) Порівняння характеристик інтенсивностей зносу поверхні кочення елементів хрестовин (осердь та вусовиків) типу Р65 марок 1/9 та 1/11 для різних типів підрейкової основи (залізобетон або дерево) виражається відношенням

$i_{3/6}/i_{деп.}$  або  $i_{деп.}/i_{3/6}$  та дає можливість співставити ці характеристики окремо для осердь і вусовиків.

У виконаних дослідженнях отримані наступні значення відношень  $i_{3/6}/i_{деп.}$  : для хрестовин типу Р65 марки 1/9 для осердя 0,942; для вусовика 0,910 і відповідно відношення  $i_{деп.}/i_{3/6}$  для осердя 1,062; для вусовика 1,099. Для хрестовин типу Р65 марки 1/11 для осердя 0,747 і відповідно відношення  $i_{деп.}/i_{3/6}$  для осердя 1,338.

3) Порівняння характеристик інтенсивностей зносу поверхні кочення хрестовин типу Р65 марок 1/9 та 1/11 для різних типів підрейкової основи (залізобетон або дерево) також можна виразити відношенням  $i_{1/9}/i_{1/11}$  або  $i_{1/11}/i_{1/9}$  та дає можливість співставити ці характеристики окремо для осердь і вусовиків.

У виконаних дослідженнях отримані наступні значення відношень  $i_{1/9}/i_{1/11}$  : для осердь (залізобетонні бруси) 1,386; для вусовика (залізобетонні бруси) 1,294; для осердь (дерев'яні бруси) 1,099; відповідно відношення  $i_{1/11}/i_{1/9}$  для осердь (залізобетонні бруси) 0,721; для вусовика (залізобетонні бруси) 0,773; для осердь (дерев'яні бруси) 0,910.

4) Представляє окремий і особливий інтерес співставлення інтенсивностей зносу поверхні кочення хрестовин одного типу і марки для суттєво різних умов експлуатації в коліях метрополітену та в коліях Укрзалізниці. За результатами досліджень, що виконані в дисертації, маємо можливість порівняти інтенсивність зносу поверхні кочення хрестовин типу Р65 марки 1/9 (тобто однакового типу і марки) для суттєво різних умов експлуатації, в яких працюють стрілочні переводи на коліях метрополітену та Укрзалізниці.

Порівняння експлуатаційних умов на коліях Київського метрополітену і на коліях Укрзалізниці (в зоні укладання стрілочних переводів марки 1/9 типу Р65) можна зробити за методикою проф. Даніленка Е.І. застосовуючи комплексну

характеристику експлуатаційних умов  $U\left(\frac{\kappa H \cdot c}{m}\right)$ . Дана характеристика визначається за спеціальною методикою відповідно до [107] і включає урахування практично повного комплексу енергетичних характеристик експлуатації, які є на розглядаємій ділянці, а саме: колісні навантаження, швидкості руху, вантажонапруженість, динамічні силові додатки та ін.

Співвідношення комплексних характеристик експлуатаційних умов колій Укрзалізниці і метрополітену (в межах експлуатації стрілочних переводів типу Р65 1/9) складає:

$$\frac{U_{\text{вз}}}{U_{\text{метро}}} = \frac{200 \frac{\kappa H \cdot c}{m}}{131 \frac{\kappa H \cdot c}{m}} = 1,53.$$

Порівняння інтенсивностей зносу поверхні кочення хрестовин типу Р65 марки 1/9, що експлуатуються в коліях Укрзалізниці і в коліях метрополітену дають наступний результат (для розрахунку розглядаються осердя хрестовин на залізобетонних та дерев'яних брусах):

$$\left. \begin{array}{l} \frac{i_{\text{вз}}(з/б)}{i_{\text{метро}}} = \frac{0,0438}{0,0293} = 1,5 \\ \frac{i_{\text{вз}}(\text{дер.})}{i_{\text{метро}}} = \frac{0,0465}{0,0293} = 1,59 \end{array} \right\} \text{ середнє значення для з/б та дер. брусів} = 1,54.$$

Таким чином, у виконаних дослідженнях отримано, що відношення інтенсивностей зносу поверхні кочення хрестовин (по осердю) типу Р65 1/9, що експлуатуються в коліях Укрзалізниці до таких самих хрестовин, що експлуатуються в коліях метрополітену, практично точно відповідає відношенню комплексних характеристик експлуатаційних умов  $\frac{U_{\text{вз}}}{U_{\text{метро}}} = 1,53$ .

Тобто, можна зробити висновок, що комплексну характеристику експлуатаційних умов  $U\left(\frac{\kappa H \cdot c}{m}\right)$ , що отримана в наукових працях проф. Даніленка Е.І. [81, 82, 109] можна застосовувати для оцінки і прогнозування зносостійкості хрестовин в суттєво різних умовах експлуатації, які відрізняються від типових умов магістральних залізничних колій.

## 4.9 Висновки по розділу 4

1. Прогнозування зносостійкості та нормативних строків служби хрестовин стрілочних переводів виконано для конструкцій найбільш розповсюджених на коліях магістрального транспорту стрілочних переводів марок 1/9 і 1/11 з рейок типу Р65, укладених на залізобетонних і дерев'яних брусах, при тому умови експлуатації розрізнялись від вантажонапруженого руху головних колій до прийнятно-відправних колій з малою вантажонапруженістю.

2. При прогнозуванні зносостійкості та нормативних строків служби хрестовин стрілочних переводів застосовувались методи: 1) безпосередніх експлуатаційних спостережень за роботою стрілочних переводів в діючій колії шести доріг Укрзалізниці з наступною математично-статистичною обробкою даних; 2) теоретичне рішення задачі графоаналітичним методом з побудовою графічних залежностей зносу поверхні кочення від пропущеного тоннажу  $h_i = f(T_i)$  і рішенням рівняння для визначення нормативного строку служби хрестовин ( $T_{норм}^{розр}$ ) залежно від нормованої величини вертикального зносу поверхні кочення ( $h_n$ ) і попередньо визначених коефіцієнтів рівняння « $a_2$ » і « $b_2$ »  $T_n = F(h_n; a_i; b_i)$  (див. формулу 4.2) (нова методика).

3. Рішення задачі по визначенню прогнозного нормативного пропущеного тоннажу по хрестовинам ( $T_{норм}^{розр}$ ) виконано за допомогою нової методики прогнозування зносу поверхні кочення по хрестовинам залежно від умов експлуатації, яка включає спільне застосування: експлуатаційних спостережень за роботою хрестовин на залізницях, математично-статистичного аналізу результатів спостережень, графоаналітичний аналіз і побудову графічних залежностей прогнозованого зносу у функції від пропущеного тоннажу і розробку кінцевих розрахункових формул для визначення прогнозованого нормативного тоннажу ( $T_{норм}^{розр}$ ), що очікується пропускати по хрестовинам при досягненні нормованої величини зносу поверхні кочення ( $h_{норм}$ ). Весь

перерахований комплекс досліджень виконано *вперше в дисертаційних дослідженнях*, тому він представляє наукову новизну роботи.

4. Значення прогнозного розрахункового нормативного пропущеного тоннажу ( $T_{\text{норм}}^{\text{розр}}$ ) у всіх випадках для всіх розглядаємих конструкцій було перевірено безпосередніми експлуатаційними спостереженнями за роботою стрілочних переводів в умовах роботи головних та приймально-відправних колій Укрзалізниці, з визначенням нормативного тоннажу в експлуатаційних умовах ( $T_{\text{норм}}^{\text{експл}}$ ). Перевірка підтвердила практично повне співпадіння результатів розрахункових значень ( $T_{\text{норм}}^{\text{розр}}$ ) нормативного тоннажу і значень нормативного тоннажу ( $T_{\text{норм}}^{\text{експл}}$ ), який отримано при експлуатаційних спостереженнях.

5. Отримано, що зносостійкість хрестовин, тобто інтенсивність зношування поверхні кочення осердь і вусовиків у функції від кожного 1 млн. тонн пропущеного тоннажу  $i = \frac{h_i}{T_i} \left( \frac{\text{мм}}{\text{млн. т брутто}} \right)$  на кожному окремому відрізьку часу експлуатації є різною, відповідно до напрямку кривої зносу відносно горизонтальної осі координат, і залежить безпосередньо від характеристики експлуатаційних умов, що вимірюється вантажонапруженістю ( $\Gamma$ , млн. т·км/км за рік) і загальною інтегральною характеристикою експлуатаційних умов ( $U$ , кН·с/м) що визначається за методикою професора Е.І. Даніленка).

6. Практична значимість виконаної роботи полягає в тому, що *вперше в дисертаційних дослідженнях* отримані прогнозовані нормативні розрахункові значення пропущеного тоннажу ( $T_{\text{норм}}^{\text{розр}}$ ) для хрестовин стрілочних переводів марок 1/11 і 1/9 з рейок типу Р65 (які найбільш розповсюджені на коліях магістрального транспорту), укладених на залізобетонних і дерев'яних брусах.

Притому, задачі визначення прогнозованого розрахункового нормативного тоннажу ( $T_{\text{норм}}^{\text{розр}}$ ) вирішено в багатоваріантній постановці, для широкого спектру експлуатаційних умов при різній вантажонапруженості ( $\Gamma$ , млн. т·км/км за рік), від  $\Gamma=5-15$ ; 15,1-30; 30,1-50 до 50,1-80; 80,1-100 (млн. т·км/км за рік). А також

розглядалися різні значення комплексної характеристики експлуатаційних умов ( $U$ ,  $\kappa\text{H}\cdot\text{c}/\text{м}$ ) в межах від  $U$ =від 130 ( $\kappa\text{H}\cdot\text{c}/\text{м}$ ) до 320 ( $\kappa\text{H}\cdot\text{c}/\text{м}$ ). Результати наведені в таблицях 4.7; 4.8; 4.9; 4.10; 4.11 (середньостатистичні значення при експлуатаційних спостереженнях) та в таблицях 4.12; 4.13; 4.14; 4.15 (теоретичні розрахунки).

7. Динаміка зростання вертикального зносу поверхні кочення хрестовин суттєво збільшується (як на вусовиках, так і на осердях) при зростанні комплексної характеристики експлуатаційних умов до величини  $U_i \geq 250 - 300$  ( $\kappa\text{H}\cdot\text{c}/\text{м}$ ), що як правило відбувається при високій вантажонапруженості  $\Gamma_i \geq 80 \div 100$  (млн.  $\text{т}\cdot\text{км}/\text{км}$  за рік). Порівняно із середньосітовими умовами експлуатації на українських залізницях ( $\Gamma_i \approx 31 - 50$  млн.  $\text{т}\cdot\text{км}/\text{км}$  за рік) при вказаних експлуатаційних умовах високої вантажонапруженості, величина нормативного пропущеного тоннажу по хрестовинам стрілочних переводів може зменшуватись в  $2,5 \div 2,8$  разів (як по вусовикам, так і по осердям), саме так може зменшуватись і нормативний строк служби хрестовин.

8. Порівняльний аналіз виконаних досліджень по зносостійкості елементів хрестовин, які експлуатуються на коліях метрополітену та на коліях магістрального транспорту в кінцевому результаті показує, що відношення інтенсивностей зносу поверхні кочення хрестовин (по осердю) типу Р65 1/9 в метрополітені до хрестовин такого ж типу і марки (Р65 1/9), що експлуатуються в коліях Укрзалізниці, практично точно відповідає відношенню їх комплексних характеристик експлуатаційних умов  $U_{\text{вз}}/U_{\text{метро}}$ .

Тобто, комплексну характеристику експлуатаційних умов  $U \left( \frac{\kappa\text{H}\cdot\text{c}}{\text{м}} \right)$  можна застосовувати для оцінки і прогнозування зносостійкості хрестовин для суттєво різних умов експлуатації, які відрізняються від типових умов магістральних залізничних колій.

## РОЗДІЛ 5

### ГАРАНТІЙНІ СТРОКИ СЛУЖБИ СТІЛОК І ХРЕСТОВИН СТІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ ТА ЇХ ПРОГНОЗУВАННЯ

#### **5.1 Загальні поняття про надійність колії та гарантійні строки служби стрілок і хрестовин**

Сучасна залізнична колія та її окремі складові мають обґрунтоване і перевірене в умовах експлуатації конструктивне улаштування та необхідний запас міцності. Однак, безвідмовних конструкцій колії немає навіть при високій якості їх виготовлення та укладання, оскільки в процесі інтенсивної експлуатації в колійних конструкціях накопичуються місцеві втомлювальні, зносіві та деформативні пошкодження, які обумовлюють їх часткові та повні відмови. При цьому доказано [113], що швидкість розвитку усіх процесів, які викликають відмови колії, нелінійно зростає зі збільшенням напрацювання пропущеного тоннажу. У свою чергу, залізницям дуже важливо мати механізми оцінки експлуатаційної надійності колії для можливості нормування технічного ресурсу (напрацювання на відмову) колійних конструкцій.

Надійність колії – це її властивість зберігати у встановлених межах значення параметрів, які характеризують здатність колії виконувати необхідні функції в заданих умовах експлуатації і технічного обслуговування [113, 114].

Гарантійні строки служби стрілок і хрестовин характеризують якість виготовлення конструкцій на заводах та їх надійність на початковому етапі експлуатації в колії (за умов технічно правильної експлуатації) і встановлюють для висунення та розгляду претензій до виготовленої продукції між покупцем та постачальником. Гарантійні строки служби встановлюють за погодженням Замовника (АТ Українська залізниця) і виробника (заводу).

Гарантійні строки служби стрілок і хрестовин встановлюють за критерієм накопичення дефектів на їх конструктивних елементах: рамних рейках і вістряках – в стрілках і на осердях та вусовиках – в хрестовинах.

Гарантійні строки служби вимірюють величиною гарантованого мінімального пропущеного по стрілках і хрестовинах тоннажу або гарантованим мінімальним строком експлуатації (у роках) цих елементів у безаварійному режимі. Це означає, що протягом гарантійного строку стрілки або хрестовини (при експлуатації їх в колії відповідно до вимог «Інструкції з улаштування та утримання колії залізниць України» [85]) всі конструктивні елементи повинні працювати без зламів й інших дефектів, що порушують їх нормальну експлуатацію, при цьому розміри їх вертикального зносу до моменту пропуску гарантованого мінімального тоннажу – не повинні перевищувати граничних допусків, які встановлені цією ж інструкцією.

Вказаний гарантований мінімальний пропущений тоннаж можна визначати експериментальними або статистичними дослідженнями роботи стрілочних переводів в експлуатаційних умовах як ймовірність безвідмовної роботи елементів конструкції стрілок і хрестовин без появи недопустимих дефектів або пошкоджень.

Методика визначення гарантійних строків служби стрілок і хрестовин наведена в § 5.2. Там також наведено графік імовірності безвідмовної роботи стрілок і хрестовин для конструкцій, що розглядаються.

Досягнення рейковими елементами стрілок або хрестовин граничного бокового зносу не вважається гарантійним випадком, оскільки це явище не є показником якості виготовлення продукції (за умов виконання технічних нормативів якості виробів і технології виробництва), а лише може бути показником порушень технічних норм експлуатації стрілочних переводів.

Допустимий рівень дефектності і пошкоджень регламентований «Класифікацією і каталогом дефектів і пошкоджень елементів стрілочних переводів» [87].

Допустимим у період гарантійної експлуатації вважається такий рівень дефектності або пошкоджень, при якому дозволяється експлуатувати конструкцію без обмеження встановлених швидкостей руху поїздів для даної ділянки. (При цьому розуміється, що технічні характеристики стрілочного переводу повинні відповідати умовам експлуатації).

