

4903

В21
МІНІСТЕРСТВО ТРАНСПОРТУ ТА ЗВ'ЯЗКУ УКРАЇНИ
ДНІПРОПЕТРОВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ ІМЕНІ АКАДЕМІКА В. ЛАЗАРЯНА

БАЛЬ ОЛЕНА МИРОНІВНА

О. Баль

УДК 625.143.3:620.179-192«401.7»

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВЕДЕННЯ
РЕЙКОВОГО ГОСПОДАРСТВА ЗА ПОКАЗНИКАМИ НАДІЙНОСТІ**

Спеціальність 05.22.06 – залізнична колія

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

НТБ
ДНУЗТ

Дніпропетровськ – 2008

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі «Колія та колійне господарство» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна Міністерства транспорту та зв'язку України.

Науковий керівник — доктор технічних наук, професор
РИБКІН Віктор Васильович,
Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна Міністерства транспорту та зв'язку України, професор, завідувач кафедри «Колія та колійне господарство».

Офіційні опоненти: — доктор технічних наук, професор
КУРГАН Микола Борисович,
Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна Міністерства транспорту та зв'язку України, професор, завідувач кафедри «Проектування та будівництво доріг»;

кандидат технічних наук, доцент
БЕЛОРУСОВ Олександр Ігорович,
Українська державна академія залізничного транспорту
Міністерства транспорту та зв'язку України, м. Харків, доцент кафедри «Колія і колійне господарство».

12. С. 1111. 0000 130
годині на засіданні
ькому національному
Лазаряна за адресою:
49010.

гровського
і академіка

НТБ
ДНУЗТ
М. О. Костін

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Вступ. Залізничний транспорт є основою транспортної системи України. Його ефективне функціонування є необхідною умовою стабілізації, піднесення та структурних перетворень економіки, розвитку внутрішньої та зовнішньоекономічної діяльності, підвищення життєвого рівня населення та забезпечення національної безпеки країни. В умовах інтеграції України в європейський та світовий економічний простір, зі збільшенням у зв'язку з цим обсягів вантажних і пасажирських перевезень, значення залізничного транспорту зростає. Реструктуризація залізничного транспорту, яка на даний час проходить в Україні, повинна створити умови для «досягнення рівня європейських і світових стандартів, що сприятиме прискоренню темпів євроінтеграції та максимальній реалізації транзитного потенціалу держави». Виходячи з цього, технічна політика колійного господарства базується на модернізації колійної інфраструктури, пошуку нових підходів до системи утримання колійного господарства та ін.

Рейкове господарство в колійній інфраструктурі відіграє важливу роль – це і безпека перевезень, і економічний важіль, від якого залежить як експлуатація, так і ремонт залізничних колій. Збільшення вантажонапруженості, осьового навантаження, швидкостей руху викликає зростання навантаженості залізничних колій, яка безпосередньо впливає на зростання інтенсивності утворення і розвитку дефектів елементів верхньої будови колії, зростання витрат на поточне утримання і ремонти колії. Ці питання є взаємопов'язані і потребують удосконалення методів розрахунку і оцінки стану залізничної колії та рейкового господарства. Оцінка стану залізничних рейок за показниками надійності є дуже важливою, оскільки дозволяє на основі сучасних методів теорії надійності, математичної статистики, теорії масового обслуговування прогнозувати стан системи в будь-який момент часу і дозволяє здійснювати планування технічного обслуговування системи за фактичними даними та ін.

Завданням даної дисертаційної роботи є встановлення оціночних критеріїв міцності залізничних рейок на основі показників надійності, з урахуванням експлуатаційних, конструкційних та кліматичних факторів, що суттєво впливають на роботу залізничної колії.

Актуальність теми. В сучасних ринкових умовах до транспортної системи України висуваються високі вимоги щодо якості, регулярності і надійності транспортних зв'язків, збереження вантажів та безпеки перевезення пасажирів, терміну та собівартості перевезення. У відповідності з цим українські залізниці повинні відповідати вимогам європейської інтеграції.

Необхідність удосконалення системи ведення колійної інфраструктури, в тому числі і рейкового господарства, визначена потребами покращення стану виробничо-технічної бази залізниць, який на даний час не відповідає зростаючим потребам суспільства та європейським стандартам надання послуг. Тому на сьогодні актуальним є питання підвищення економічної ефективності колійного комплексу, його технічного оснащення і управління. В умовах реформування українських залізниць Головним управлінням колійного господарства Укрзалізниці намічено багато напрямків розвитку колійного комплексу, одне з яких потребує введення нових засобів діагностики та прогнозування роботи рейок. Це дозволить формувати банк даних їх стану, на основі якого з метою аналізу і прогнозу змін, можна визначити необхідну

періодичність контролю і потребу в ремонтно-колійних роботах, виходячи з фактичного стану рейок. З метою створення системи утримання залізничних рейок, в дисертації розроблена модель життєвого циклу рейок у колії.

Окрім того, економічна ефективність колійного комплексу потребує чіткого розподілення залізничних ліній по категоріях, що в свою чергу потребує диференційованого підходу до оцінки стану залізничних рейок. Це вказує на актуальність визначення оціночних критеріїв міцності рейок, які б ґрунтувались на реальних процесах, що виникають в процесі експлуатації. Методика визначення оціночних критеріїв міцності є розроблена, проте в даній області залишилось невизначеним питання встановлення допустимого рівня поодиноких відмов рейок у колії, вибору критеріїв, які б забезпечували економічно-раціональний їх рівень, а також потрібно отримати математичні моделі відмов рейок для різних умов експлуатації. Цим питанням і присвячена дисертація.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тема дисертації пов'язана з планом виконання науково-дослідних робіт кафедри «Колія та колійне господарство» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна в сфері удосконалення технічних норм утримання колії і розробці технічної документації. Автор дисертації брала участь в науково-дослідних роботах, що виконувались за завданням Головного управління колійного господарства Укрзалізниці за темою «Проведення динаміко-міцнісних випробувань колії на залізобетонних шпалах з пружним скріпленням типу КПП, рейками UIC60 та розробці рекомендацій по встановленню швидкостей руху поїздів» (державний реєстраційний номер 0103U007770), договір № 205/03-9.03-ЦТех 53.148 від 25.04.2003 р.), а також у розробці нормативно-технічного документа «Правила розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість» ЦП-0117 затвердженого наказом Укрзалізниці від 13.12.2004 р. № 960-ЦЗ.

Мета і задачі досліджень. Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності ведення рейкового господарства шляхом розробки моделі оцінки стану залізничних рейок, встановлення оціночних критеріїв міцності рейок для різних умов експлуатації, що забезпечать їх нормальну роботу на основі умов міцності та надійності.

Для досягнення зазначеної мети необхідно вирішити такі задачі:

- провести системний аналіз існуючих досліджень роботи рейок у колії, оснований на теорії надійності та розробити загальну модель експлуатації рейок і модель життєвого циклу роботи рейок у колії;
- проаналізувати причину та фізику відмов рейок у колії на основі натурного експерименту на залізницях України;
- удосконалити і розробити методики та програмне забезпечення визначення інтенсивності різних видів відмов рейок у колії та виконати оцінку впливу на відмови експлуатаційних факторів;
- провести експериментальні статистичні дослідження роботи рейок у колії та перевірити розроблені методики на основі отриманих аналітичних залежностей;
- удосконалити і розробити критерії міцності та надійності роботи рейок, а також методику визначення допустимих напружень в рейках з урахуванням економічної доцільності їх експлуатації в конкретних умовах;
- розробити пропозиції щодо системи ведення рейкового господарства, яка забезпечує їх ефективну та надійну роботу в колії;

– провести економічний аналіз впливу технічних факторів на експлуатаційні показники роботи рейок у колії.

Об'єкт досліджень – рейки залізничної колії.

Предмет досліджень – показники міцності та надійності роботи рейок у залізничній колії.

Методи досліджень. У роботі використано комплексний метод досліджень, який включає аналітичну і експериментальну частини. Для аналітичних досліджень застосовували методи математичного і статистичного моделювання, в яких застосовувались марковські процеси, що опираються на теорію графів, теорію надійності систем та теорію масового обслуговування. Також використовувались методи проведення досліджень надійності роботи рейок у колії, і методи опрацювання та оцінки результатів цих досліджень оснований на теорії надійності. Методика експериментальних досліджень ґрунтується на аналізі фактичних відмов рейок у колії, які отримані за допомогою статистики ведення рейкового господарства. Фактичні відмови рейок визначаються в результаті періодичної перевірки колії діагностичними засобами контролю. Обробку експериментальних даних проводили на ПЕОМ, з допомогою Microsoft Excel, Maple, Matlab, використовуючи методи математичної статистики.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в такому.

1. Розроблено математичну модель експлуатації рейок та її основну складову – модель життєвого циклу роботи рейок у колії. Обидві моделі основані на методах теорії масового обслуговування і теорії надійності, що дозволяють із використанням необхідних експериментальних даних розв'язувати питання, пов'язані із забезпеченням надійності роботи рейок, і прогнозувати зміни показників надійності в залежності від умов експлуатації, характеристик рухомого складу, напружено-деформованого стану рейок та їх нормативних значень. Моделі відрізняються від існуючих моделей тим, що вони охоплюють всі можливі стани рейок від виготовлення до передачі їх у металообробку. При цьому в моделі життєвого циклу рейок у колії детально розписано зміну кожного можливого стану рейок із врахуванням часткової відмови, що потребує обмеження швидкості руху і повної відмови. Існуючі моделі в основному вміщували згруповані три види відмов. Модель життєвого циклу роботи рейок у колії для дефектів контактної-втомленого та втомленого характеру враховує в комплексі основний фактор, що впливає на відмови, а також додаткові експлуатаційні фактори, що було відсутнє в попередніх дослідженнях. У результаті це дозволяє точніше досліджувати процес зміни інтенсивності відмов рейок за період експлуатації.

2. Встановлено аналітичні залежності між експлуатаційними, конструктивними факторами і значеннями інтенсивності відмов рейок у колії та удосконалена методика їх визначення, що використовується при розв'язанні задач економічно-раціональної роботи рейок у різних умовах експлуатації.

3. Вперше запропоновано критерії визначення допустимого рівня поодиноких відмов рейок, який забезпечує економічно-раціональну їх роботу в колії. Розраховані значення допустимого рівня відмов рейок використовуються в прийнятій Укрзалізницею методиці визначення допустимих напружень в рейках, що враховує реальні умови експлуатації на основі надійнісного підходу до їх визначення.

4. Запропоновано оціночні критерії міцності рейок для безстикової конструкції колії, що враховують інтенсивність накопичення деформацій рейок

залізничної колії і забезпечують необхідний рівень надійності рейок у процесі експлуатації.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що критерії міцності і надійності колії дають можливість удосконалити стратегію розвитку і функціонування рейкового господарства і приймати рішення з врахуванням методів ринкової економіки.

Розроблені й удосконалені наукові рішення дозволяють підвищити ефективність ведення рейкового господарства, що є важливим у сучасних ринкових умовах. А саме в даній дисертації:

- отримані кореляційні залежності інтенсивності відмов рейок у колії, які відрізняються від попередніх врахуванням додаткових факторів, що на них впливають;

- встановлено допустимі значення інтенсивності відмов рейок для різних умов експлуатації, які можуть бути використані для планування ремонтів та інших практичних задач;

- запропоновано нові оціночні критерії міцності рейок для технічної оцінки в різних умовах експлуатації. Отримані оціночні критерії міцності використані при підготовці даних у «Правилах розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість» ЦП-0117, затверджених наказом Укрзалізниці від 13.12.2004 р. № 960-ЦЗ.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій підтверджується адекватно обраним математичним апаратом, проведенням експериментальних досліджень з достатнім збігом одержаних теоретичних та практичних результатів, позитивними результатами використання розробок на діючій залізничній колії.

Особистий внесок здобувача. Усі наукові положення, розробки й результати досліджень, що виносяться на захист, отримані особисто автором. У наукових працях, що опубліковані в співавторстві, особистий внесок автора такий: у роботі [1] – розроблено математичну модель життєвого циклу рейок з використанням методів теорії масового обслуговування та теорії надійності; у роботі [8] – на стадії планування експерименту вибрано: незалежну змінну, фактори, які можливо впливають на відмови рейок, рівні для кожного фактора, крім того на стадії підготовки складено математичну модель для опису експерименту; у [6] – розроблено методику збору даних і зібрані фактичні дані про відмови рейок у колії; також на основі аналізу фізики відмов запропоновано закони розподілу відмов для різних видів дефектів; у [9] – виконано факторний дисперсійний аналіз впливу різних факторів на відмови рейок у колії; у роботі [5] – запропоновано розглядати оціночні критерії міцності рейок із точки зору їх надійності; у [3] – розроблено методику визначення допустимих напружень в рейках; у [2, 7] – запропоновано диференціацію допустимих напружень в рейках по категоріях колії, враховуючи реальні умови експлуатації рейок у колії; у роботах [4, 10-12] – удосконалено методику визначення поодиноких відмов рейок у колії, отримано загальні рівняння інтенсивності потоку відмов рейок у колії в результаті апроксимації експериментальних залежностей.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати дисертації докладалися на: Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми взаємодії путі и подвижного состава», присвяченій 90-річчю професора М.А. Фрішмана (Дніпропетровськ, жовтень 2003 р.); Першій

науково-практичній конференції «Проблеми та перспективи розвитку транспортних систем: техніка, технологія, економіка і управління» (Київ, грудень 2003 р.); 11-й Міжнародній конференції по проблемах механіки залізничного транспорту (Дніпропетровськ, травень 2004 р.); Міжнародній науково-технічній конференції “Современные проблемы путевого комплекса. Повышение качества подготовки специалистов и уровня научных исследований”, присвяченій 100-річчю з дня народження професора Г.М.Шахунянца (Москва, жовтень 2004 р.); 65 Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми и перспективы развития железнодорожного транспорта» (Дніпропетровськ, травень 2005 р.); Третій науково-практичній конференції «Проблеми та перспективи розвитку транспортних систем: техніка, технологія, економіка і управління» (Київ, грудень 2005 р.); 66 Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми и перспективы развития железнодорожного транспорта» (Дніпропетровськ, травень 2006 р.); 67 Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми и перспективы развития железнодорожного транспорта» (Дніпропетровськ, травень 2007 р.); Міжвідомчій комісії по рейкам та рейковим скріпленням (жовтень 2007 р.). Повністю дисертаційна робота докладалася на науково-практичному міжкафедральному семінарі кафедр «Колія і колійне господарство» і «Проектування та будівництво доріг» (Дніпропетровськ, листопад 2007 р.), на кафедральному науковому семінарі кафедри «Колія та колійне господарство» (Харків, 2008 р.).

Публікації. Основні положення дисертації опубліковані в 12-ти наукових працях, у тому числі: 4 - у фахових виданнях, 8 - у матеріалах конференцій.