Поява у період гарантійної експлуатації гостродефектних елементів або дефектів елементів, що потребують їх заміни, неприпустима. У разі їх появи вважається, що строк гарантійної експлуатації не витриманий.

Методика виявлення дефектів і пошкоджень елементів стрілочних переводів наведена в [87].

Гарантійні строки служби стрілок і хрестовин стрілочних переводів встановлюють величину гарантованого мінімального пропущеного по них тоннажу (млн. т бруто) або гарантований мінімальний строк їх експлуатації (у роках), протягом якого стрілки та хрестовини (при експлуатації й поточному утриманні їх в колії відповідно з технічними нормативами [85, 90] повинні працювати в безаварійному режимі без зламів та інших дефектів, які позначені в [87], і є такими, що порушують нормальну експлуатацію цих конструкцій. При цьому розміри вертикального зносу стрілок і хрестовин упродовж гарантійного строку служби не повинні перевищувати граничних допусків, наведених в табл. 4.1 (див. § 4.2) (відповідно до типу рейок, характеристики колії та встановлених швидкостей руху поїздів).

## **5.2 Методика визначення гарантійних строків служби стрілок і хрестовин**

### **5.2.1 Системний підхід до встановлення норм тривалості експлуатації елементів залізничної колії**

При встановленні нормативних та гарантійних строків служби стрілок та хрестовин стрілочних переводів фактичні дані про їхню працездатність в різних експлуатаційних умовах різних транспортних систем (магістральних залізниць, метрополітенів) беруться з різних форм звітності. Особливістю отриманих таким чином даних є недосконала форма вихідних документів, в яких часто відсутні об'єктивні дані по вантажонапруженості, пропущеному тоннажу, швидкостях руху поїздів, переважних напрямках руху тощо. Враховуючи відсутність АСУ «Колійне господарство» та єдиної електронної бази даних про

стан стрілочних переводів в межах Укрзалізниці, окремих залізниць та метрополітенів зібрана інформація містить певні прогалини та неточності, що потребує особливого підходу до обробки даних. Тому для зменшення впливу деяких неточностей при обробці звітної інформації про працездатність стрілок та хрестовин стрілочних переводів в різних умовах експлуатації на достовірність кінцевих результатів про визначення гарантійних строків служби стрілок і хрестовин в даній дисертаційній роботі був прийнятий особливий «системний підхід» до обробки і аналізу фактичних даних про працездатність стрілок та хрестовин в різних експлуатаційних умовах різних транспортних систем.

«Системний підхід» – напрямок методології наукового пізнання, в основі якого лежить розгляд об'єкта як системи: цілісного комплексу взаємопов'язаних елементів [116].

Основні принципи системного підходу [117]: цілісність – дозволяє розглядати систему одночасно як єдине ціле і водночас як підсистему складових рівнів; ієрархічність будови – наявність множини елементів, розміщених на основі підпорядкування елементів нижчого рівня елементам вищого рівня. Структуризація – дозволяє аналізувати елементи системи, їх взаємозв'язок в рамках конкретної організаційної структури; множинність – дозволяє використовувати множину економічних, математичних та інших моделей для опису окремих елементів та системи в цілому; системність – властивість об'єкта мати всі ознаки системи.

Таким чином, системний підхід для отримання більш достовірних результатів вимагає врахування максимально можливого обсягу статистики попередніх періодів функціонування системи, а також безумовного забезпечення безпеки руху поїздів. З точки зору забезпечення безпеки руху поїздів по стрілочних переводах можна прийняти загальну схему розподілу стану безпеки та часу її збереження запропоновану професором В.М. Самсонкіним [118] (рис. 5.1).

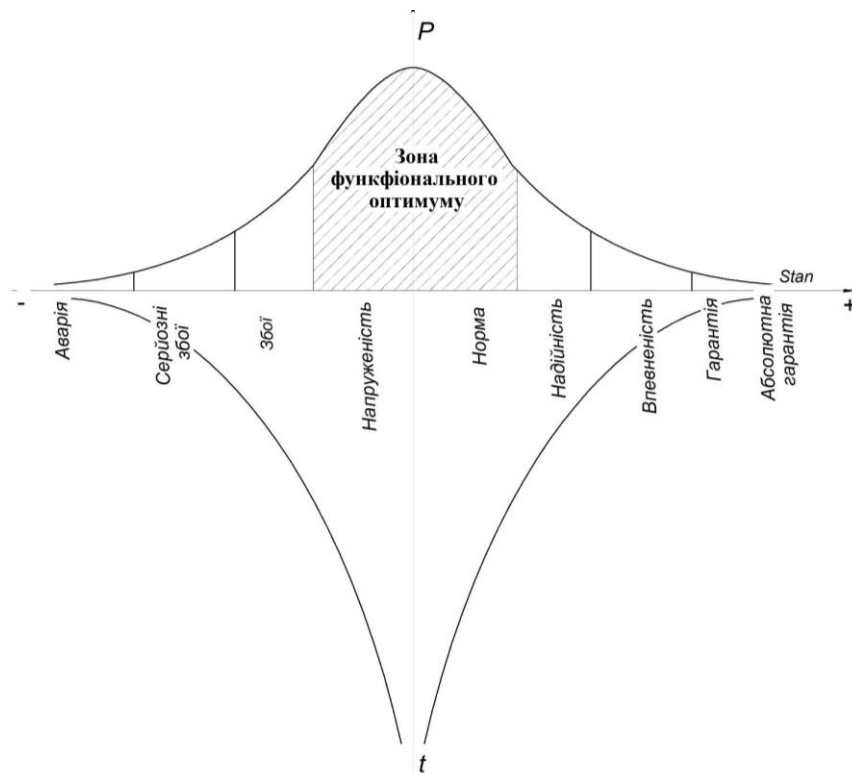


Рис. 5.1 Розподіл станів безпеки та часу її збереження

На рис. 5.1 позначено:

$P$  – ймовірність;

$t$  – час перебування транспортної системи у відповідному стані;

$Stan$  – стан залізничної системи залежно від умов дотримання безпеки руху

(«+» – «позитивні» стани; «-» – «негативні» стани).

Зважаючи на вищесказане гарантійні терміни служби елементів стрілочних переводів повинні вписуватись у відповідні діапазони станів даної технічної системи.

### 5.2.1.1 Основні засоби математичної статистики, що використовуються в дисертаційному дослідженні

В даній дисертаційній роботі інструментарій математичної статистики було застосовано для встановлення гарантійних термінів служби стрілок та хрестовин стрілочних переводів. Було обрано теорію статистичного висновку

для опрацювання сукупності даних як основний метод математичної статистики для передбачення результатів за даними обстеження вибірок.

Числові показники, що характеризують генеральну сукупність називають параметрами, а вибірку – вибірковими характеристиками, які є наближеними оцінками генеральних параметрів. Всі ці величини випадкові.

В дисертації використовуються наступні описові характеристики вибірок:

- середнє арифметичне або вибіркова середня статистичної вибірки з генеральної сукупності

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad (5.1)$$

- дисперсія

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}, \quad (5.2)$$

- середньоквадратичне відхилення

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}, \quad (5.3)$$

- асиметрія

$$A_s = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{N \cdot \sigma^3}, \quad (5.4)$$

- ексцес розподілу

$$E_x = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4}{N \cdot \sigma^4} - 3. \quad (5.5)$$

Дані характеристики є оцінками генеральних параметрів, котрі зазвичай залишаються невідомими.

При встановленні ресурсу роботи стрілок та хрестовин стрілочних переводів необхідно опиратися на такі характеристики надійності як безвідмовність і довговічність.

Безвідмовністю будемо вважати працездатність протягом деякого напрацювання тоннажу без вимушених перерв. Вона може характеризуватися такими числовими показниками як ймовірність і середня тривалість безвідмовної роботи, частота та інтенсивність відмов та середній час роботи між відмовами.

Довговічністю є здатність до тривалої експлуатації при необхідному технічному обслуговуванні. Відмови можуть бути незворотними, тоді довговічність відповідатиме середній тривалості безвідмовної роботи.

В якості теоретичних законів розподілу напрацювання до відмови можуть бути використані різні безперервні розподіли, що застосовуються в теорії ймовірності та математичні статистиці. Найбільш поширеними законами розподілу відмов об'єктів, що застосовують для елементів колії є: експонентний, нормальний, зрізаний нормальний, Вейбулла, Релея та інші.

Розглянемо загальну схему формування відмови об'єкта [119], що відбиває імовірнісний характер процесів, що приводять відмови, на всіх етапах роботи стрілочних переводів (рис. 5.2). Спочатку має місце розсіювання початкових значень вихідних параметрів об'єкта (стрілки, хрестовини)  $X(t)$  (міцнісні характеристики, прямолінійність, розкид значень твердості), що характеризується функцією  $f_a(a)$  щільності розподілу випадкової величини  $A = X(0)$  – початкового значення вихідного параметра  $X(t)$  при  $t=0$  ( $\bar{a} = MA$  – математичне очікування випадкової величини  $A$ ). Наявність розсіювання початкових значень вихідного параметра пов'язане з погрішностями виготовлення, вплив яких проявляється відразу ж, на початку застосування об'єкта за призначенням. Вплив процесів середньої й повільної швидкості, на

значення вихідних параметрів об'єкта в загальному випадку позначається через якийсь час затримки  $T_B$ . (деякий пропущений тоннаж), що також є випадковою величиною, що характеризується законом щільності розподілу  $f_{tB}(t_B)$ .

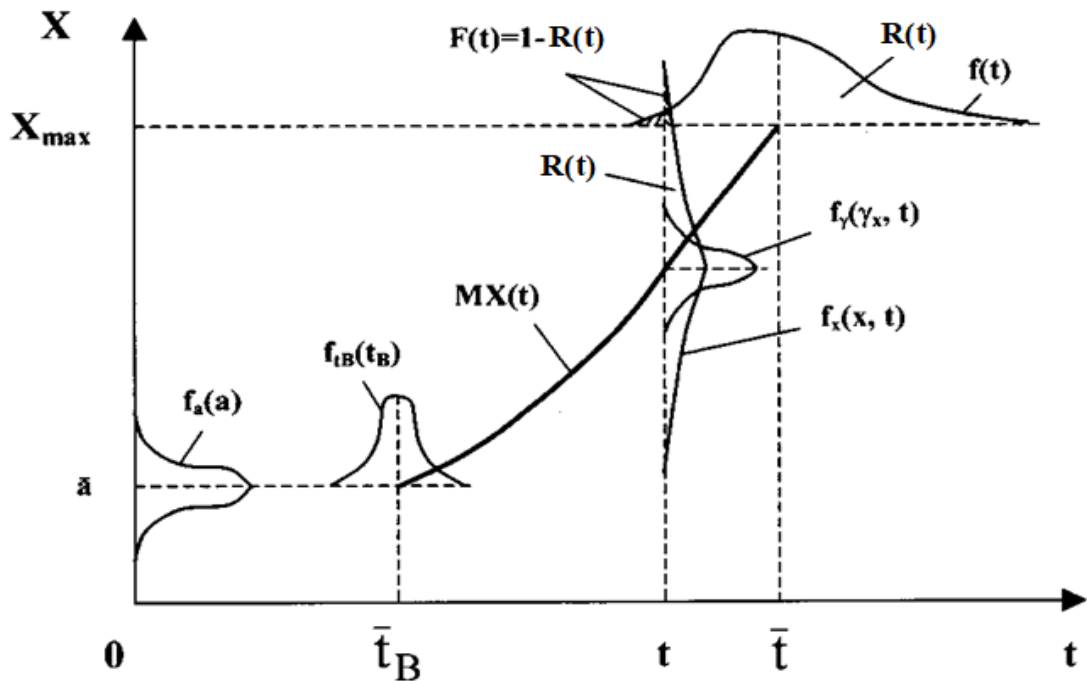


Рис. 5.2 Загальна схема формування відмови

Процес зміни вихідного параметра  $X(t)$  при  $t > T_B$  характеризується швидкістю зміни вихідного параметра  $\gamma_x = d/dt$ , що також є випадковою величиною, що характеризується функцією щільності розподілу  $f_\gamma(\gamma_x, t)$  у загальному випадку залежної від параметру  $t$  – часу (пропущеного тоннажу).

У поточний момент часу  $t$  (або після напрацювання певного тоннажу) розсіювання випадкової величини  $X$  характеризується функцією щільності розподілу  $f_x(x, t)$ , що також залежить від параметра  $t$ . Імовірність відмови об'єкта в розглянутий момент часу (наробітку)

$$F(t) = \int_{X_{\max}}^{\infty} f_x(x, t) dx \quad (5.6)$$

Тоді імовірність безвідмовної роботи складе:

$$R(t) = 1 - F(t) = \int_0^{X_{\max}} f_x(x, t) dx = \int_1^{\infty} f(t) dt \quad (5.7)$$

де  $f(t)$  – функція щільності розподілу випадкової величини  $\theta_1$  – наробітку об'єкта до відмови.

В теорії надійності відмова розглядається як випадковий процес. Під відмовою розуміють подію, при якій повністю або частково порушується працездатність об'єкта. У нашому випадку повна відмова це таке порушення стану залізничної колії (зокрема елементів стрілочних переводів), при якому вона не може виконувати свої експлуатаційні функції, тобто повністю порушується рух поїздів, наприклад злам хрестовини. Часткова відмова потребує зменшення швидкості руху поїздів, наприклад різного роду відшарування та викришування на поверхні кочення.

Відомо, що за характером зміни вихідного параметру об'єкта відповідно до теорії надійності усі відмови можна розподілити на:

- поступові відмови;
- раптові відмови.

Поступові відмови виникають у результаті поступового протікання того чи іншого процесу пошкодження, який прогресуючи, погіршує міцнісні характеристики хрестовин, вістряків чи рамних рейок. Прикладом таких відмов служать механічний знос вусовиків хрестовин або рамних рейок, розвиток дефектів контактно втомного походження, корозійно-механічні, ерозійні, корозійні та інші явища, які змінюють форму або фізико-механічні властивості металу. Основною ознакою поступової відмови є монотонно зростаючий характер залежності інтенсивності відмов від наробітку хрестовин або стрілок. Для оцінки надійності елементів, при наявності поступових відмов найбільш часто використовується нормальний закон розподілу. Щільність нормального закону розподілу, як відомо, визначається як:

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(t-\bar{t})^2}{2\sigma^2}} \cdot R(t) = P(\theta_1 \geq t) = 0,5 - \Phi\left(\frac{t-\bar{t}}{\sigma}\right), \quad (5.8)$$

де  $\bar{t}$  – середній наробіток до відмови;

$\sigma$  – середньоквадратичне відхилення наробітки до відмови;

$$\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_0^z e^{-\frac{z^2}{2}} dz - \text{функція Лапласа.}$$

Раптові відмови виникають у результаті сполучення ряду чинників та випадкових зовнішніх впливів, які перевищують здатність об'єкта до їх сприйняття. Вони можуть виникати наприклад в умовах несподіваного динамічного впливу рухомого складу, порушень поточного утримання, технології виконання робіт та інших чинників, зумовлених відхиленнями від нормативних вимог. Раптові відмови практично неможливо контролювати в діючій колії. До раптових відмов можна віднести момент зародження мікротріщин втомного характеру у головці рамних рейок або на хрестовинах, сюди ж можна віднести різного виду крихкі злами металевих елементів стрілочних переводів.

Для моделювання раптових відмов використовують експоненційний закон розподілу, основні характеристики якого визначаються як  $R(t) = e^{-\lambda t}$ ;  $R(t) = 1 - R(t) = 1 - e^{-\lambda t}$ ;  $f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$ .