Структура дисертації. Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел і шести додатків. Повний обсяг складає 236 сторінок друкованого тексту, в тому числі: 27 рисунків викладено на 16 сторінках, 22 таблиці - на 23 сторінках, список літератури з 131 найменувань займає 14 сторінок, та 6 додатків викладено на 77 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовані мета й задачі досліджень, зображена наукова новизна результатів, їх практичне значення.

У першому розділі узагальнено багаторічний досвід досліджень роботи рейок у колії, які ґрунтуються на теорії надійності. Проведено ретроспективний аналіз досліджень моделей технічного стану залізничної колії та її елементів, аналіз існуючих моделей відмов рейок, узагальнено дослідження оціночних критеріїв міцності колії.

Питання надійності роботи рейок, їх оцінка широко розглядається в працях багатьох вітчизняних та зарубіжних вчених. Історію розвитку цього питання можна віднести до другої половини ХХ ст., так як, на цей момент інтенсивно почали розвиватись нові науки – теорія надійності, механіка руйнування, трибофатика.

Вагомий вклад у розвиток теорії надійності залізничної колії внесли наступні вітчизняні та зарубіжні вчені: зокрема праці докторів технічних наук Х. Балуха, Б. Е. Глюзберга, В. О. Гриценко, О. Ф. Золотарського, М. І. Карпушенко, З. Л. Крейниса, В. В. Рибкіна, В. М. Філіппова і кандидатів технічних наук Л. В. Башкатової, А. С. Васильєва, В. С. Лисюка, П. В. Ковтуна, П. С. Соколова, П. П. Цуканова в основному присвячені надійності експлуатації окремих елементів верхньої будови колії, або в окремих роботах зроблено

комплексний підхід до оцінки надійності колії як системи взаємозалежних елементів, що обслуговуються.

Розробка моделей відмов рейок знайшла своє відображення в працях докторів технічних наук В. Г. Альбрехта, О. Я. Когана, В. О. Певзнера, В. Л. Порошина, В. В. Рибкіна, Л. А. Сосновського, В. І. Тихомірова і кандидатів технічних наук А. Ю. Абдурашитова, А. В. Гавриленка, М. В. Клокова, Л. Г. Крисанова, Л. П. Мелентьева, О. М. Патласова, А. І. Скакова, О. С. Скворцова, Е. С. Спіридонова, Г. І. Тарнопольського, Г. Г. Ядрошнікової. У всіх розроблених моделях основним фактором впливу на відмови виступає пропущений тоннаж, у деяких роботах враховано також інші експлуатаційні фактори. Аналіз цих моделей показав, що вони можуть бути використані в межах тих умов, для яких вони розроблялись.

Розрахунки колії на міцність протягом всього існування постійно вдосконалювались, шукались нові напрямки методів розрахунку, а також способів оцінки розрахунків. Створенням і практичним впровадженням допустимих напружень в рейках із критерію опору руйнування при одноразовому навантаженні займався колектив у складі д.т.н. М. Ф. Веріго, д.т.н. В. М. Данилова, д.т.н. М. А. Фрішмана, О. П. Єршкова, А. Х. Ветченко, С. Н. Попова, Б. Д. Хействера під керівництвом Е. М. Бромберга. У подальшому визначення допустимих напружень в рейках вдосконалювалось. Ці дослідження знайшли своє відображення в працях докторів технічних наук С. В. Амеліна, М. Ф. Веріго, Е. І. Даниленка, М. І. Смірнова, Г. М. Шахунянца, Е. А. Шура, В. Ф. Яковлева і кандидатів технічних наук С. С. Крепкогорського, В. С. Лисюка, О. О. Шехватова.

Аналіз робіт, присвячених експериментальному і теоретичному дослідженням у галузі визначення оціночних критеріїв міцності показав, що на сьогоднішній день актуальним є підхід їх визначення з умови забезпечення їх надійності. Тобто, оціночні критерії міцності рейок повинні відповідати динамічним процесам в реальних умовах експлуатації, враховувати кількість й інтенсивність їх відмов. На українських залізницях до 2006 року нормативними документами це не було враховано. Проте це питання не є новим. Існує методика розрахунку оціночних критеріїв міцності рейок, яка визначена з умови не перевищення допустимої кількості їх відмов, що була розроблена російськими вченими. При цьому оціночні критерії міцності рейок встановлені для ланкової конструкції колії. Крім цього, на сьогоднішній день відсутня методика визначення допустимої інтенсивності відмов рейок, за якою можна буде визначити економічно-раціональний рівень поодиноких їх відмов, з подальшим використанням їх для оціночних критеріїв міцності. Для цього потрібно розробити нову модель інтенсивності відмов рейок у колії, яка б включала різні параметри експлуатації.

Таким чином, необхідно провести дослідження по встановленню закономірності інтенсивності відмов рейок у різних умовах експлуатації, провести необхідний аналіз щодо впливу експлуатаційних факторів на їх відмови, встановити допустимий рівень поодиноких відмов рейок, дати рекомендації щодо граничних станів рейок на основі не перевищення допустимої кількості відмов.

У другому розділі проведено теоретичні дослідження відмов рейок у колії. Перш за все проаналізовано відмови рейок протягом експериментального періоду, який показав: узагальнені поодинокі відмови рейок зростають із збільшенням терміну напрацювання; поодинокі відмови рейок залежать від

конструкції колії і виду зміцнення, а саме встановлено, що в не загартованих рейках частіше виникають дефекти, і в ланковій колії вони переважають в порівнянні з безстиковою конструкцією колії; дефекти контактної-втомленого та втомленого походження займають основне місце в загальній групі дефектів. Відсоткове співвідношення за видами дефектів контактної-втомленого та втомленого походження наступне на ділянках безстикової колії: 11 – 2%, 21 – 35%, 24 – 15%, 30.В – 21%, 30.Г – 7%; на ділянках ланкової колії: 11 – 0.4%, 21 – 39%, 24 – 33.6%, 30.Г – 9.8%, 30.В – 3.1%. Цей аналіз використовується в підходах визначення інтенсивності відмов рейок у колії та при моделюванні роботи рейок у колії.

Розглянуто існуючу систему утримання рейок на залізницях України і виділено напрями, які заплановано удосконалити в даному дослідженні. Згідно системи утримання рейок, яка склалась на залізницях України розроблена загальна модель експлуатації рейок із врахуванням їх поточного утримання та можливості повторного застосування староприслужних рейок у коліях різного призначення. У загальному дереві життя рейок охоплює такі стадії: виготовлення рейок; робота рейок у головній колії різних категорій; робота рейок у станційних коліях (приймально-відправних й беззупинкового руху поїздів); робота в інших станційних та під'їзних коліях; металобрухт. Наведені стадії життя рейок зв'язані між собою інтенсивностями постачання, ремонту, переукладання або зняття рейок. Загальна математична модель експлуатації рейок базується на системі окремих динамічних моделей, які її наповнюють.

На основі аналізу нормативно-технічної документації експлуатації рейок та з допомогою теорії графів розроблено модель життєвого циклу роботи рейок у колії, яка дозволить отримати кількісну і якісну оцінку надійності функціонування рейок у часі й прогнозувати зміну їх надійності. Модель життєвого циклу роботи рейок у колії включає всі види дефектів і систему технічного обслуговування рейок. Кожний прямокутник на рис. 1 відтворює один із можливих станів рейки. Справний стан рейки для головних колій прийнято такий, при якому забезпечується швидкість пасажирських поїздів 140 км/год, а вантажних 90 км/год (стан 0 на рис. 1) Граничний стан рейок – є повною відмовою і рух по них заборонено. Повна відмова рейки вважається такою, коли вона знаходиться в станах 6, 13, 18, 23, 28, 32, 33, 34, 39-42, 45, 59. При цьому в модель включено часткові відмови рейок, які вимагають обмеження швидкості руху поїздів. Також у моделі враховано переходи утворення одного виду дефекту в інший. Можливі переходи станів рейок відтворюються стрілками, що являють собою інтенсивності відмов та інтенсивності відновлення. Потоки відмов $\lambda_i(t)$ – це інтенсивність накопичення дефектів і пошкоджень в рейках, а потоки відновлення $\mu_i(t)$ характеризують інтенсивність виконання робіт по їх усуненню або попередженню.

Граф переходу системи містить кінцеве число можливих станів $i=0, 1...59$ і параметр t (попущений тоннаж) мінється безупинно, і перехід з одного стану в інший можливий в будь-який момент t . Позначимо $P_i(t)$ як ймовірність знаходження системи в i -тому стані.

Для визначення ймовірностей знаходження рейок в кожному стані, на основі графа приведенного на рис.1 складено систему диференціальних рівнянь. Система приведена в матричному вигляді:

$$\frac{\partial B}{\partial t} = A \cdot B, \quad (1)$$

0 - справний стел колі V=140/90

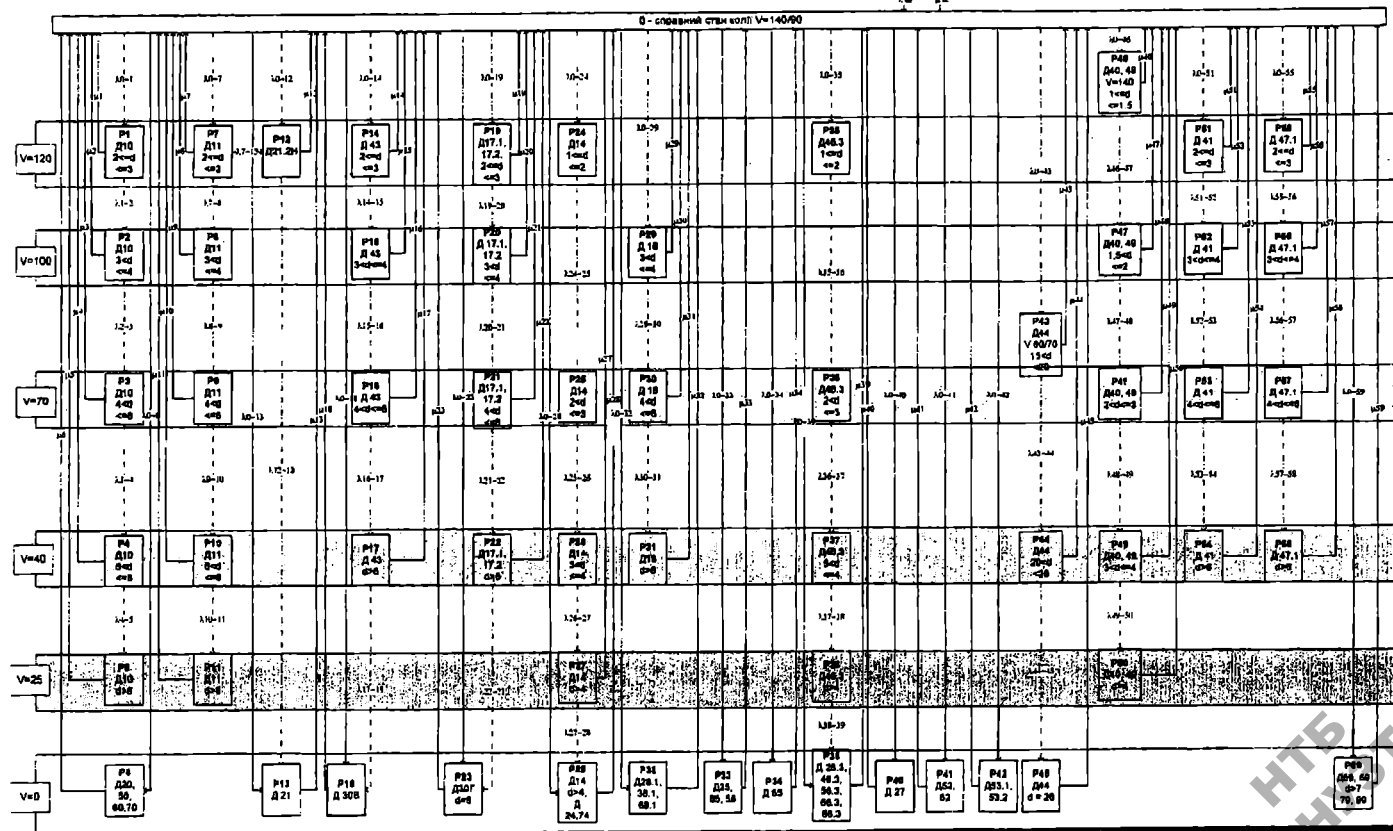


Рисунок 1 – Модель життєвого циклу рейок у колії.

де B – матриця ймовірностей знаходження рейок в i -тому стані:

$$B = \begin{pmatrix} P_0 \\ P_1 \\ \dots \\ P_{39} \end{pmatrix}. \quad (2)$$

A – матриця коефіцієнтів, які складаються з інтенсивності відмов та інтенсивності відновлення:

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & a_{m2} & a_{mn} \end{pmatrix}, \quad (3)$$

де a_{mn} ($m = 1 \dots 60$, $n = 1 \dots 60$) – елементи матриці.

При цьому:

$$\sum_{i=0}^{59} P_i(t) = 1, \quad (4)$$

Отримання відомостей щодо надійності роботи рейок у колії здійснювалось на основі опрацювання статистичної інформації про відмови з визначенням їх інтенсивності відмов та відновлення.

Третій розділ присвячено експериментальним статистичним дослідженням відмов рейок у колії.

У даному розділі розроблено методику визначення інтенсивності відмов рейок у колії. Експериментальні статистичні дослідження проводили на основних напрямках Придніпровської залізниці. Загальні показники проведеного експерименту наступні: обсяг експерименту – загальна довжина дослідних ділянок, які прийняті в розрахунок, $L = 3784,5$ км; кількість дослідних напрямів – 22 напрями; кількість ділянок – 62 ділянки; мінімальна довжина ділянки – 20 км, визначена виходячи із заданої довірчої вірогідності $\beta = 0,95$ і відносної похибки $\varepsilon = 0,1$. Вплив коротких ділянок знижується коефіцієнтом K_ε ; термін проведення експерименту – протягом 5 років; загальна кількість відмов рейок на дослідних ділянках – 2331 шт.

Розроблено методику збирання інформації про дослідні ділянки і зібрано наступні характеристики для кожного елемента: вантажна напруженість, середнє осьове навантаження, план та профіль лінії, пропущений тоннаж після модернізації, швидкість руху поїздів та режим ведення поїзда. При цьому вплив конструкції колії враховувався першопочатковим розбиттям дослідних ділянок на ланкову та безстикovu конструкцію колії. Дані про поодинокі відмови рейок за період з 1999 по 2003 рік на дослідних ділянках Придніпровської залізниці отримано з „Відомості обліку рейок, знятих з ділянок колії” (форма ПУ-4).

Враховуючи існуючі наукові підходи виникнення і розвитку дефектів, проаналізовано вплив різних експлуатаційних факторів на відмови рейок у колії. На основі цього вибрано основні фактори, які будуть враховуватись в дослідженні роботи рейок у колії. Для визначення впливу встановлених експлуатаційних факторів на інтенсивність потоку відмов рейок у колії λ , шт./км млн. т, поставлено статистичний експеримент, який складається з трьох етапів: експеримент, планування та аналіз.