### **5.2.2 Визначення ймовірності безвідмовної роботи елементів конструкцій стрілок і хрестовин на базі експлуатаційних спостережень**

Основи методики і основні результати визначення гарантійних строків служби стрілок і хрестовин для стрілочних переводів вітчизняного виробництва прийняті автором дисертації відповідно до розробок кафедри залізничної колії та колійного господарства ДУІТ, які були виконані за замовленням

ЦП Укрзалізниці [90] під керівництвом д.т.н., професора Даніленка Е.І., і в даній роботі автор брала безпосередню участь як виконавець в складі наукового колективу.

Гарантійні строки служби стрілок і хрестовин стрілочних переводів встановлюють величину гарантованого мінімального пропущеного по них тоннажу (млн. т брутто) або гарантований мінімальний строк їх експлуатації (у роках), протягом якого стрілки та хрестовини під час експлуатації й поточному утриманні їх в колії повинні працювати в безаварійному режимі без зламів та інших дефектів, що порушують нормальну експлуатацію цих конструкцій. Такі дефекти позначені в [87].

Методика визначення гарантійних строків служби стрілок і хрестовин (також як при визначенні нормативних строків служби) передбачає аналіз та статистичну обробку результатів широкомасштабних експлуатаційних спостережень за роботою стрілочних переводів в колії на українських залізницях протягом всього періоду експлуатації аж до їх вилучення з колії. При тому, головною метою такого аналізу є встановлення кількості та інтенсивності накопичення недопустимих дефектів або пошкоджень на конструктивних елементах стрілок і хрестовин, які порушують нормальну експлуатацію стрілочних переводів. Для аналізу роботи стрілочних переводів в колії були взяті дані експлуатаційних спостережень для всіх залізниць України за період 2012-2021 р.р.

У якості вихідних даних для дослідження бралися звідні таблиці по усіх регіональних філіях Укрзалізниці, у які внесена інформація відповідних звітних форм, що ведеться дистанціями колії. Оскільки масові дані наводити в даній роботі недоцільно, то для прикладу в таблицях 5.1, 5.2 представлено деякі фрагменти такої звідної інформації.

З метою найбільш правильної оцінки результатів досліджень дані, що отримані для кожного типу і марки стрілочних переводів, піддавались статистичній обробці окремо для кожного з елементів конструкцій (в стрілках

окремо оброблялись рамні рейки та вістряки; в хрестовинах окремо обробляються вусовики та осердя), при цьому конструкції, що розглядались, були диференційовані за експлуатаційними умовами, тобто за пропущеним тоннажем та вантажонапруженістю, відповідно до типової класифікації нормативних документів [111, 112] (відповідно для інтервалів вантажонапруженості у млн т км/км брутто за рік: 5–15; 15,1–30,0; 30,1–50,0; 50,1–80,0; понад 80).

Таблиця 5.1

## Інформація про стрілки, що були вилучені з колії

№ з/п	Найменування станції	№ стрілочного переводу	№ проєкту стрілочного переводу	Тип переводу	Марка переводу	Переважний напрямок руху	Призначення колії	Радіус кривої для СП, що лежить у кривій ділянці	Матеріал брусів	Встановлена швидкість, прямий/боковий напрям	Вантажонапруженість	Стрілка					
												Дата укладання	Прямий або боковий вістряк	Завод-виробник	Дата вилучення	Причина вилучення	Пропущений тоннаж на момент вилучення
1	Мерефа	58	1740	P65	1/11	ПРШ	гол		з.б	40/40	3,3	01.02.1999	бок	ДнСЗ	08.08.2018	деф. 14.1	86,3
2	Безпалівка	9	1740	P65	1/11	бок.	гол		з.б	100/40	10,1	26.03.2008	бок	ДнСЗ	04.05.2017	ДУ 14.2	64,98
3	Трійчате	5	1740	P65	1/11	пр.	гол		з.б	100/40	11,1	13.04.2006	бок	ДнСЗ	15.03.2017	ДС 37.2	77,38
4	Бірки	11	1740	P65	1/11	бок.	гол		з.б	80/15	10,1	02.03.2008	бок	ДнСЗ	27.01.2018	ДУ 12,5	90,4
5	Безлюдівський парк	10	1740	P65	1/11	50/50	гол		з.б	100/40	19,9	06.05.2006	бок	ДнСЗ	25.10.2016	Р.17.1	178,3
6	Безлюдівський парк	110	1740	P65	1/11	50/50	гол		з.б	100/40	42	05.08.2015	бок	А	08.09.2016	ДО.14.1	55,6
7	Новожанове	1	1740	P65	1/11	50/50	гол		з.б	60/40	5,5	01.12.2014	бок	А	03.03.2016	О.44.2	655,6
8	Новожанове	4	1740	P65	1/11	50/50	гол		з.б	60/40	33,5	07.08.2015	бок	А	28.07.2016	ДО.14.1	80,5
9	Основа	300	1740	P65	1/11	50/50	гол		з.б	60/40	33,5	25.05.1998	прямий	ДнСЗ	24.11.2017	Р.17.1	1119,3
10	Основа	340	1740	P65	1/11	50/50	гол		з.б	60/40	40,1	26.08.2014	бок	ДнСЗ	15.08.2016	Р.17.1	245,5
11	Основа	302	1740	P65	1/11	50/50	гол		з.б	60/40	34,3	25.10.2012	бок	А	12.08.2016	Р.17.1	145,6
12	Основа	336	1740	P65	1/11	50/50	гол		з.б	100/40	38,6	21.09.2008	бок	А	27.11.2017	О.17.2	190,1
13	Основа	354	1740	P65	1/11	50/50	гол		з.б	100/40	33,5	31.10.2006	бок	А	13.10.2016	Р.17.1	250,5
14	Люботин	16	1740	P65	1/11	пр.	гол		з.б	40/25	3,7	25.11.2016	прямий	ДнСЗ	27.11.2017	ДР 21.2	76,2
15	Люботин	23	1740	P65	1/11	пр.	гол		з.б	60/40	41,6	14.07.2010	прямий	ДнСЗ	24.11.2017	ДР 21.2	360,7
16	Люботин	27	1740	P65	1/11	пр.	гол		з.б	60/40	41,6	12.07.2010	прямий	ДнСЗ	01.12.2017	ДР 21.2	364,9
17	Свинківка	7	1740	P65	1/11	пр.	гол		з.б	100/40	34,63	01.03.2002	бок	ДнСЗ	29.01.2018	ДР 17.1	516,4
18	Божкове	2	Дн 345	P65	1/11	пр.	гол		з.б	100/40	34,63	11.06.2012	прямий	ДнСЗ	16.04.2018	Мал..26.6	202,4
19	Водяна	8	1740	P65	1/11	пр.	гол		з.б	100/40	34,63	28.01.2002	прямий	ДнСЗ	25.06.2018	ДР 17.1	500,1
20	Водяна	10	1740	P65	1/11	пр.	гол		з.б	100/40	34,63	21.12.2017	прямий	ДнСЗ	26.06.2018	ДР 21.2	63,3
21	Коломак	1	1740	P65	1/11	пр.	гол		з.б	100/40	21,93	26.09.2008	прямий	ДнСЗ	22.08.2018	ДР 21.2	247,1
22	Коломак	24	1740	P65	1/11	пр.	гол		з.б	100/40	34,63	25.12.2008	прямий	ДнСЗ	28.09.2018	ДР 21.2	294
23	Люботин	3	1740	P65	1/11	пр.	гол		з.б	60/40	40,4	10.05.2013	прямий	ДнСЗ	02.11.2018	ДР 21.2	238
24	Люботин-Західний	23	1740	P65	1/11	пр.	гол		з.б	100/25	34,63	09.09.2011	прямий	ДнСЗ	20.09.2018	ДР 21.2	242,3
25	Огульці	13	1740	P65	1/11	пр.	гол		з.б	100/40	34,63	11.07.2007	бок	ДнСЗ	04.01.2018	ДО 14.2	366,8
26	Полтава-Південна	29	2215	P65	1/9	ППШ, ППРШ	гол		з.б	40	6,4	10.07.1999	бок	ДнСЗ	16.02.2017	ДО14.1	115
22	Основа Станц. парк	546	2497	P50	1/11	50/50	гол		дер	40/25	6,5	01.12.2014	бок	А	22.08.2016	ДР.44.2	155,5
28	Основа Станц. парк	546	2497	P50	1/11	50/50	гол		дер	40/25	6,5	22.08.2016	бок	ДнСЗ	09.10.2018	Р.17.1	103,3
29	Основа Станц. парк	560	2497	P50	1/11	50/50	гол		дер	40/25	5,5	01.12.2014	бок	А	22.08.2016	ДР.44.2	155,5
30	Основа Станц. парк	566	2497	P50	1/11	50/50	гол		дер	40/40	6,5	25.06.2011	прямий	ДнСЗ	27.02.2018	О.44.2	351,7
31	Лозова	70	Дн 365	P65	1/18	Б	гол		дер	50/40	105,7	16.12.2012	бок	ДнСЗ	05.01.2018	бок.зн	99,84
32	Лозова	18	Дн 365	P65	1/18	Б	гол		дер	50/40	59,7	04.02.2012	прямий	ДнСЗ	10.01.2018	бок.зн	274
33	Зелений Колодязь	6	Дн 365	P65	1/18	50/50	гол		з.б	80/80	7,8	02.04.2015	бок	ДнСЗ	10.01.2018	знос	28
34	Зелений Колодязь	6	Дн 365	P65	1/18	50/50	гол		з.б	80/80	7,8	14.08.2014	прямий	ДнСЗ	10.01.2018	знос	33,8

Таблиця 5.2

## Інформація про хрестовини, що були вилучені з колії

№ з/п	Найменування станції	№ стрілочного перевалу	№ проекту стрілочного перевалу	Тип перевалу	Марка перевалу	Переважаючий напрямок руху	Призначення колії	Радіус кривої для СП, що лежить у кривій ділянці	Матеріал брусів	Встановлена швидкість, прямий/боковий напрям	Вантажонапруженість	Хрестовина					
												Дата укладання	Конструкція	Завод-виробник	Дата вилучення	Причина вилучення	Пропущений тоннаж на момент вилучення
1	Харків-Пас. Парк"Н"	128	2215	P65	1/9	ПРШ	гол		з.б	40/25	15,2	08.04.2011	ЗБЛ	ДСЗ	22.07.2016	знос усовика	76
2	Нова Баварія	16	2215	P65	1/9	бок.	гол		з.б	60/25	3,3	10.07.2008	ЗБЛ	КСЗ	25.01.2016	Д 18.2	26,4
3	Мерефа	47-41	1580	P65	2/9	бок.	гол		з.б	40/25	16,1	11.11.2013	ЗБЛ	ДСЗ	20.05.2016	Д.ДУ14.2 h-2мм.	48,3
4	Нова Баварія	19	1740	P65	1/11	ПР	гол		з.б	40/25	15	14.06.2007	ЛС	ДСЗ	16.09.2016	знос осердя	135
5	Харків-Пас.	1	Дн290	P65	1/11	ПРШ	гол		з.б	25/25	3,7	12.06.2006	ЛС	ДСЗ	23.06.2011	знос осердя	18,5
6	Харків-Сортувальний	26	1740	P65	1/11	ПРШ	гол		з.б	40/25	3,5	14.04.2010	ЛС	ДСЗ	09.09.2016	Д.ДУ18.2	21,2
7	Харків-Пас.	170	1740	P65	1/11	бок.	гол		дер/з.б	25/25	8,3	10.01.2008	ЛС	ДСЗ	13.09.2016	Д.ДУ12.5	66,4
8	Харків-Сортувальний	21	1740	P65	1/11	бок.	гол		з.б	25/25	3,7	02.07.2013	ЗБЛ	ДСЗ	08.09.2016	Д.ДУ12.5	11,1
9	Нова Баварія	12	1740	P65	1/11	пр.	гол		з.б	40(60) / 25	21,5	10.09.2011	ЛС	ДСЗ	07.09.2016	знос осердя	107,5
10	Харків-Пас. Парк"Н"	30	1740	P65	1/11	бок.	гол	915	дер	40/40	15,8	19.10.2015	ЛС	ДСЗ	08.09.2016	бок. знос вусовика	14
11	Харків-Пас.	3	1740	P65	1/11	пр.	гол		з.б	60/25	0,01	11.04.2006	ЛС	ДСЗ	13.09.2016	бок. знос вусовика	0,1
12	Люботин	1А	1740	P65	1/11	бок.	гол		з.б	60/40	4,5	15.02.2003	АС	ДСЗ	10.09.2016	знос осердя	58,6
13	Харків-Пас.	204	1740	P65	1/11	ПРШ	гол		з.б	25/25	6,4	13.04.2010	ЛС	ДСЗ	02.03.2016	Д.ДУ 12.5	38,4
14	Нова Баварія	1	2889	P65	1/11	бок.	гол		дер	25/25	33,7	14.01.2014	ЛС	ДСЗ	18.10.2016	знос осердя	101,1
15	Люботин	3А	1740	P65	1/11	бок.	гол		з.б	60/40	4,5	12.10.2003	ЛС	ДСЗ	03.02.2017	знос осердя	58,5
16	Нова Баварія	38	1740	P65	1/11	бок.	гол		з.б	40/25	40,4	01.11.2013	ЛС	КСЗ	01.02.2017	знос осердя	161,6
17	Харків-Пас.Парк"Н"	46	1740	P65	1/11	бок.	гол		з.б	40/40	6,8	16.02.2009	ЛС	ДН	19.02.2018	знос осердя	62,4
18	Мерефа	35	1740	P65	1/11	ПРШ	гол		з.б	60/40	13,9	15.04.2004	ЛС	ДН	19.02.2018	знос осердя	194,6
19	Харків-Пас.	164	1740	P65	1/11	ПРШ	гол		з.б	25/25	8,3	24.04.2008	ЗБЛ	ДСЗ	22.03.2018	знос осердя	83,6
20	Нова Баварія	62	1740	P65	1/11	пр.	гол		з.б	40/25	40,4	03.07.2012	ЗБЛ	ДСЗ	28.03.2018	знос осердя	242,3
21	Краснопавлівка	36	1740	P65	1/11	бок.	гол		з.б	120/40	10,1	28.08.2011	лс	ДНС	03.03.2017	Д12.14	102,5
22	Біляївка	5	1740	P65	1/11	бок.	гол		з.б	80/40	11,1	15.01.2010	лс	ДНС	12.03.2017	Д12.5	125,3
23	Лихачове	4	2433	P65	1/11	бок.	гол		дер	120/25	11,1	13.08.2011	лс	ДНС	29.02.17	ДС12.5	113,6
24	Лихачове	12	1740	P65	1/11	бок.	гол		з.б	120/40	11,1	12.09.2014	лс	ДНС	11.02.2018	ДС14.2	89,25
25	Лихачове	5	1740	P65	1/11	бок.	гол		з.б	120/40	11,1	13.12.2010	лс	ДНС	29.11.2016	ДС14.2	109,6
26	Лихачове	3	1740	P65	1/11	бок.	гол		з.б	120/40	11,1	13.08.2009	лс	КСЗ	13.07.2018	ДС14.0	150,7
22	Новожанове	3	2433	P65	1/11	50/50	гол	595	дер	60/40	32	2012	лс	А	18.05.2018	ДУ.12.5	201,3
28	Новожанове	2	1740	P65	1/11	50/50	гол		з.б	60/40	34,9	2012	лс	Д	29.03.2018	знос	445,9
29	Новожанове	2а	1740	P65	1/11	50/50	гол		з.б	60/40	17,1	2015	лс	К	07.02.2017	знос	80
30	Новожанове	5	2433	P65	1/11	50/50	гол		дер	60/40	30,2	2014	лс	Д	12.10.2018	знос	75
31	Основа	338	1740	P65	1/11	50/50	гол		з.б	100/40	45,9	2011	лс	А	16.02.2017	ДУ.12.5	422,5
32	Основа	376	1740	P65	1/11	50/50	гол		з.б	100/40	53,5	2012	лс	А	29.05.2018	ДС.13.2	250,5
33	Безлюдівський парк	22	1740	P65	1/11	50/50	гол		з.б	100/40	32,1	2008	лс	К	21.06.2016	ДУ.12.5	145,5
34	Безлюдівський парк	110	1740	P65	1/11	50/50	гол		з.б	100/40	10	2012	лс	к	17.06.2016	знос	50

В результаті математично-статистичної обробки результатів експлуатаційних досліджень визначено математичну імовірність безвідмовної роботи за дефектами  $R(t)$  кожного з розглянутих елементів конструкцій стрілочних переводів: в стрілках – рамних рейок та вістряків; в хрестовинах – вусовиків та осердь.