Визначення числових даних інтенсивності потоку відмов рейок на дослідних ділянках потребувало розроблення програми їх розрахунку, тому що охоплювало значну базу вхідних параметрів. Це пояснюється великою різноманітністю конструктивних параметрів і умов експлуатації на окремих

лініях, що виключає можливість узагальнити їх математичний опис і потребує стільки кривих скільки є характерних ділянок. Програмною основою для проведення математичних розрахунків числових даних інтенсивності відмов рейок, статистичної обробки результатів та отримання графічних зображень вибрано математичну систему матричного моделювання MATLAB 6.5, в якій було розроблено самостійну програму з графічним інтерфейсом.

За даними спостережень для кожної дослідної ділянки з однаковими факторами числові дані інтенсивності потоку відмов рейок визначається за формулою

$$\lambda_{ijk\dots n} = \frac{N_{ijk\dots n}}{l_{ijk\dots n} \cdot \Delta T_k}, \quad (5)$$

де $N_{ijk\dots n}$ – кількість рейок, що вилучені в результаті одиночної заміни на дослідній ділянці, шт.;

$l_{ijk\dots n}$ – довжина дослідної ділянки, км.;

ΔT_k – пропущений тоннаж за період спостережень, млн. т.

У дослідженні проводився однофакторний дисперсійний аналіз для різних факторів і багатфакторний дисперсійний аналіз, на основі якого встановлено, що пропущений тоннаж (Т), осьове навантаження (Р), кривизна (R), вантажонапруженість (Г) значно впливають на інтенсивність відмов рейок у колії. Найбільший вплив належить факторам плану лінії, пропущеного тоннажу та осьовому навантаженню. Вплив взаємодії факторів спостерігається при наступних комбінаціях: осьового навантаження і кривизни колії; пропущеного тоннажу й осьового навантаження; вантажонапруженості й осьового навантаження; пропущеного тоннажу та кривизни; пропущеного тоннажу, осьового навантаження та кривизни. Фактор швидкості руху має незначний вплив на інтенсивності відмов рейок у колії, тому в подальшому цей фактор не враховується.

На основі визначених числових даних інтенсивності потоку відмов рейок у колії розроблено модель відмов рейок для дефектів контактнo-втомленого та втомленого характеру, яка вміщує експлуатаційні фактори, встановлені за допомогою факторного дисперсійного аналізу. Інтенсивність потоку відмов у загальному описується наступною функцією:

$$\lambda_{кр}^T = (a_0 + a_1 \cdot P + a_2 \cdot \Gamma + a_3 \cdot R) \times T^{(b_0 + b_1 \cdot P + b_2 \cdot \Gamma + b_3 \cdot R)}. \quad (6)$$

Для визначення невідомих постійних коефіцієнтів використовується метод найменших квадратів. Постійні коефіцієнти $a_0, a_1, a_2, a_3, b_0, b_1, b_2, b_3$ обчислено в програмі MAPLE 9. Результати розрахунку для прямих і кривих ділянок колії в залежності від конструкції приведено в табл. 1. Крім цього в табл. 1 для кривих ділянок розглянуто варіант степеневої залежності по радіусу. Дані результати оснований на дефектах контактнo-втомленого та втомленого походження для рейок Р65 загартованих.

Інтеграл залежності (6) по пропущеному тоннажу дає сумарні поодинокі відмови рейок за період експлуатації в залежності від вантажонапруженості ділянки, плану лінії та осьового навантаження. На рис. 2а, 2б приведені приклади для кривої R=600 м і Г=35 млн. т км бруто / км у рік на ділянці безстикової колії та прямої ділянки при цих же умовах.

Інтенсивність потоку відновлення рейок μ_r у математичній моделі життєвого циклу рейок характеризує виконання колійних робіт пов'язаних із

заміною чи ремонтом рейок. Фізичний зміст потоку відновлення представляє собою кількість одиниць об'єму відновлення рейок, які приходять на період пропуску 100 млн.т вантажу брутто.

Таблиця 1

Коефіцієнти апроксимації загальних рівнянь інтенсивності потоку відмов рейок

Коефіцієнти апроксимації	Прямі ділянки		Криві ділянки			
	Ланкова колія	Безстикова колія	Ланкова колія		Безстикова колія	
	Степенева залежність		Степенева залежність (R)	Степенева залежність (T)	Степенева залежність (R)	Степенева залежність (T)
1	2	3	4	5	6	7
a_0	$0,196 \cdot 10^{-5}$	$0,105 \cdot 10^{-6}$	13,555	$0,118 \cdot 10^{-4}$	11,494	$0,988 \cdot 10^{-3}$
a_1	$0,579 \cdot 10^{-7}$	$0,572 \cdot 10^{-7}$	0,120	$0,581 \cdot 10^{-7}$	0,113	$0,578 \cdot 10^{-7}$
a_2	-	-	$2,011 \cdot 10^{-2}$	$0,55 \cdot 10^{-7}$	$1,958 \cdot 10^{-2}$	$0,538 \cdot 10^{-7}$
a_3	$0,545 \cdot 10^{-8}$	$0,535 \cdot 10^{-8}$	$0,162 \cdot 10^{-2}$	$-0,491 \cdot 10^{-8}$	$0,158 \cdot 10^{-2}$	$-0,489 \cdot 10^{-8}$
b_0	1,203	1,191	1,302	1,212	1,294	1,202
b_1	$0,682 \cdot 10^{-2}$	$0,678 \cdot 10^{-2}$	$-0,921 \cdot 10^{-2}$	$0,697 \cdot 10^{-2}$	$-0,822 \cdot 10^{-2}$	$0,685 \cdot 10^{-2}$
b_2	$0,545 \cdot 10^{-3}$	$0,530 \cdot 10^{-3}$	$-0,856 \cdot 10^{-3}$	$0,553 \cdot 10^{-3}$	$-0,825 \cdot 10^{-3}$	$0,536 \cdot 10^{-3}$
b_3	-	-	$-0,515 \cdot 10^{-2}$	$-0,562 \cdot 10^{-3}$	$-0,438 \cdot 10^{-2}$	$-0,556 \cdot 10^{-3}$

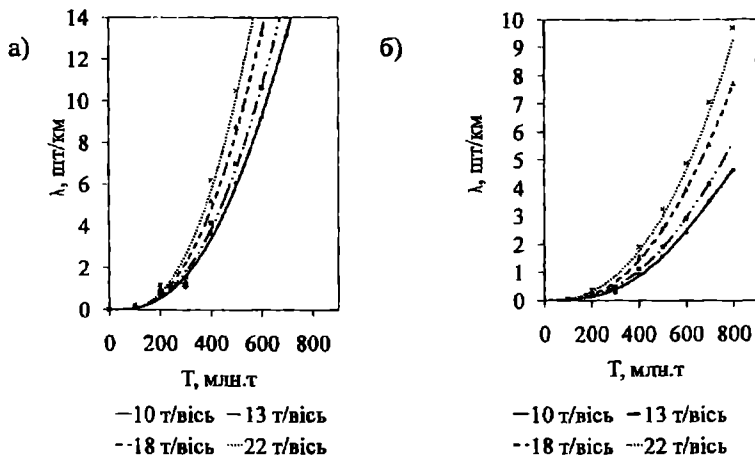


Рисунок 2 – Сумарні відмови рейок.

Одиниця вимірювання потоку відновлення прийнята 1/100 млн.т пропущеного вантажу брутто. Одиниця об'єму відновлення рейок складає – одну рейку.

Аналітичний зв'язок між інтенсивністю потоку відновлення і витратою робочої сили на заміну рейок представлений у виді:

$$H_p = \frac{H_s \cdot \mu}{8 \cdot K_d \cdot t}, \quad (7)$$

де H_s - норма часу на заміну однієї рейки, нормо-годин;

K_d - середня кількість днів в році, рівна 252 дні.

Оскільки основною властивістю залізничної колії, і в тому числі рейок є неперервність їх роботи, то число відновлень приймається рівним числу відмов.

У четвертому розділі розроблено методику визначення допустимого рівня поодиноких відмов рейок для різних умов експлуатації, удосконалено методику визначення оціночних критеріїв міцності рейок і отримано результати їх розрахунку для безстикової конструкції колії в різних діапазонах вантажонапруженості.

Визначення допустимої інтенсивності відмов рейок диференційованої для різних умов експлуатації ґрунтується на наступних критеріях.

1. Технічний критерій, який забезпечує безпеку руху поїздів.

2. Економічний критерій, який визначається виходячи з мінімуму сумарних витрат на перевезення вантажів і витрат колійного господарства, що пов'язані з поодиноким заміною рейок.

Крім відомих зазначених критеріїв, рівень відмов рейок у колії обмежується також додатковими критеріями, а саме:

- можливість надання «вікон» для виконання ремонтів колії;
- наявність людських ресурсів (працевитрати) на поточне утримання;
- наявність фінансових ресурсів.

Економічний критерій показує економічно-раціональний рівень відмов рейок у колії. При цьому він повинен бути менший за рівень, що забезпечує безпеку руху поїздів.

Технічний критерій характеризує працездатність рейок на ділянці. В якості технічного критерію в роботах Золотарського А. Ф., Цуканова П.П. прийнято сумарне накопичення питомих поодиноких відмов рейок. Цей критерій використовувався для призначення суцільної зміни рейок.

Функціональна залежність сумарних витрат в залежності від рівня поодиноких відмов рейок у колії має наступний вигляд:

$$E = E_{zp} + E_{zn} + E_n, \quad (8)$$

де E_{zp} - витрати на поодинокую заміну рейок при поточному утриманні;

E_{zn} - витрати на оплату робочої сили при поодинокій заміні рейок;

E_n - витрати на перевезення вантажів.

Раціональний рівень відмов рейок для заданих умов експлуатації визначається з умови економічно-раціональної роботи, при якій сумарні витрати колійного господарства та перевезення вантажів повинні бути мінімальними. Даний мінімум функції отримуємо взявши першу похідну $\frac{dE}{d\lambda}$ і прирівнявши її до нуля. Розв'язок даної задачі в дисертації здійснено в програмі Maple9.

Розрахунки зроблено для прямих і кривих $R > 2000$ м для різної вантажонапруженості, а саме: при вантажонапруженості 80 млн. т км брутто/км в рік економічно-раціональні поодинокі відмови рейок складають $[\lambda] = 5,6 \text{ шт/км}$, при 50 млн. т км брутто/км - $[\lambda] = 6,5 \text{ шт/км}$, при 30 млн. т км брутто/км - $[\lambda] = 8 \text{ шт/км}$.

У дисертації удосконалено існуючу методику визначення допустимих напружень в рейках. До даної методики запропоновано зміни у визначенні фактичної величини інтенсивності відмов рейок у колії, також врахування в розрахунку оціночних критеріїв міцності рейок допустимого рівня відмов, який отримано в даній роботі.

Згідно існуючої методики достатня і необхідна умова міцності рейок має такий вигляд:

$$\begin{cases} \sigma^{\text{розр}} \leq [\sigma_p]_{\text{дв}}, \\ \sigma^{\text{розр}} \leq [\sigma_p]_{\text{ку}}, \end{cases} \quad (9)$$

де $\sigma^{\text{розр}}$ – розрахункові напруження в рейках.

Допустимі напруження в рейках по достатній умові $[\sigma_p]_{\text{дв}}$:

$$[\sigma_p]_{\text{дв}} = f(K_i; k; [\lambda]), \quad (10)$$

де K_i – категорія колії;

k – інтегральна характеристика фізико-механічних властивостей розрахункового елемента колії (рейки типу Р65, термозміцненні);

$[\lambda]$ – допустима величина відмов рейок, що накопичується за весь період експлуатації між їх оновленнями.

Критерієм міцності сучасних конструкцій колії є таке навантаження на її несучі елементи, при яких кількість відмов між оновленнями її верхньої будови колії не буде перевищувати допустиму величину.

Загальний вигляд системи умови працездатності рейок має наступний вигляд:

$$\begin{cases} [\lambda] - K_y \cdot \lambda_1(T, P, K, \Gamma) \geq 0 \\ [\lambda] - K_y \cdot \lambda_2(T, P, K, \Gamma) \geq 0 \end{cases}, \quad (11)$$

де $[\lambda]$ – допустима величина і – того виду відмов рейок, що накопичується за весь період експлуатації між їх оновленнями;

$\lambda_1(T, P, K, \Gamma)$ – фактична величина напрацювання і-тої відмови рейки в залежності від пропущеного тоннажу, осьового навантаження, плану лінії та вантажонапруженості (відповідно до позначень в дужках);

K_y – безрозмірний коефіцієнт, який враховує можливий вплив інших факторів на накопичення відмов в рейках.

Критерій достатньої експлуатаційної умови міцності рейок визначається з виразу (11) шляхом його розв'язання відносно навантаження P для граничних випадків, тобто після заміни нерівності рівностями.

Основою формалізованих умов міцності рейок є функція накопичення їх відмов чи пошкоджень $\lambda_i(T, P, K, \Gamma)$, що в явному вигляді представлена в розділі 3. Інтеграл даної залежності по пропущеному тоннажу дає сумарні фактичні відмови рейок протягом заданого періоду експлуатації в залежності від вантажонапруженості, осьового навантаження та плану лінії. За цими розрахунками отримуємо функцію сумарних відмов рейок. Прирівнявши функцію сумарних відмов рейок до $[\lambda]$ і обчисливши його відносно осьового навантаження P , отримуємо середнє допустиме значення навантаження $[P]$. Допустиме еквівалентне значення поїзного навантаження $[P]$ знаходиться шляхом коригування середнього допустимого значення $[P]$ врахуванням коефіцієнта зв'язку між середнім та еквівалентним значеннями, коефіцієнта рівня ймовірності, коефіцієнта зміни діючих поїзних динамічних навантажень, рівних відношенню середньоквадратичного їх відхилення до середнього по заданій ділянці.

Якщо використовувати в якості міри силової дії коліс на рейки замість допустимого еквівалентного навантаження допустимі згинаючі напруження, які лінійно залежать від них, то оціночний критерій міцності для рейок за достатньою умовою $[\sigma_p]_{\text{доп}}$ можна представити, перейшовши від навантажень до напружень, у вигляді рівняння

$$[\sigma_p]_{\text{доп}} = \xi \cdot [P], \quad (12)$$

де ξ – коефіцієнт переходу від навантажень до напружень, які виникають в кромках підшви рейки. Даний коефіцієнт залежить від модуля пружності підрейкової основи, від розрахункових характеристик поперечного перерізу рейок, від коефіцієнта переходу від осьових напружень в підшві рейки до кромочних в підшві.

У даній роботі на основі вищенаведеної методики було проведено розрахунки оціночних критеріїв міцності для загартованих рейок типу Р65, які працюють в безстиківій конструкції колії, як для найбільш поширеної конструкції колії в Україні. Було розглянуто, як змінюється величина оціночних критеріїв міцності в рейках у залежності від вантажнапруженості. При цьому розрахунки проводилися для прямих і кривих $R > 2000$ м при заданому сумарному пропущеному тоннажу по колії ($T_{\text{сум}} = 800$ млн. т). Для ділянок із особливо низькою вантажнапруженістю значення критеріїв міцності може виходити за межу допустимих напружень в рейках при розрахунку по крихкому зламу чи залишковому гину, тому їх потрібно обмежувати. На рис. 3 приведено результати розрахунку оціночних критеріїв міцності в залежності від різних допустимих сумарних відмов рейок при різних значеннях вантажнапруженості.