При проведенні розрахунків було дотримано такого порядку:

1. Дані вибірки групуються в інтервальні ряди розподілу за вантажонапруженістю та пропущеним тоннажем.
2. Визначаються параметри розподілу та імовірності теоретичного закону розподілу.
3. Підтверджується правильність обраного закону розподілу (критерій Пірсона, показник P-value).
4. Перевіряється відповідність теоретичного закону розподілу до значень вибірки.
5. Знаходиться ймовірність безвідмовної роботи стрілок та хрестовин стрілочних переводів.

Статистичній обробці підлягав дуже великий масив даних, що включав напрацювання тоннажу до відмови через виникнення дефектів для стрілочних переводів типів Р65 і Р50, марок 1/11 і 1/9, на дерев'яних та залізобетонних брусах. Для прикладу представимо аналіз вибірки вилучених через виникнення дефектів хрестовин після напрацювання тоннажу в діапазонах 100–150 млн т брутто та 150–200 млн т брутто, при вантажонапруженості  $\Gamma=5\text{--}30$  млн т км/км брутто за рік. Відповідно в таблицях 5.3 та 5.4 наведені дані статистичного аналізу, а на рисунках 5.3 та 5.4 вказані основні статистичні характеристики вибірок, гістограми і теоретичні криві розподілу.

Статистичну перевірку гіпотез відносно розподілів, тобто відповідність зібраних даних розподілу теоретичному закону розподілу, здійснено за допомогою критерію хі-квадрат Пірсона [120]. Додатково, у якості

альтернативної процедури перевірки, визначено показник P-value [121], який по суті є ймовірністю помилки при відхиленні нульової гіпотези (помилки першого роду). Для виконання розрахунків було використано редактор Microsoft Excel.

Таблиця 5.3

Статистична обробка вибірки при нарабітку 100–150 млн т брутто

$j$	$T_j$	$T_{j+1}$	$n_j$	$P_{теор-j}$	$n_{теор-j}$	$\chi^2$
1	100	102,5	6	0,06594	5,93	0,00072
2	102,5	107,5	9	0,05677	5,11	2,96213
3	107,5	112,5	8	0,08444	7,60	0,02108
4	112,5	117,5	10	0,11162	10,05	0,00021
5	117,5	122,5	9	0,13112	11,80	0,66467
6	122,5	127,5	12	0,13689	12,32	0,00829
7	127,5	132,5	6	0,12700	11,43	2,57973
8	132,5	137,5	11	0,10472	9,42	0,26331
9	137,5	142,5	6	0,07674	6,91	0,11892
10	142,5	147,5	7	0,04997	4,50	1,39241
11	147,5	150	6	0,05479	4,93	0,23152
Сума			90	1,00000	90,00	8,24299

Для підтвердження гіпотези про те, що вибірка даних близька до нормального розподілу розраховано критерій узгодженості Пірсона  $\chi^2=8,24$  (див. табл. 5.3). За даними таблиці критичних точок розподілу для заданого числа ступенів вільності  $k=10$  при рівні значущості 0,05 знаходимо  $\chi^2_{крит}=18,3$ . Оскільки  $8,24 < 18,3$ , то немає підстав для відхилення нульової гіпотези. Розрахований показник P-value складає 0,6051, що також підтверджує прийнятність нульової гіпотези.

Таблиця 5.4

Статистична обробка вибірки при нарабітку 150–200 млн т брутто

$j$	$T_j$	$T_{j+1}$	$n_j$	$P_{теор-j}$	$n_{теор-j}$	$\chi^2$
1	150	153	4	0,06561	3,94	0,00101
2	153	159	8	0,07245	4,35	3,06984
3	159	165	4	0,11373	6,82	1,16868
4	165	171	9	0,15003	9,00	0,00000
5	171	177	11	0,16629	9,98	0,10475
6	177	183	5	0,15489	9,29	1,98346
7	183	189	8	0,12123	7,27	0,07255
8	189	195	6	0,07973	4,78	0,30933
9	195	200	5	0,07604	4,56	0,04199
Сума			60	1,00000	60	6,75160

Аналогічно попередньому прикладу маємо:  $\chi^2=6,75$  (див. табл. 5.4);  $\chi^2_{\text{крит}}(0,05;8)=15,5$ . Оскільки  $\chi^2 = 6,75 < \chi^2_{\text{крит}} = 15,5$ , а також P-value = 0,5637, то немає підстав для відхилення нульової гіпотези про нормальний розподіл генеральної сукупності.

#### Statistics

Variable	Total Count	N	N*	CumN	Percent	CumPct	Mean	SE Mean	TrMean	StDev
T=100-150	90	90	0	90	100	100	124,32	1,53	124,20	14,48
Variable	Variance	CoefVar	Sum	Sum of Squares	Minimum	Q1	Median	Q3		
T=100-150	209,80	11,65	11189,17	1409755,91	100,20	111,90	125,05	136,70		
Variable	Maximum	Range	IQR	Mode	N for Mode	Skewness	Kurtosis	MSSD		
T=100-150	150,00	49,80	24,80	126	4	0,11	-1,09	0,33		

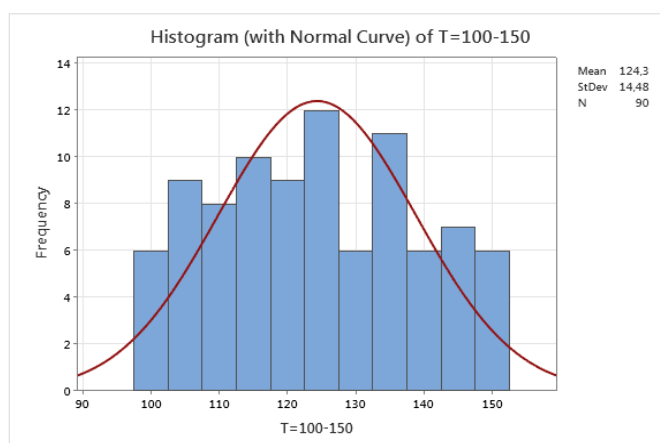


Рис. 5.3 Основні статистичні характеристики вибірки, гістограма і теоретична криві розподілу в інтервалі пропущеного тоннажу 100–150 млн т брутто

#### Statistics

Variable	Total Count	N	N*	CumN	Percent	CumPct	Mean	SE Mean	TrMean	StDev
T=150-200	60	60	0	60	100	100	174,55	1,84	174,59	14,28
Variable	Variance	CoefVar	Sum	Sum of Squares	Minimum	Q1	Median	Q3		
T=150-200	203,87	8,18	10473,00	1840090,65	150,40	162,01	174,40	188,75		
Variable	Maximum	Range	IQR	Mode	N for Mode	Skewness	Kurtosis	MSSD		
T=150-200	198,00	47,60	26,74	189	3	-0,05	-1,12	24,62		

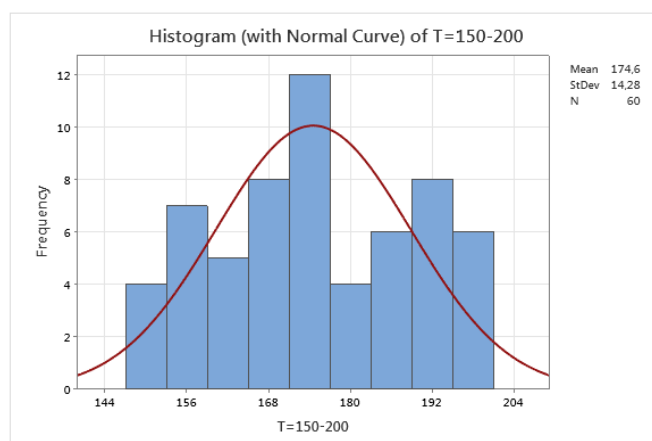


Рис. 5.4 Основні статистичні характеристики вибірки, гістограма і теоретична криві розподілу в інтервалі пропущеного тоннажу 150–200 млн т брутто

Аналогічним чином було опрацьовано увесь масив експлуатаційних даних по виходу за дефектністю стрілок та хрестовин стрілочних переводів у різних інтервалах вантажонапруженості і пропущеного тоннажу.

Таким чином, для елементів стрілочних переводів в межах відповідних інтервалів напрацювання тоннажу математична імовірність безвідмовної роботи  $R(t)$  розраховується відповідно формулі (5.7). Величина  $R(t)$  визначена для елементів конструкцій стрілок і хрестовин протягом всього періоду їх експлуатації в колії (від початкового етапу експлуатації аж до напрацьованого тоннажу 400÷500 млн. т брутто) для усіх основних конструкцій стрілочних переводів, що укладаються в головні та приймально-відправні колії на залізницях України. Заключні графіки імовірності безвідмовної роботи елементів конструкцій стрілочних переводів наведені на рис. 5.5, 5.6 і 5.7 для переводів типів Р65 і Р50 марок 1/11 і 1/9 на дерев'яних та залізобетонних брусах.

В кінцевому підсумку визначення гарантійних строків служби стрілок та хрестовин було запропоновано розраховувати як частку (%) від нормативного тоннажу ( $T_n$ ), тобто як імовірність безвідмовної роботи цих конструкцій без появи недопустимих дефектів або пошкоджень протягом гарантійного строку служби.

$$T_{\text{гарант}} = f(T_n) = R(t) \cdot T_n \quad (5.9)$$

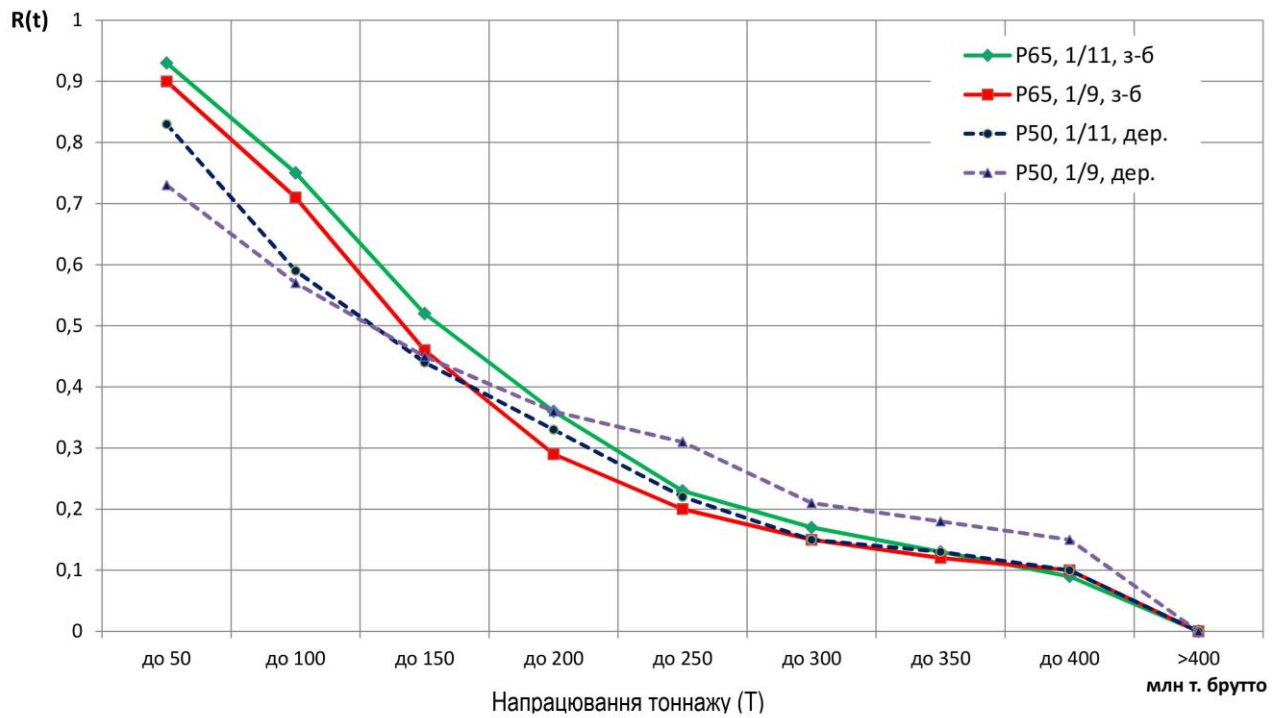


Рис. 5.5 Імовірність  $R(t)$  безвідмовної роботи хрестовин за дефектами (для P65 1/11, P65 1/9, P50 1/11, P50 1/9 на дерев'яних та залізобетонних брусах)

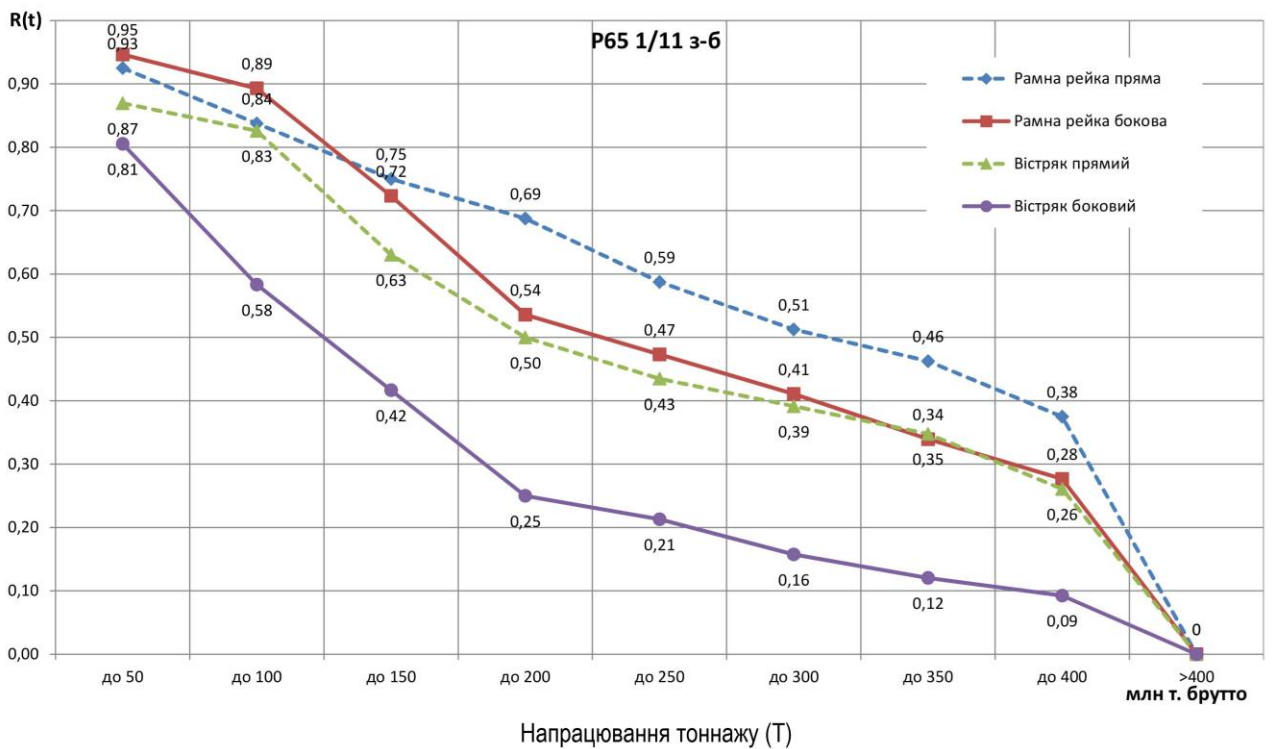


Рис. 5.6 Імовірність  $R(t)$  безвідмовної роботи рамних рейок і вістряків за дефектами (для стрілочних переводів P65 1/11 на з/б брусах)