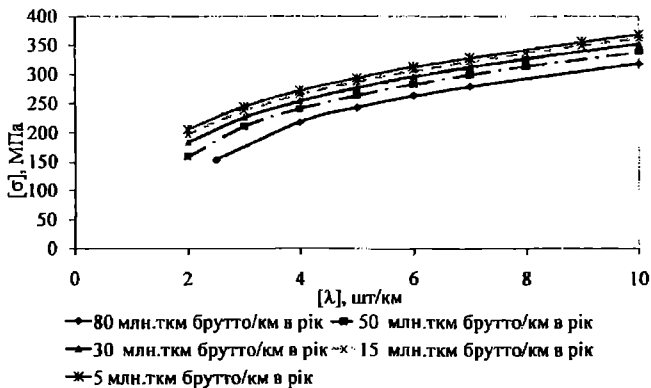


Рисунок 3 - Залежність сумарних відмов рейок від напружень, які виникають в підшві рейки при різних значеннях вантажнапруженості. (Рейки типу Р65, загартовані, безстикова конструкція колії).

У результаті розрахунків допустимі напруження в рейках визначено з умови не перевищення допустимої кількості відмов рейок за період нормативного напруження. Значення допустимих напружень приведено в табл. 2 в залежності від вантажнапруженості. Оскільки на ділянках з малою вантажнапруженістю отримано високі значення допустимих напружень в рейках, прийнято рішення обмежити їх розрахунками на витривалість в лабораторних умовах.

Отримані результати порівнювались з результатами, які визначено за існуючими методиками, а саме допустимі напруження в рейках при розрахунку на витривалість при багато цикловій роботі в лабораторних умовах складають для загартованих рейок при розрахунку на розтяг – 310 МПа, стиск – 350 МПа. Ці дані відрізняються від напружень визначених за методикою, яка основана на допустимому рівні відмов рейок на 3-5% при середніх умовах експлуатації колії. У порівнянні з результатами, розрахованими за методикою ВНИИЖТУ, отримані в дисертації значення відрізняються на 2-14% при різних значеннях вантажонапруженості.

Таблиця 2

Оціночні критерії міцності в рейках до пропуску нормативного тоннажу для безстикової колії рейок Р65, загартованих

Вид рухомого складу	Область на рейці	Значення оціночних критеріїв міцності при вантажонапруженості, млн.т км бруutto/км у рік					
		більше 80	80...50	50...30	30...15	15...5	менше 5
Локомотиви	Підопшва	290	300...320	320...360	360	360	360
	Головка	330	340...360	360...400	400	400	400
Вагони	Підопшва	250	260...280	280...320	320	320	320
	Головка	290	300...320	320...360	360	360	360

Основна одиниця рухомого складу, яка впливає на колію, є вагони і їх маса – найбільш вагома складова, яка формує вантажонапруженість ділянки. Тому для локомотивів, внаслідок їх суттєво меншої дії на колії можливе збільшення границі допустимих напружень, що коливається в межах 11...15%.

У результаті виконаних експериментальних досліджень визначено оціночні критерії міцності рейок. Це дозволить ефективніше ввести рейкове господарство в сучасних ринкових умовах. Результати експериментальних досліджень були використані в правилах розрахунку колії на міцність.

У *п'ятому розділі* визначено економічні показники роботи рейок у колії, а саме, визначено експлуатаційні витрати колійного господарства та витрати на перевезення вантажів.

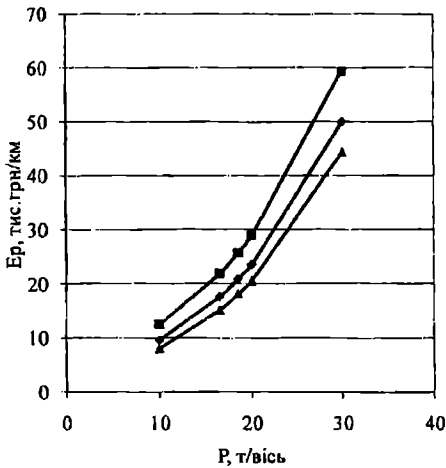
Експлуатаційні витрати в колійному господарстві на заміну рейок у колії визначали використовуючи криві сумарного накопичення відмов рейок у колії для різних умов експлуатації, які отримані в третьому розділі.

Витрати на робочу силу, тобто заробітну плату monterів колії, а також витрати на матеріали визначені в залежності від сумарної кількості відновлювальних ними елементів за період експлуатації і представлено на рис. 4.

Експлуатаційні витрати на перевезення вантажів визначено по собівартості одиниці роботи рухомого складу (метод укрупнених витратних ставок). Результати розрахунку експлуатаційних витрат на перевезення вантажів у залежності від осьового навантаження приведено на рис. 5 при різних експлуатаційних умовах.

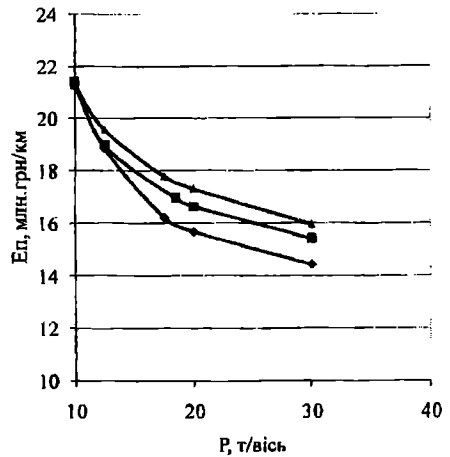
Економію розраховано за витратами на заміну рейок при різних значеннях поодиноких відмов, які відповідають новим оціночним критеріям міцності рейок і допустимим напруженням, визначеним з умови витривалості рейкової сталі, а саме, розраховано економічний ефект від даного

впровадження, який складає при вантажонапруженості 80 млн. т км бруutto/км – 22600 грн/км за період експлуатації 800 млн. т, а при вантажонапруженості 50 млн. т км бруutto/км – 8149 грн/км.



- ◆ 50 млн.т км бруutto/км в рік_800 млн.т_прямі і криві R>2000 м
- ▲ 30 млн.т км бруutto/км в рік_800 млн.т_прямі і криві R>2000 м
- ◆ 80 млн.т км бруutto/км в рік_800 млн.т_прямі і криві R>2000 м

Рисунок 4 – Витрати на заміну рейок за період експлуатації в залежності від осьового навантаження для прямих і кривих радіусом більше 2000 м.



- ◆ 80 млн.т км бруutto/км в рік_800 млн.т_прямі і криві R>2000 м
- ▲ 50 млн.т км бруutto/км в рік_800 млн.т_прямі і криві R>2000 м
- ◆ 30 млн.т км бруutto/км в рік_800 млн.т_прямі і криві R>2000 м

Рисунок 5 – Залежність експлуатаційних витрат на перевезення від осьового навантаження.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі на основі виконаних теоретичних та експериментальних досліджень вирішена важлива науково-технічна задача підвищення ефективності ведення рейкового господарства шляхом розробки моделі оцінки стану залізничних рейок, розробки методики визначення оціночних критеріїв міцності рейок у різних умовах експлуатації, що забезпечать їх нормальну роботу на основі умов міцності та надійності. Основні наукові результати, висновки та практичні рекомендації дисертації полягають у такому:

1. Розроблено загальну модель експлуатації рейок з врахуванням їх поточного утримання та можливості повторного застосування старопридатних рейок у різних категоріях колій, яка дозволяє прогнозувати обсяги постачання рейок та обсяги колійних робіт із укладання, заміни та переукладання рейок. Загальна модель експлуатації рейок складається з окремих самостійних динамічних моделей. Також розроблено модель життєвого циклу рейок у колії, яка дозволяє отримати кількісну і якісну оцінку надійності функціонування рейок у часі й прогнозувати зміну їх надійності протягом їх експлуатації в колії.