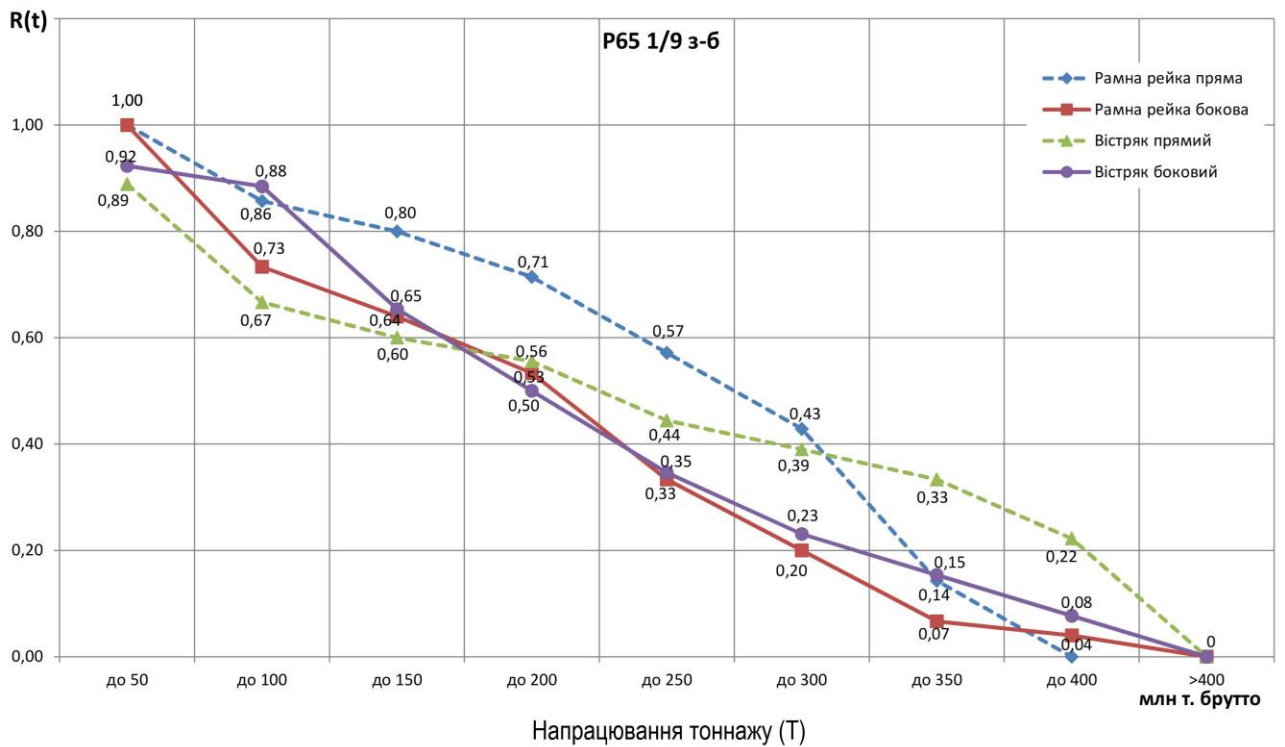


Рис. 5.7 Імовірність  $R(t)$  безвідмовної роботи рамних рейок і вістряків за дефектами (для стрілочних переводів Р65 1/9 на з/б брусах)

### 5.2.3 Встановлення коефіцієнтів впливу експлуатаційних факторів на гарантійні строки служби стрілок і хрестовин

При визначенні нормативних та гарантійних строків служби стрілочних переводів необхідно враховувати наступні фактичні дані про вихід з ладу елементів стрілочних переводів, які отримані сучасними та попередніми дослідженнями вчених України та СРСР [15, 23, 36, 37, 83, 93].

1. Середнє напрацювання в колії вістряків типу Р65 до їх вилучення із експлуатації (при середніх експлуатаційних умовах по інтенсивності руху) складає 150-160 млн. т. бруто пропущеного тоннажу, а рамних рейок 185-200 млн т бруто (при встановленому нормативному напрацюванні стрілок 300-320 млн т бруто). Тобто рамні рейки забезпечують безвідмовну роботу тільки у 62% випадків, а вістряки тільки в 52% випадків.

2. Середнє напрацювання в колії хрестовин до їх вилучення по зносу (при нормативному зносі 6 мм) при середньо мережевих експлуатаційних умовах по інтенсивності руху складає 80-125 млн. т. бруто.

3. Строк служби хрестовин, що вилучаються по дефектам в 2-2,5 рази менше строку служби хрестовин, що замінюються по зносу і складають 45 млн т бруто і менше; на момент досягнення нормативного напрацювання хрестовини забезпечують безвідмовну роботу (по дефектності) тільки в 65% випадків.

4. Із загальної кількості хрестовин, які замінюються, вихід по дефектам складає 35-40% , вихід по зносу складає 60% і більше (залежно від умов експлуатації).

5. Із загальної кількості виходу стрілочних переводів по дефектах на дефектні вістряки припадає приблизно 25%.

6. Підвищення навантаження на осі рухомого складу призводить до суттєвого зниження стійкості стрілок и хрестовин; так при збільшенні осьових навантажень від  $2P = 210$  кН до  $2P = 250$  кН стійкість хрестовин типу Р65 знижується в 1,7 рази.

7. Збільшення швидкості руху поїздів по стрілочним переводам від 50-60 км/год до 100-120 км/год тягне за собою зменшення строку служби хрестовин в 1,4-1,3 рази і строку служби стрілок в 1,3-1,2 рази.

8. При відхиленні абсолютно більшої частини вантажопотоку (понад 2/3) на боковий напрямок строк служби стрілок і хрестовин зменшується відповідно до коефіцієнтів, вказаних в табл. 5.9 для співвідношення вантажопотоків 25/75;

9. Імовірність безвідмовної роботи з'єднувальних рейок прямої колії вище ніж у рамних рейок приблизно у 1,5 рази, а з'єднувальних рейок бокової колії вище приблизно у 1,2-1,3 рази.

В даному параграфі надані результати визначення гарантійних строків служби основних несучих елементів стрілочних переводів вітчизняного виробництва у типів рейок Р65 та Р50 для різних марок хрестовин.

Нормативи розраховані для роздільного застосування: для стрілочних переводів на дерев'яних і залізобетонних брусах.

Нормативи розраховані з використанням методики, що викладена в попередньому розділі 5.2 і з урахуванням впливу експлуатаційних факторів на гарантійні строки служби стрілок і хрестовин, які викладені в зауваженнях розділу 5.2.2.

Гарантійні строки служби для основних несучих елементів стрілочних переводів типів Р65 і Р50 марок 1/18, 1/11, 1/9 і 1/6, які експлуатуються в головних та приймально-відправних коліях на дерев'яних брусах встановлюються за табл. 5.5 залежно від умов експлуатації і сторонності укладання цих елементів в стрілочному переводі.

Гарантійні строки служби для основних несучих елементів стрілочних переводів типів Р65 і Р50 марок 1/18, 1/11, 1/9 і 1/6, які експлуатуються в головних та приймально-відправних коліях на залізобетонних брусах встановлюються за табл. 5.6 залежно від умов експлуатації і сторонності укладання цих елементів в стрілочному переводі.

Таблиця 5.5

Гарантійні строки служби елементів стрілочних переводів типів Р65 і Р50  
(вкладених на дерев'яних брусах)

Марка стрілочного переводу і його конструктивні елементи	Гарантійне напрацювання при експлуатації в головних коліях, млн т бруто		Гарантійний строк служби, років
	Р65	Р50	
Стрілки марок 1/18, 1/11, 1/9, 1/6 (ремкомплекти)	120	100	5 років з моменту поставки
Хрестовини з безперервною поверхнею кочення	120	-	
Хрестовини <sup>*)</sup> 1/18	60	-	при $\Gamma < 15$ млн т/км – 5 років з моменту поставки
Хрестовини <sup>*)</sup> 1/11, 1/9	45	40	
Хрестовини <sup>*)</sup> 1/6	40	30	
Хрестовини глухих пересічень	40	30	при $\Gamma = 15,1-30$ млн т/км – 4 роки з моменту поставки
Рейки з'єднувальних колій	120 <sup>**)</sup>	100 <sup>**)</sup>	при $\Gamma > 30,1$ млн т/км – 3 роки з моменту поставки
Контррейки всіх конструкцій, контррейки відбійні	120 <sup>**)</sup>	100 <sup>**)</sup>	5 <sup>**)</sup> років з моменту поставки
Стики зрівнювальні, скидальні стрілки	120 <sup>**)</sup>	100 <sup>**)</sup>	
Башмакоскидачі	-	-	3 <sup>**)</sup> років з моменту поставки

**Гарантійні строки служби елементів стрілочних переводів типів Р65 і Р50  
(вкладених на залізобетонних брусах)**

Марка стрілочного переводу і його конструктивні елементи	Гарантійне напрацювання при експлуатації в головних коліях, млн т бруто		Гарантійний строк служби, років
	Р65	Р50	
Стрілки марок 1/11, 1/9, 1/6 (ремкомплекти)	120	100	5 років з моменту поставки
Хрестовини з безперервною поверхнею кочення	120	-	
Хрестовини <sup>*)</sup> 1/11, 1/9	50	40	при $\Gamma < 15$ млн т/км – 5 років з моменту поставки при $\Gamma = 15,1-30$ млн т/км – 4 роки з моменту поставки при $\Gamma > 30,1$ млн т/км – 3 роки з моменту поставки
Хрестовини <sup>*)</sup> 1/6	45	35	
Хрестовини глухих пересічень	40	30	
Рейки з'єднувальних колій	120 <sup>**)</sup>	100 <sup>**)</sup>	5 <sup>**)</sup> років з моменту поставки
Контррейки всіх конструкцій, контррейки відбійні	120 <sup>**)</sup>	100 <sup>**)</sup>	5 <sup>**)</sup> років з моменту поставки
Стики зрівнювальні, скидальні стрілки	120 <sup>**)</sup>	100 <sup>**)</sup>	
Башмакоскидачі	-	-	3 <sup>**)</sup> років з моменту поставки

**Примітки до табл. 5.5 і 5.6.**

1) В табл. 5.6 і 5.6 позначено: \*) Хрестовини суцільнолиті та збірні з литим осердям; \*\*) Параметри прийняті за нормами ГОСТ 33535 «Соединения и пересечения железнодорожных путей. Технические условия» (Міждержавний стандарт).

2) Гарантійні строки служби елементів стрілочних переводів в млн т бр. (гарантійне напрацювання) встановлено для середньомережєвих експлуатаційних умов на головних коліях АТ «Українська залізниця», (для 1/6 – для приймально-відправних колій) за які прийнято:

- вантажонапруженість на коліях з рейками Р65 – 37 млн т бр./км за рік;

- вантажонапруженість на коліях з рейками Р50 – 15 млн т бр./км за рік;

- швидкості руху вантажних поїздів – до 80-90 км/год;

- середнє статичне навантаження на вісь рухомого складу при рейках Р65 –  $P_{oc} \leq 160$  кН/вісь; при рейках Р50 –  $P_{oc} \leq 135$  кН/вісь.

3) Вплив осьових навантажень від рухомого складу при русі по стрілочних переводах враховується поправочними коефіцієнтами, наведеними в табл. 5.7.

4) Гарантійні строки служби встановлені для переважного руху поїздів по прямому напрямку стрілочних переводів, при цьому співвідношення вантажопотоків приймаються: 75% – по основному прямому та 25% – боковому напрямках руху. При інших співвідношеннях слід використовувати коефіцієнти впливу на гарантійний строк служби за співвідношенням вантажопотоків по прямій і боковій колії, що наведені в табл. 5.8.

5) Вплив вантажонапруженості слід враховувати понижуючими коефіцієнтами нормативного тоннажу відносно максимального значення  $T_n^{\max}$ , як це наведено в [90] для відповідних елементів конструкцій стрілочних переводів.

6) При вантажонапруженості  $\Gamma < 15$  млн т бр./км за рік гарантійні строки служби елементів стрілочних переводів приймаються в роках.

7) При вантажонапруженості  $\Gamma \geq 20$  млн т бр./км за рік і середніх навантажень на осі рухомого складу більше 135 кН/вісь стрілочні переводи типу Р50 підлягають заміні на Р65 або 60Е1 в плановому порядку.

Таблиця 5.7

Коефіцієнти впливу статичних осьових навантажень ( $P_{oc}$ , кН) на гарантійні строки служби хрестовин типів P50 і P65, марок 1/9 і 1/11

Статичне осьове навантаження, кН, $P_{oc}$	Коефіцієнти впливу навантажень			
	Для типу P50		Для типу P65	
	марки 1/9	марки 1/11	марки 1/9	марки 1/11
130-170	1,0	1,0	1,0	1,0
170-210	0,917	0,928	1,0	1,0
210-220	0,750	0,857	1,0	1,0
>220	0,583	0,714	0,933	0,944

Таблиця 5.8

Прийняті коефіцієнти впливу на гарантійний строк служби за співвідношенням вантажопотоків по прямій і боковій колії<sup>\*\*\*)</sup>

Співвідношення вантажопотоків по основному/відгалуженому напрямках, %	Стрілки		Хрестовини	
	P65	P50	P65	P50
75/25	1,00	1,00	1,00	1,00
50/50	0,87	0,83	0,92	0,86
25/75	0,75	0,68	0,78	0,75

<sup>\*\*\*)</sup> Коефіцієнти впливу прийняті за нормами ГОСТ 33535 «Соединения и пересечения железнодорожных путей. Технические условия» (Міждержавний стандарт)

### 5.3 Висновки до розділу 5

1. Гарантійні строки служби стрілочних переводів встановлюються критерієм накопичення дефектів, які виникають в їх конструктивних елементах, а саме: в стрілках – це рамні рейки і вістряки; в хрестовинах – осердя і вусовики.

2. Гарантійні строки служби вимірюються величиною гарантованого мінімального пропущеного по стрілках і хрестовинах тоннажу або гарантованим мінімальним строком експлуатації (у роках) цих елементів у безаварійному режимі та означають, що протягом гарантійного строку стрілки або хрестовини (при експлуатації їх в колії у відповідності з вимогами «Інструкцією з улаштування та утримання колії залізниць України» (ЦП-0269) [85]) всі конструктивні елементи повинні працювати без зламів й інших дефектів, що порушують їх нормальну експлуатацію, при цьому розміри їх

вертикального зносу до моменту пропуску гарантованого мінімального тоннажу – не повинні перевищувати граничних допусків, які встановлені цією ж інструкцією.

3. В дисертаційній роботі запропоновано визначати гарантійні строки служби стрілок і хрестовин як частку від нормативного тоннажу, протягом якої забезпечується гарантована безвідмовна робота цих конструкцій без появи недопустимих дефектів або пошкоджень.

Вказаний гарантований мінімальний пропущений тоннаж можна визначати експериментальними або статистичними дослідженнями роботи стрілочних переводів в експлуатаційних умовах як ймовірність безвідмовної роботи елементів конструкції стрілок і хрестовин без появи недопустимих дефектів або пошкоджень.

4. В дисертації розроблено і запропоновано методику визначення гарантійних строків служби стрілок і хрестовин стрілочних переводів, яка заснована на зборі об'єктивних даних про роботу хрестовин в різних експлуатаційних умовах та статистичному аналізі та обробці цих даних методами математичної статистики з метою визначення ймовірності безвідмовної роботи вказаних конструкцій.

4.1 Для встановлення гарантійних строків служби стрілок та хрестовин стрілочних переводів були проаналізовані фактичні дані про їхню роботоздатність в різних експлуатаційних умовах різних транспортних систем (магістральних залізниць, метрополітенів). З урахуванням можливих недосконалостей збору об'єктивних даних щодо умов експлуатації були розглянуті різноманітні інструменти математичної статистики для встановлення гарантійних термінів служби стрілок та хрестовин стрілочних переводів.

4.2 В результаті наукових досліджень щодо вибору методу статистичної обробки даних був прийнятий вибірковий метод опрацювання сукупності даних як основний метод математичної статистики при вивченні статистичних даних. Використовувались такі вибіркові характеристики: середнє арифметичне або вибірка середня статистичної вибірки з генеральної сукупності; дисперсія; середньоквадратичне відхилення; асиметрія; ексцес розподілу.

4.3 При встановленні ресурсу роботи стрілок та хрестовин стрілочних переводів були прийняті такі характеристики надійності як безвідмовність і довговічність.

4.4 Методика встановлення гарантійних строків служби елементів стрілочних переводів була прийнята з урахуванням наукових розробок кафедри залізничної колії та колійного господарства ДУІТ, які були виконані за замовленням ЦП Укрзалізниці, в яких автор брала безпосередню участь.

4.5 При розробці методики визначення гарантійних строків служби стрілок і хрестовин використовувались аналіз та статистична обробка результатів широкомасштабних досліджень за експлуатаційною роботою стрілочних переводів в колії протягом всього періоду експлуатації до їх вилучення з колії. Була встановлено кількість та інтенсивність накопичення недопустимих дефектів або пошкоджень на конструктивних елементах стрілок і хрестовин, які порушують нормальну експлуатацію стрілочних переводів.

4.6 При математичній обробці конструкцій окремо піддавались основні конструктивні елементи стрілочних переводів (в стрілках – рамні рейки та вістряки; в хрестовинах – вусовики та осердя), при тому вони були диференційовані за експлуатаційними умовами, тобто за вантажонапруженістю, відповідно до прийнятої класифікації у відповідних нормативних документах.

4.7 В результаті математично-статистичної обробки результатів досліджень було визначено математичну імовірність безвідмовної роботи за дефектами  $R(t)$  кожного з розглянутих елементів конструкцій стрілочних переводів.

5. Після визначення математичної ймовірності безвідмовної роботи були з достатньою достовірністю встановлені нормативи гарантійних строків служби для основних несучих металевих елементів стрілочних переводів (в стрілках – для рамних рейок та вістряків; в хрестовинах – для осердь та вусовиків) типових конструкцій з хрестовинами марок 1/11, 1/9, 1/18 та 1/6 з рейками типу Р65 і Р50. Нормативи розраховані для типових конструкцій стрілок і хрестовин українського виробництва: зі стрілками з вкладково-накладковим кореневим кріпленням з

поворотними або гнучкими вістряками із хрестовинами збірними з литим осердям із марганцевистої сталі марки 110ГІЗЛ (або суцільнолитими з тієї ж сталі). В кінцевому результаті гарантійні строки служби стрілок та хрестовин були визначені як частка (%) від нормативного тоннажу, тобто як імовірність безвідмовної роботи цих конструкцій без появи недопустимих дефектів або пошкоджень протягом гарантійного строку служби:  $T_{\text{гарант}} = R(t) \cdot T_{\text{норм}}$ . Нормативи розраховані для роздільного застосування: для стрілочних переводів на дерев'яних і залізобетонних брусах.

6. Встановлені гарантійні строки служби для основних несучих елементів стрілочних переводів типів Р65 і Р50 марок 1/18, 1/11, 1/9 і 1/6, які експлуатуються в головних та приймально-відправних коліях на дерев'яних брусах залежно від умов експлуатації і сторонності укладання цих елементів в стрілочному переводі.

7. За результатами досліджень можна зробити висновки: рамні рейки забезпечують безвідмовну роботу тільки у 62% випадків, а вістряки тільки в 52% випадків; середнє напрацювання в колії хрестовин до їх вилучення по зносу (при нормативному зносі 6 мм) при середньо мережевих експлуатаційних умовах по інтенсивності руху складає 80-125 млн. т. брутто; строк служби хрестовин, що вилучаються по дефектам в 2-2,5 рази менше строку служби хрестовин, що замінюються по зносу і складають 45 млн т брутто і менше; на момент досягнення нормативного напрацювання хрестовини забезпечують безвідмовну роботу (по дефектності) тільки в 65% випадків; із загальної кількості хрестовин, які замінюються, вихід по дефектам складає 35-40% , вихід по зносу складає 60% і більше (залежно від умов експлуатації); із загальної кількості виходу стрілочних переводів по дефектах на дефектні вістряки припадає приблизно 25%; підвищення навантаження на осі рухомого складу призводить до суттєвого зниження стійкості стрілок и хрестовин; так при збільшенні осьових навантажень від  $2P = 210$  кН до  $2P = 250$  кН стійкість хрестовин типу Р65 знижується в 1,7 рази.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі отримані наукові результати, які в цілому вирішують поставлені задачі, а саме: прогнозування зносостійкості та строків служби основних конструктивних елементів стрілочних переводів для умов експлуатації магістрального транспорту та метрополітенів. Проведені дослідження дозволили зробити наступні висновки.

1. Аналіз попередніх досліджень, виконаних в напрямку визначення та прогнозування зносостійкості та строків служби стрілочних переводів, показав, що в більшості випадків вказані дослідження відносились до експериментальних робіт та експлуатаційних спостережень за роботою конструкцій в колії. Досліджень теоретичного характеру виконано вкрай мало, в тому числі мало досліджень, що стосуються прогнозування зносостійкості та дефектостійкості конструкцій, і зовсім мало досліджень щодо порівняння зносостійкості та дефектостійкості стрілочних переводів при їх експлуатації в умовах різних транспортних систем при різних колісних навантаженнях, вантажонапруженості, швидкостях руху та інш. Аналіз попередніх досліджень також показав, що основними несправностями, що впливають на вихід з експлуатації стрілок і хрестовин є знос їх поверхні кочення та поява і накопичення дефектів, а також утворення нерівностей на поверхні кочення. Таким чином вивчення і аналіз попередніх досліджень дало змогу сформулювати мету і задачі дисертаційного дослідження.

2. В цілях вивчення закономірностей зносостійкості та дефектостійкості основних конструктивних елементів (стрілок і хрестовин) стрілочних переводів для експлуатаційних умов метрополітенів були виконані експериментальні дослідження стрілочних переводів на коліях Київського метрополітену. В дослідженнях були задіяні усі три діючі лінії Київського метрополітену, на яких експлуатується біля 50-ти стрілочних переводів, в тому числі біля 30-ти переводів типу Р50 марки 1/9 та біля 20-ти переводів типу Р65 марки 1/9. Переводи, що досліджувались розрізнялись за типом рейок та умовами

експлуатації. В дослідженнях були задіяні переводи як пошерстного напрямку (ПШ), так і протишерстного (ПРШ). Вантажонапруженість розрізнялась від 17,1 до 25,2 млн. ткм бр./км за рік; пропущений тоннаж розрізнявся від 13,1 до 133,4 млн. т. В процесі вивчення закономірностей зносостійкості поверхні кочення стрілок і хрестовин стрілочних переводів визначались абсолютна величина зносу поверхні кочення  $h$  (мм) та інтенсивність накопичення зносу в залежності від пропущеного тоннажу (тобто зносостійкість « $i$ », мм/млн. т. бр.). Окремо досліджувалось накопичення дефектів на поверхні кочення залежно від пропущеного тоннажу.

3. За результатами проведених досліджень на коліях метрополітену були побудовані криві зносу, при використанні яких можна визначати та прогнозувати строки служби стрілок і хрестовин в будь-який період експлуатації аж до набуття допустимої величини зносу ( $h_{don}$ ). Дослідження інтенсивності зносу поверхні кочення стрілок і хрестовин (тобто зносостійкості « $i$ », мм/млн. т. бр.) в різних умовах експлуатації та факторний аналіз і порівняння цього показника з існуючими нормативами, що застосовуються на коліях метрополітенів і магістральних залізниць, дозволило розробити і запропонувати нові, більш економічні нормативи строків служби стрілок і хрестовин для колій Київського метрополітену. Нові нормативи строків служби для стрілок і хрестовин прийняті і затверджені «Технічними умовами на експлуатацію стрілочних переводів на коліях Київського метрополітену», 2015 р.

4. В цілях вивчення закономірностей зносостійкості, дефектостійкості та визначення нормативних і гарантійних строків служби стрілок і хрестовин стрілочних переводів *для магістрального транспорту* виконано збір та аналіз об'єктивних даних про роботу стрілочних переводів в різних експлуатаційних умовах на коліях Укрзалізниці. Виконано прогнозування зносостійкості та нормативних строків служби хрестовин стрілочних переводів для конструкцій найбільш розповсюджених на коліях *магістрального транспорту* стрілочних переводів марок 1/9 і 1/11 з рейок типу Р65, укладених на залізобетонних і дерев'яних брусах, для умов експлуатації з різною вантажнапруженістю від

головних колій до приймально-відправних.

5. Вперше розроблено нову теоретичну методику прогнозування зносу поверхні кочення по хрестовинам залежно від умов експлуатації, яка включає спільне застосування: експлуатаційних спостережень за роботою хрестовин на залізницях, математично-статистичний аналіз результатів спостережень, графоаналітичний аналіз і побудову графічних залежностей прогнозованого зносу у функції від пропущеного тоннажу та розробку кінцевих розрахункових формул для визначення прогнозованого нормативного тоннажу ( $T_{\text{норм}}^{\text{розр}}$ ), що очікується пропускати по хрестовинам при досягненні нормованої величини зносу поверхні кочення ( $h_n$ ).

6. Розрахункові значення прогнозованого нормативного пропущеного тоннажу ( $T_{\text{норм}}^{\text{розр}}$ ) для всіх розглядаємих конструкцій стрілочних переводів перевірені безпосередніми експлуатаційними спостереженнями за роботою стрілочних переводів в умовах роботи головних та приймально-відправних колій Укрзалізниці з визначенням нормативного тоннажу в експлуатаційних умовах ( $T_{\text{норм}}^{\text{експл}}$ ). Перевірка підтвердила практично повне сходження результатів ( $T_{\text{норм}}^{\text{розр}} = T_{\text{норм}}^{\text{експл}}$ ). Відносна похибка отримана в межах 5-6%.

7. Аналіз результатів розрахунків показав, що зберігаються основні закономірності щодо динаміки зміни шуканих розрахункових характеристик прогнозованого нормативного тоннажу ( $T_{\text{норм}}^{\text{розр}}$ ) відповідно до зміни вихідних характеристик експлуатаційних умов (вантажонапруженості « $\Gamma$ », млн. т·км/км за рік; і комплексної характеристики експлуатаційних умов « $U$ », кН·с/м), а також взаємовідношень між зносом осердь і вусовиків; зносом хрестовин укладених на залізобетонних і дерев'яних брусах.

8. Розроблено і запропоновано методику визначення гарантійних строків служби стрілок і хрестовин стрілочних переводів ( $T_{\text{гарант}}$ ), яка заснована на зборі об'єктивних даних з експлуатації хрестовин в різних експлуатаційних умовах та статистичному аналізі та обробці цих даних методами математичної

статистики, з метою визначення ймовірності безвідмовної роботи вказаних конструкцій. Були використані аналіз та статистична обробка результатів широкомасштабних досліджень за експлуатаційною роботою стрілочних переводів в колії протягом всього періоду експлуатації до їх вилучення з колії та встановлені кількість та інтенсивність накопичення недопустимих дефектів або пошкоджень на конструктивних елементах стрілок і хрестовин, які порушують нормальну експлуатацію стрілочних переводів.

9. В кінцевому результаті гарантійні строки служби стрілок та хрестовин були визначені як частка (%) від нормативного тоннажу, тобто як імовірність безвідмовної роботи цих конструкцій без появи недопустимих дефектів або пошкоджень протягом гарантійного строку служби:  $T_{\text{гарант}} = R(t) \cdot T_{\text{норм}}$ .

Нормативи гарантійних строків служби встановлені для основних несучих металевих елементів стрілочних переводів (в стрілках – для рамних рейок та вістряків; в хрестовинах – для осердь та вусовиків) типових конструкцій з хрестовинами марок 1/11 та 1/9 з рейками типу Р65 і Р50. Нормативи розраховані для роздільного застосування: для стрілочних переводів на дерев'яних і залізобетонних брусах.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Даніленко Е.І. Залізнична колія. Улаштування, проектування і розрахунки, взаємодія з рухомим складом: підручник для вищих навчальних закладів (у 2-х томах). Київ: Інпрес, 2010. Т. 1. 528 с.
2. Амелин С.В. Основы проектирования стрелочных переводов для высоких скоростей движения поездов. – В кн.: Сборник материалов VI научно-технической конференции по вопросам путевого хозяйства/ЛИИЖТ. Л., 1958, С. 5-70.
3. Амелин С.В., Смирнов М.П. Яковлев В.Ф. Исследование износоустойчивости элементов стрелочных переводов // Труды ЛИИЖТ, вып. 188, 1962. 127 с.
4. Амелин С.В., Смирнов М.П., Яковлев В.Ф. Исследования работы стрелочных переводов пологих марок в пути // Труды ЛИИЖТ, 1962, вып. 188, с. 118-150.
5. Амелин С.В. Соединения и пересечения рельсовых путей. – Москва: Транспорт, 1968. 262 с.
6. Основы устройства и расчетов железнодорожного пути / В.Г. Альбрехт, С.В. Амелин, М.П. Смирнов, В.Я. Шульга и др.; под ред. С.В. Амелина и Т.Г. Яковлевой. – М.: Транспорт, 1990. 367 с.
7. Шахунянец Г.М. Железнодорожный путь / Г.М. Шахунянец. – М.: Трансжелдориздат, 1961. - 612 с.
8. Совершенствование конструкций пути и стрелочных переводов/Под ред. В.Г. Альбрехта. М.: Транспорт, 1973. 206 с. (Труды ВНИИЖТ; Вып. 501).
9. Яковлев В.Ф. Некоторые вопросы статического расчета элементов стрелочных переводов: автореф. дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук / В.Ф. Яковлев. – Л.: ЛИИЖТ, 1955.
10. Яковлев В.Ф., Семенов И.И. Исследование упругодинамических характеристик пути и определение динамических вертикальных сил в крестовине // Тр. ДИИЖТ, 1964. Вып. 222. С. 106 – 137.

11. Яковлев В.Ф. Геометрические неровности рельсовых нитей / В.Ф. Яковлев, И.И. Семенов // Вопросы расчета на прочность элементов пути и стрелочных переводов под действием вертикальных сил: Труды ЛИИЖТ – Вып. 222. – Ленинград, 1964. С. 26 – 67.

12. Яковлев В.Ф. Влияние расчетных характеристик элементов пути и подвижного состава на уровень динамических сил в контакте колеса и рельса / В.Ф. Яковлев // Труды ЛИИЖТ. – Вып. 233. – Ленинград, 1964. С. 96 – 145.

13. Яковлев В.Ф. Связь параметров неровностей в крестовинах с траекторией перекатывания колес по ним / В.Ф. Яковлев // В кн.: Совершенствование ведения стрелочного хозяйства. – М.: Транспорт, 1983. С. 98 – 105.

14. Глюзберг Б.Э. Исследование воздействия колес подвижного состава на крестовины стрелочных переводов / Б.Э. Глюзберг // Вестник ВНИИЖТ. – 1977. – №2. – С. 37-39.

15. Глюзберг Б.Э. Особенности износа крестовин стрелочных переводов // Вестник ВНИИЖТ. 1984. №3. С 39 – 42.

16. Глюзберг Б.Э. Методы оптимизации основных элементов стрелочных переводов и их приложение к крестовинным узлам массовых конструкций: дисс. ... доктора техн. наук: спец. 05.22.06 / Б.Э. Глюзберг. – М.: 1990. 297 с.

17. Напряженно-деформированное состояние стрелочных переводов и установление допускаемых скоростей движения / Г. Г. Желнин // Подвижной состав и путь в условиях интенсификации работы железных дорог : сб. науч. тр. / ВНИИЖТ. - М., 1989. - С. 77-90.

18. Коган А.Я., Желнин Г.Г. Расчеты железнодорожного пути на вертикальную динамическую нагрузку // Тр./ВНИИЖТ, 1972. Вып. 502. 79 с.

19. Оценка допускаемых скоростей движения подвижного состава по стрелочным переводам / Г.Г. Желнин [и др.] // Подвижной состав и путь в условиях интенсификации работы железных дорог : сб. науч. тр. / ВНИИЖТ. - М., 1989. - С. 90-103

20. Путря Н.Н. Современные конструкции стрелочных переводов и их работа под подвижной нагрузкой / Н.Н. Путря, Л.Г. Крысанов, В.П. Михайлова [и др.] // Совершенствовании конструкций пути и стрелочных переводов: Труды ВНИИЖТ. – Вып. 501. – М.: Транспорт, 1974. С. 134 – 162.

21. Путря Н.Н. Стрелочные переводы с железобетонными брусками / Н.Н. Путря, Л.Г. Крысанов, Н.С. Евстифеев // Путь и путевое хозяйство. – 1971. – №11. – С. 9 – 11.

22. Бромберг Е.М., Вериго М.Ф., Данилов В.Н., Фришман М.А. Взаимодействие пути и подвижного склада. М.: Трансжелдориздат, 1956, 280 с.

23. Фришман М.А. Испытания стрелочного перевода типа Р65 на железобетонных плитах под нагрузкой / М.А. Фришман, И.Ф. Исаков, А.М. Микитенко // Вопросы взаимодействия пути и подвижного состава. Труды ДИИТ. – Вып. 88. – Днепропетровск, 1968. – С. 43 – 46.

24. Фришман М.А. Выбор расчетной схемы для определения вертикальных сил при движении экипажа по стрелочному переводу / М.А. Фришман, Р.С. Липовский, В.П. Гнатенко, Н.П. Кущенко // Исследования взаимодействия пути и подвижного состава: Труды ДИИТ. – Вып. 167/16. – Днепропетровск, 1975. – С. 25-29.

25. Фришман М.А. Исследование сил взаимодействия пути и подвижного состава в зоне крестовины стрелочного перевода на железобетонном основании / М.А. Фришман, А.Н. Орловский, А.М. Микитенко // Исследования взаимодействия пути и подвижного состава: Труды ДИИТ. – Вып. 69. – Днепропетровск, 1967. – С. 4 – 11.

26. Абросимов В.И., Семенов И.И., Фролов Л.Н. и др. Работа контррельсового узла под нагрузкой. В кн. : Исследование движения экипажей на боковой путь. Труды ЛИИЖТ, вып. 323. Л.: Транспорт, 1971. С. 102 – 125.

27. Неровности на крестовинах типа Р65 марки 1/11 с непрерывной поверхностью катания и обоснование норм износа / Э.И. Даниленко, В.И. Абросимов, А.Н. Трофимов [та ін.] // Межвузовский сборник научных трудов ДИИТ. – Днепропетровск, 1989. – С. 63 – 75.

28. Абросимов В.И. О влияние марки крестовины на вертикальную траекторию движения колеса / В.И. Абросимов // Стрелочные переводы для высоких скоростей движения поездов: Труды ЛИИЖТ – Вып. 211. – Ленинград, 1963. – С. 91 – 134.

29. Иващенко Г.И. Условия движения подвижного состава по прямому пути стрелочных переводов. Тр. ЦНИИ МПС. 1962. вып. 229. С. 13 – 19.

30. Иващенко Г.И. Новые стрелочные переводы. М.: Транспорт, 1965. 68 с.

31. Фришман М.А., Орловский А.Н., Жилин Г.К. Вертикальная жесткость стрелочного перевода на железобетонных брусьях// Тр./ДИИТ,1974. Вып.146. С. 3–8.

32. Волошко Ю.Д., Орловский А.Н. Как работают стрелочные переводы под поездами. – М.: Транспорт, 1987. 120 с.

33. Орловский А.Н. Обоснование выбора расчетной схемы для исследования взаимодействия колеса и пути в зоне неровностей / А.Н. Орловский, В.Н. Клименко // Труды ДИИТ. – Вып. 57. – Днепропетровск, 1965. – С. 42 – 49.

34. Памятка ОСЖД О+Р 756/5 от 27.04.2007 г. Влияние эксплуатационных факторов на показатели надежности основных элементов стрелочных переводов. г.Тбилиси, Грузия, 2007. 19 с.

35. Радыгин Ю. Н. Совершенствование геометрических, конструктивных параметров и норм содержания стрелочных переводов: дисс... канд. техн. наук. Москва: ВНИИЖТ, 2002. 129 с.

36. Стрелочные переводы железных дорог Украины (Технология производства, эксплуатация в пути, расчеты и проектирование) / [Даниленко Э.И., Тараненко С.Д., Кутах А.П.]; под ред. д.т.н. профессора Э.И. Даниленко. – К.: – 2001. 296 с.

37. Тараненко С.Д., Даниленко Т.П., Даниленко Э.И. Влияние структурных характеристик на механические свойства марганцовистой стали железнодорожных крестовин производства различных изготовителей / Збірник

наукових праць Київського інституту залізничного транспорту, т.1, вип. 2, Київ, 1998. – с. 117 – 127.

38. Определение работоспособности элементов стрелочных переводов и пересечений путей по износу на основе анализа условий эксплуатации / Э.И. Даниленко, С.Д. Тараненко // Исследование взаимодействия пути и подвижного состава: Межвуз. сб. науч. тр. / ДГТУЖТ. - Днепропетровск, 1997. С. 141-145.

39. Удосконалення технологій виготовлення і конструкцій стрілочних переводів сучасного виробництва в Україні [Текст] : автореф. дис... канд. техн. наук: 05.22.06 / Тараненко Сергій Дмитрович ; Київський ін-т залізничного транспорту Харківської держ. академії залізничного транспорту. - К., 2000. – 18 с.

40. Смыков Е.К. Расчеты стрелочных переводов. Гомель.: БелИИЖТ, 1986. 71 с.

41. Смыков Е.К. Переводы на железобетонных плитах / Е.К. Смыков // Путь и путевое хозяйство. – 1968. – №2. – С. 89.

42. Симон А.А. Содержание стрелочных переводов новых конструкций / А.А. Симон, Е.К. Смыков. – М.: Транспорт, 1972. – 152 с.

43. Лизогуб И.Г. О системе ведения стрелочного хозяйства / И.Г. Лизогуб, Г.И. Иващенко, Е.К. Смыков // Труды БелИИЖТ – Вып. 60 – Гомель, 1968. – С. 49 – 59.

44. Памятка ОСЖД Р-756/4 от 05.11.2004 г. Нормативные сроки службы стрелочных переводов на деревянных и железобетонных брусках по износу основных конструктивных элементов при различных условиях эксплуатации. Варшава, 2019. 21 с.

45. Совершенствование ведения стрелочного хозяйства / С. В. Амелин, В. И. Абросимов, Н. Н. Елсаков, Е. К. Смыков, Л. Н. Фролов, В. Ф. Яковлев / Под редакцией С. В. Амелина. – М.: Транспорт, 1983. 240 с.

46. Трофимов А.Н., Фролов Л.Н., Агафонов Г.Ф. Испытания крестовин с подвижным сердечником // Путь и путевое хозяйство. 1980. № II. С.26-27.

47. Вериго М.Ф., Коган А.Я., Взаимодействие пути и подвижного состава, М., Транспорт, 1968. 559 с.

48. Вериго М.Ф. Вертикальные силы, действующие на путь при прохождении подвижного состава / М.Ф. Вериго // Взаимодействие пути и подвижного состава и вопросы расчетов пути: Труды ВНИИЖТ – Вып. 97 – М.: Трансжелдориздат, 1955. С. 25 – 289.

49. Данилов В.Н. Железнодорожный путь и его взаимодействие с подвижным составом / В.Н. Данилов. – М. : Трансжелдориздат, 1961. – 112 с.

50. Данилов В.А., Трофимов А.Н., Агафонов Г.Ф. Результаты эксплуатационных наблюдений за крестовинами с припуском сердечника на наклеп // Вопросы путевого хозяйства: Сб. научн. тр. Л.: Транспорт. 1975. С.75-83.

51. Ершков О.П. Характеристики пространственной упругости рельсовой нити // Тр./ВПИИЖГ, 1960. Вып.192. С. 59 – 101.

52. Ершков О.П. Графики и приближенные формулы для определения динамических давлений колес локомотивов на путь / О.П. Ершкова // М.: Вестник ВНИИЖТ. – Вып. 8. 1957.

53. Ангелейко В.И., Метлеркамп Е.А. Расчеты на прочность острижков стрелочных переводов. М., Трансжелдориздат, 1962, / Труды Харьковск. ин-та инж. ж.д. трансп., вып. 57.

54. Ангелейко В.И., Метлеркамп Е.А. О расчете острижков стрелочного перевода на прочность. – Вестник ВНИИЖТ, №1, М., 1961. 41 с.

55. Даренский А. Н. Моделирование взаимодействия пути и подвижного состава при дискретном подрельсовом основании в зоне рельсовых стыков / А. Н. Даренский, А. В. Клименко. - С.15-22

56. Математична модель системи "екіпаж-колія" для умов метрополітену [Текст] / О. М. Даренський, А. С. Малішевська // Інформ.-керуючі системи на залізн. трансп. - 2016. - № 6. - С. 56-61.

57. Вплив геометричних нерівностей колії на величини напружень у рейках при вигині / О. М. Даренський // Збірник наукових праць / Укр. держ.

акад. залізн. трансп., Північно-східний наук. центр трансп. акад. Укр. - Харків: УкрДАЗТ, 2008. - Вип. 99. - С. 167-176

58. Амелин С. В. О расчете на прочность элементов стрелочных переводов / С. В. Амелин, В. Ф. Яковлев, И. И. Семенов // Вопросы расчета на прочность элементов пути и стрелочных переводов под действием вертикальных сил: Труды ЛИИЖТ. – Ленинград, 1964. – Вып. 222. – С. 3 - 28.

59. Яковлев В.Ф. Взаимодействие пути и подвижного состава при наличии неровностей одновременно на колесе и рельсе / В.Ф. Яковлев, И.И. Семенов // Исследование работы стрелочных переводов под поездной нагрузкой: Труды ЛИИЖТ – Вып. 280. – Ленинград, 1968. – С. 3 – 33.

60. Жилин Г.К., Орловский А.Н., Татуревич А.П. Исследование вертикального модуля упругости подрельсового основания с ж.-б. брусьями//Тр./ДИИТ, 1973. Вып.142. С. 66 – 71.

61. Татуревич А.П. Результаты определения фактических значений жесткости пути для исследований взаимодействия пути и подвижного состава. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. ак. В. Лазаряна. – 2003. Вип. 2. С. 95 – 100.

62. Волошко Ю.Д. Особенности взаимодействия нестандартной конструкции пути с подвижным составом / Ю. Д. Волошко, М. И. Уманов, В. А. Маковский // Межв. сб. трудов. – Днепропетровск, 1994. С. 37 – 42.

63. Kisilowski J, Kowalik R. Railroad Turnout Wear Diagnostics. *Sensors* (Basel). 2021 Oct 9;21(20):6697. doi: 10.3390/s21206697. PMID: 34695910; PMCID: PMC8540130.

64. Kisilowski, J.; Kowalik, R. Mechanical Wear Contact between the Wheel and Rail on a Turnout with Variable Stiffness. *Energies* 2021, 14, 7520. <https://doi.org/10.3390/en14227520>

65. Ou, D.; Ji, Y.; Zhang, L.; Liu, H. An Online Classification Method for Fault Diagnosis of Railway Turnouts. *Sensors* 2020, 20, 4627. <https://doi.org/10.3390/s20164627>

66. Yan, S.; Jin, T.; Ma, H.; Zhang, J.; Zhou, Y. Wear Prediction of Curved Switch Rail in High-Speed Turnout and Influence of Wheel and Rail Wear on Vehicle Dynamic Performance. *Appl. Sci.* 2023, *13*, 8398. <https://doi.org/10.3390/app13148398>

67. [Wang, P.](#), [Wang, S.](#), [Ge, J.](#), [Si, D.](#) and [Yang, D.](#) (2023), "Study on wear characteristics and authorized limits of switch rails of high-speed turnout", *Railway Sciences*, Vol. 2 No. 2, pp. 157-169. <https://doi.org/10.1108/RS-03-2023-0014>

68. Litherland J, Andrews J. A reliability study of railway switch and crossing components. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit.* 2023;237(2):205-217. doi:[10.1177/09544097221100672](https://doi.org/10.1177/09544097221100672)

69. Railway applications. Track. Acceptance of works Part 1: Works on ballasted track. Plain line, switches and crossings (2013). BS EN 13231-1:2013 from 31 May 2013. The British Standards Institution: Published by BSI Standards Limited

70. Railway applications. Track. Track geometry quality Part 5: Geometric quality levels - Plain line, switches and crossings (2017). BSI BS EN 13848-5:2017 from 30 September 2017. The British Standards Institution: Published by BSI Standards Limited

71. Г. Шрам. Верхнее строение и содержание пути железных дорог ФРГ. Трансжелдориздат, М., 1962, 388 с.

72. Путь и путевое хозяйство железных дорог США. Перевод с англ. под ред. С.И. Финицкого, М.: Транспорт, 1987, 216 с.

73. Даніленко Е.І. Вертикальні нерівності на хрестовинах в зоні перекочування за різних умов експлуатації / Е.І. Даніленко, В.Д. Бойко // Проблеми та перспективи розвитку транспортних систем: техніка, технологія, економіка і управління: Тези доповідей другої наук. - прак. конф. Ч. 1. – Сер. “Техніка, технологія”. – К.: КУЕТТ, 2004. – С. 91-92.

74. Експлуатаційні випробування стрілочних переводів на залізобетонних брусах марки Р65 1/11 та 1/9 українського та російського виробництва: Звіт про НДР (заключний) / Київський університет економ. і технолог. транс. – №372/02-1027.02-ЦТех. – К., 2003. – 150 с.

75. Дьяков П.С. Определение максимально допустимого износа верхнего строения пути. М., 1926. 81 с.

76. Полторацкий В.И. Определение норм износа металлических частей стрелочных переводов. М.: Трансжелдориздат, 1938. 44 с.

77. Амелин С.В., Смирнов М.П. Работа стрелочных переводов типа Р65 марки 1/11 при движении поездов по прямому направлению со скоростью 130-175 км/ч. // Труды ЛИИЖТ, вып. 211, 1963. С. 41-90.

78. Амелин С.В., Смирнов М.П. Работа стрелочного перевода типа Р65 марки 1/11 при скорости 200 км/ч: Информ. Письмо НТО Октябрьской дороги. Л., 1966. 54 с.

79. О работе стрелочных переводов на железобетонных плитах / М.А. Фришман, В.И. Шатерков, Ю.Д. Волошко, А.Н. Орловский. – Путь и путевое хозяйство, 1963, №7. С. 11-12.

80. Войтович Е.И. Развитие железобетонных подрельсовых оснований стрелочных переводов. – Труды БелИИЖТ, 1973, вып. 120. С. 22-33.

81. Даниленко Э.И. Теоретические основы и практические методы расчета прочности, износостойкости пересечений и соединений рельсовых путей пром. транспорта. Дисс. докт. техн. наук: С.-Петербург. 1992. – 542 с.

82. Даниленко Э.И. Прогнозирование износа элементов рельсовых нитей с учетом эксплуатационных факторов / Э.И. Даниленко // Сборник научных трудов ПИИЖТ. – С. Петербург, 1992. – С. 80 – 85.

83. Бойко В. Д. Вплив зносу стрілочних переводів на залізобетонних брусах на динаміку взаємодії колії та рухомого складу: дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.22.06 / В. Д. Бойко. – Київ, 2010. – 198 с.

84. Правила технічної експлуатації залізниць України. Міністерство транспорту України. К.: Транспорт України, 1995 р. 133 с.

85. Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України (ЦП-0269). Нормативно-технічне видання / Даніленко Е.І., Курган М.Б., Карпов М.І., Яковлев В.О. та ін. – К.: Укрзалізниця, 2012. 456 с.

86. Положення про систему організації роботи, ремонту та обслуговування засобів дефектоскопії в колійному господарстві: ЦП-0264. – К.: «НВП Поліграфсервіс», 2012. – 88 с.

87. Класифікація та каталог дефектів і пошкоджень елементів стрілочних переводів залізниць України: ЦП/0284. - К.: НВП "Поліграфсервіс", 2013. – 104 с.

88. Olha Soroka Research of frogs point wear resistance in various conditions for transportation systems: main-line railway and subway Collection of Scientific Papers of the State University of Infrastructure and Technologies of the Ministry of Education and Science of Ukraine: Series "Transport Systems and Technologies". № 41. Kyiv: SUIT, 2023. P. 117-130 DOI:10.32703/2617-9059-2023- 41.

88. Zwanenburg Willem-Jan. Modelling degradation processes of switches & crossings for maintenance & renewal planning on the Swiss railway network. Lausanne, EPFL, 2009.

89. Глюзберг Б.Э. Факторный анализ износа крестовин //Надежность стрелочных переводов: Сб. научн.тр. М.: Транспорт.1988. С.86-95.

90. Даніленко Е.І., Бойко В.Д., Твердомед В.М., Молчанов В.М., Сорока О.О., Олійник О.А. Верхня будова колії. Стрілочні переводи. Правила визначення нормативних та гарантійних строків служби у різних експлуатаційних умовах. // стандарт АТ «Укрзалізниця» СТІ 06041:2021 – К.: АТ «Укрзалізниця», 2021 р. – 48 с.

91. Карпов М.І., Йосифович Р.М. Засоби неруйнівного контролю рейок [Текст] // Навчальний посібник. – К.: ДЕГУТ, 2015. – 174 с.

92. Monitoring of the switches // International Railway Journal. – 2002. № 8. P. 27–28.

93. Тулендиев Т.Т., Баймаханов А.Е. Отказы стрелочных переводов и элементов стрелки // Мат. н.-т. конф. «Новости научного прогресса» – 2010: Publishing House Education and Science s.r.o

94. Корноухова, К. В. Новое поколение стрелочных переводов / К.В. Корноухова, В.А. Мирошкин // Вісник ДНУЗТ. - Д., 2006. - Вип. 13. - С. 57-59.

95. Тулендиев Т.Т., Баймаханов А.Е. Отказы контрольных элементов соединительных путей // Мат. н.-т. конф. «Новости научного прогресса» – 2010: Publishing House Education and Science s.r.o

96. Молчанов В.М. Визначення пружнодинамічних параметрів колії та їх вплив на силову взаємодію на хрестовинах стрілочних переводів: дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.22.06 / В.М. Молчанов. – Київ, 2013. 269 с.

97. Даниленко Е.И. Рекомендации по установлению допустимых скоростей движения по стрелочным переводам. Памятка ОСЖД Р 765/1. Чехия. 2008.

98. Даниленко Э.И., Гниломедов В.В. Силовое взаимодействие подвижного состава и крестовин с непрерывной поверхностью катания//Сб. науч. тр. ДИИТ/Исслед. взаимод. пути и подв. состава/Дн-ск, ДИИТ, 1983. С.98-99.

99. Яковлев В. Ф. Прибор для определения траектории движения колеса / В. Ф. Яковлев // Железнодорожный транспорт. – 1957. – №3. – С. 79.

100. Даніленко Е.І. Положення про нормативні строки служби стрілочних переводів у різних експлуатаційних умовах: ЦП – 0101 / Е.І. Даніленко, М.І. Карпов, В.Д. Бойко. – К.: Транспорт України, 2003. – 30 с. – (Нормативний документ Міністерства транспорту та зв'язку України. Інструкція).

101. Бойко В.Д. Про нормативні строки служби стрілок і хрестовин / В.Д. Бойко, М.І. Карпов, Т.П. Даніленко // Проблеми та перспективи розвитку транспортних систем: техніка, технологія, економіка і управління: Тези доповідей першої наук.-прак. конф. Ч. 1. – Сер. “Техніка, технологія”. – К.: КУЕТТ, 2003. – С. 45–46.

102. Даніленко Е.І., Карпов М.І., Косарчук В.В., Твердомед В.М., Бойко В.Д., Молчанов В.М., Йосифович Р.М. та інші. /Звіт про НДР/. Встановлення умов експлуатації рейок і стрілочних переводів на коліях Київського метрополітену. Київ, КП «Київський метрополітен», ДЕТУТ, 2015. – 135 с.

103. Крестовины сборные марок 1/11 и 1/9. Основные размеры: ГОСТ 28370-89. – М.: Издательство стандартов, 1990. – 9 с.

104. Правила технічної експлуатації метрополітенів України. Київ: Видавництво «Преса України» 2015. 192 с.

105. Инструкция по текущему содержанию пути и контактного рельса метрополитенов: Ц Метро/4013. – М.: Транспорт, 1984. – 152 с.

106. ДСТУ 4814:2007 - Рейки вістрякові типів ОР50 і ОР65. Загальні технічні умови. – К.: Держспоживстандарт України, 2007. – 19 с.

107. Прогнозирование износостойкости железнодорожных стрелок и крестовин на основе анализа условий эксплуатации / Э.И. Даниленко // II Международный симпозиум по трибофатике, Москва, 15–17 окт. 1996 г.: тез. докл. – Москва, 1996.

108. Технічні вказівки на експлуатацію рейок та елементів стрілочних переводів Київського метрополітену (затверджено 29.12.2001 р. наказом начальника КП «Київський метрополітен» № 289-Н).

109. Даніленко Е.І. Гарантійні строки служби та умови забезпечення гарантійної експлуатації металевих елементів стрілочних переводів: ЦП – 0162/ Е.І. Даніленко, М.І. Карпов, В.Д. Бойко, В.М. Молчанов. – К.: Транспорт України, 2007. – 56 с. – (Нормативний документ Міністерства транспорту та зв'язку України. Інструкція).

110. Положення про нормативні строки служби стрілочних переводів на залізобетонних брусах у різних умовах експлуатації (ЦП-0101) / Даніленко Е.І., Карпов М.І., Бойко В.Д.. – К.: 2003. – 36 с.

111. ДБН В.2.3-19:2018. Споруди транспорту. Залізниця колії 1520 мм. Норми проектування [Чинний від 2019-04-01]. Київ: Державні будівельні норми, 2018. 126 с.

112. ДСТУ ISO 9002-2020. Споруди транспорту. Класифікація, періодичність призначення та проведення планово-запобіжних ремонтів залізничних колій [Чинний від 2021-07-01]. Київ: Держстандарт України, 2020. 51 с. (Національні стандарти України).

113. Надежность железнодорожного пути // В. С. Лысюк, В. Б. Каменский, Л. В. Башкатова; Под ред. В. С. Лысюка. - М.: Транспорт, 2001, 286 с.
114. Как повысить надежность пути . В. С. Лысюк, Г. Г. Желнин, В. В. Кузнецов // Путь и путевое хозяйство, № 4, 2002. – С. 8-15.
115. СТП 02.01-004:2023. Верхня будова колії. Поточне утримання. Правила і технології виконання робіт. - К.: АТ «Укрзалізниця», 2023. – 325 с.
116. Блауберг И.В. Системный подход / И.В. Блауберг, В.Н. Садовський, Э.Г. Юдин // Новая философская энциклопедия. Ин-т философии РАН. – 2-е изд., испр. и допол. – М.: Мысль, 2010. – 342 с.
117. Воскобойников А.Э. Системные исследования: базовые понятия, принципы и методология // «Знание. Понимание. Умение». – 2013. – №6. – С. 12-16.
118. Метод статистической закономерности в управлении безопасностью движения на железнодорожном транспорте. В.Н. Самсонкин, В.А. Друзь. - Д.: ДонИИЖТ, 2005. - 160с.
119. Нечипоренко О. М. Основи надійності літальних апаратів [Текст]: навч. посіб. О. М. Нечипоренко. – К.: НТУУ «КПІ», 2010. – 240 с.
120. Мощний Ф. В. Аналіз непараметричних і параметричних критеріїв перевірки статистичних гіпотез. Частина I. Критерії узгодження Пірсона і Колмогорова // Статистика України. 2018. № 4. С. 14–24.
121. Bhattacharya, B., & Habtzghi, D. (2002). Median of the p Value Under the Alternative Hypothesis. The American Statistician, 56, 202 – 206.

## Додаток А

### Впровадження матеріалів дисертаційного дослідження

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІНФРАСТРУКТУРИ ТА ТЕХНОЛОГІЙ  
вул. Кирилівська, 9, м. Київ, 04071, Україна  
тел./факс: (044) 463-74-70, 482-51-26  
E-mail: duit@duit.edu.ua  
Код ЄДРПОУ 413303257



MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE  
OF UKRAINE  
STATE UNIVERSITY OF INFRASTRUCTURE  
AND TECHNOLOGIES  
9, Kyrylivska St., Kyiv, Ukraine, 04071  
tel./fax: (+38044) 463-7470, 482-51-26  
E-mail: duit@duit.edu.ua

Від 26 12 2023 р. № 980/01-1



ЗАТВЕРДЖУЮ:

Ректор ДУІТ

Надія БРАЙКОВСЬКА

#### ДОВІДКА

**про впровадження результатів дисертаційної роботи  
Сороки Ольги Олексіївни на тему «Прогнозування зносостійкості та  
строків служби стрілочних переводів в умовах експлуатації різних  
транспортних систем: магістрального транспорту та  
метрополітенів», яка виконана на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук**

На підставі рішення Вченої ради Інституту залізничного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій (протокол № 4 від 07 грудня 2023 р.) та рішення кафедри «Залізнична колія та колійне господарство» (протокол № 5 від 04 грудня 2023 р.) **впровадити в навчальний процес підготовки бакалаврів зі спеціальності 275.02 «Транспортні технології (на залізничному транспорті)» та магістрів зі спеціальності 273 «Залізничний транспорт» результати науково-дослідної роботи і теоретичні положення сформульовані в дисертаційній роботі Сороки Ольги Олексіївни**, а саме: нові методи прогнозування нормативних та гарантійних строків служби елементів конструкцій стрілочних переводів для експлуатаційних умов різних транспортних систем: метрополітенів та магістрального транспорту.

В.о. зав. кафедри залізничної колії та  
колійного господарства КІЗТ ДУІТ

Володимир БОЙКО

Директор Київського інституту  
залізничного транспорту ДУІТ

Володимир ТВЕРДОМЕД



АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО  
«ДНІПРОПЕТРОВСЬКИЙ СТІЛОЧНИЙ ЗАВОД»  
вул. Любарського, 181  
Україна, 49000, Дніпро

№ 17-942/1 від 25.12.2023



Затверджую  
Генеральний директор  
АТ «Дніпропетровський стрілочний завод»  
Сергій ТАРАНЕНКО

Акт

**про впровадження результатів дисертаційної роботи  
Сороки Ольги Олексіївни «Прогнозування зносостійкості та строків  
служби стрілочних переводів в умовах експлуатації різних транспортних  
систем: магістрального транспорту та метрополітенів»**

м. Дніпро

25.12.2023 р.

Даним актом засвідчується, що результати досліджень, виконаних в дисертаційній роботі Сороки О.О. впроваджені на підприємстві АТ «Дніпропетровський стрілочний завод» при встановленні гарантійних зобов'язань на стрілочну продукцію, які регламентуються нормативним документом СТП 06-041:2022 «Верхня будова колії. Стрілочні переводи. Правила визначення нормативних та гарантійних строків служби у різних експлуатаційних умовах». Матеріали дисертації були безпосередньо використані під час розробки даного стандарту підприємства. Зокрема, при розробці СТП результати проведених досліджень розглядалися та обговорювались на засіданнях «Стрілочних комісій» Департаменту колії та споруд АТ «Укрзалізниця» і враховували рекомендації і зауваження АТ «Дніпропетровський стрілочний завод».

Запропонована методика визначення гарантійних строків служби елементів стрілочних переводів регламентує відповідальність виробника перед замовником за якість поставленої стрілочної продукції і дозволяє встановлювати гарантійні вимоги до продукції для виробників.

Головний конструктор  
АТ «Дніпропетровський  
стрілочний завод»

Клара КОРНОУХОВА

**Комунальне підприємство  
«КИЇВСЬКИЙ МЕТРОПОЛІТЕН»  
СЛУЖБА КОЛІЇ, ТУНЕЛЬНИХ СПОРУД І БУДІВЕЛЬ**

[ АКТ ]

27.11.2023р.

Київ

№ 23/521-3

**про впровадження результатів дисертаційної роботи**

**Сороки Ольги Олексіївни «Прогнозування зносостійкості та строків  
служби стрілочних переводів в умовах експлуатації різних транспортних  
систем: магістрального транспорту та метрополітенів»**

м. Київ

27.11.2023 р.

Даним Актом засвідчується, що результати проведених експлуатаційних досліджень за роботою стрілочних переводів при експлуатації їх в діючих головних коліях метрополітену, в яких автор брала безпосередню участь, були використані при виконанні науково-дослідної роботи «Встановлення умов експлуатації рейок і стрілочних переводів на коліях Київського метрополітену» (від 01.10.2013 р. № 55 П-13), а в подальшому ці результати були використані в розробці нормативного документа «Технічні умови на експлуатацію стрілочних переводів на коліях Київського метрополітену». Тобто, засвідчується що результати науково-дослідних досліджень дисертаційної роботи Сороки Ольги Олексіївни впроваджені у нормативні документи по експлуатації конструкцій стрілочних переводів Київського метрополітену.

Начальник служби,

служби колії, тунельних споруд і будівель

Володимир СИДОРЕНКО

Заступник начальника служби

з утримання колійного господарства

Олександр ДАЦЕНКО

Начальник технічного відділу

служби колії, тунельних споруд і будівель

Юрій СОКОЛЕЦЬ