Дана модель життєвого циклу рейок у колії включає всі види дефектів і систему технічного обслуговування рейок.

2. Виконано комплексну оцінку впливу різних експлуатаційних факторів на інтенсивність потоку відмов рейок у колії. Розрахунками встановлено, що основними факторами, які впливають на інтенсивність потоку відмов рейок для дефектів контактної-втомленого та втомленого походження, є пропущений тоннаж, осьове навантаження, план лінії та вантажонапруженість, що підтверджується результатами багатофакторного дисперсійного аналізу.

3. Розроблено математичну модель відмов рейок у колії для дефектів контактної-втомленого та втомленого походження, на основі якої отримано, проаналізовано і оцінено аналітичні залежності між факторами вантажонапруженості, пропущеного тоннажу, плану лінії та осьового навантаження та інтенсивністю потоку відмов рейок у колії. На основі цих залежностей отримано інтегральні криві сумарних відмов рейок в залежності від прийнятих експлуатаційних факторів.

4. На основі комплексних експериментально-теоретичних досліджень розроблено нову методику визначення рівня допустимої інтенсивності відмов рейок, диференційованої для різних умов експлуатації, яка враховує економічні та технічні критерії і дозволяє визначити дану величину для різних інтервалів вантажонапруженості, а саме, при вантажонапруженості 80 млн. т км брутто/км в рік економічно-раціональні поодинокі відмови рейок складають $[\lambda] = 5,6 \text{ шт/км}$, при 50 млн. т км брутто/км - $[\lambda] = 6,5 \text{ шт/км}$, при 30 млн. т км брутто/км - $[\lambda] = 8 \text{ шт/км}$.

5. Удосконалено методику визначення оціночних критеріїв міцності, яка відрізняється від існуючої введенням нової функції накопичення відмов, що залежить від більшої кількості експлуатаційних факторів. У цій методиці використовуються нові значення допустимого рівня відмов для різних умов експлуатації. На підставі удосконаленої методики отримано оціночні критерії міцності для рейок типу Р65 (загартованих) безстиквої колії, використання яких дозволить ефективніше ввести рейкове господарство в сучасних ринкових умовах, оскільки дозволить регулювати витрати на утримання та ремонт залізничних колій із врахуванням потреб перевізного процесу. Річний економічний ефект від даного впровадження при вантажонапруженості 80 млн. т км брутто/км, рівний 22600 грн/км за період експлуатації 800 млн.т, а при при вантажонапруженості 50 млн. т км брутто/км – 8149 грн/км.

6. Уведення допустимого рівня відмов рейок у колії, визначеного за техніко-економічними критеріями, дозволить диференціювати підхід визначення вартості проїзду по 1 км колії при вирішенні питань про збільшення швидкості руху і осьового навантаження поїздів та ін.

7. Запропоновано рекомендації по використанню розроблених моделей відмов рейок у колії при поточному утриманні колії, при прогнозування періодичності ремонтів колії та при встановленні періодичності контролю стану рейок засобами дефектоскопії.

8. Результати дисертаційної роботи використано в науково-дослідних роботах, виконаних за замовленням Укрзалізниці. Отримані діапазони значень оціночних критеріїв міцності рейок для середніх експлуатаційних умов використано при підготовці даних при виконанні науково-дослідної роботи по коректуванню правил розрахунку колії на міцність.

Основні положення та результати дисертації опубліковано у таких роботах:

1.Рибкін В.В., Баль О.М. Моделювання життєвого циклу залізничних рейок у колії // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Вип. 2. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2003. – С. 31-37.

2.Рибкін В.В., Баль О.М., Бондаренко І.О., Сисин М.П. Інженерний розрахунок залізничної колії на міцність // Залізничний транспорт. – 2005. – №2. – С. 40-44.

3.Рибкін В.В., Баль О.М. Методика визначення допустимих напружень в рейках // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Вип. 9. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2005. – С. 78-81.

4.Рибкін В. В., Уманов М.І., Баль О. М. Поодинокий вихід рейок – важливий фактор для прогнозування строку ремонту колії // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Вип. 18. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2007. – С. 62-70.

Додаткові праці:

5.Рибкін В. В., Баль О. М. Оціночні критерії міцності колії за умови забезпечення її надійності // Проблеми та перспективи розвитку транспортних систем: техніка, технологія, економіка і управління. Тези доп. першої наук.-практ. конференції. – Ч.1: Техніка і технологія. – К.: КУЕТТ, 2003. – С. 66-67.

6.Рибкін В.В., Баль О.М. Визначення законів розподілу інтенсивностей відмов рейок // Проблемы механики железнодорожного транспорта: динамика, прочность и безопасность движения подвижного состава. XI Международная конференция. Тезисы докладов. – Д.: Изд-во Полный компьютерный сервис, 2004. – С. 200.

7.Предложения по корректировке правил расчета железнодорожного пути на прочность / В.В. Рыбкин, Е.М. Баль, И.А. Бондаренко, Н.П. Сысин // Труды научно-технической конференции «Современные проблемы путевого комплекса. Повышение качества подготовки специалистов и уровня научных исследований». – М.: МИИТ, 2004. – С. IV-48.

8.Рыбкин В.В., Баль Е.М. Планирование эксперимента для определения интенсивностей отказов рельсов // Труды научно-технической конференции «Современные проблемы путевого комплекса. Повышение качества подготовки специалистов и уровня научных исследований». – М.: МИИТ, 2004. – С. IV-31.

9.Рибкін В.В., Баль О.М. Результати експериментальних статистичних досліджень відмов рейок у колії // Проблемы та перспективы развития железнодорожного транспорта: Тезисы 65 Международной научно-практической конференции. – Д.: ДИИТ, 2005. –С. 184.

10. Уманов М.І., Баль О.М., Маркова О.С. Прогнозування поодинокого виходу рейок в умовах Українських залізниць // Проблеми та перспективи розвитку транспортних систем: техніка, технологія, економіка і управління. Тези доповід. третьої наук.-практич. конференції. – Сер. «Техніка, технологія». – К.: КУЕТТ, 2005 – С. 77.

11. Уманов М.І., Баль О.М., Маркова О.С. Поодинокий вихід рейок – важливий фактор для прогнозування строку ремонту колії // Проблеми та

перспективи розвитку залізничного транспорту: Тези 66 Міжнародної науково-практичної конференції. – Д.: ДІТ, 2006. – С. 222.

12. Баль О.М., Рибкін В.В., Уманов М.І. До розрахунку інтенсивності відмов рейок у колії // Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту: Тези 67 Міжнародної науково-практичної конференції. - Д.: ДІТ, 2007. – С. 187.

АНОТАЦІЯ

Баль О.М. Підвищення ефективності ведення рейкового господарства за показниками надійності. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.06 – залізнична колія, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Дніпропетровськ, 2008.

На основі моделі відмов рейок за дефектами контактної-втомленого і втомленого характеру для дослідження оціночних критеріїв міцності рейок, проведених експериментів і теоретичних досліджень, виконана комплексна оцінка впливу експлуатаційних факторів на інтенсивність відмов рейок у колії, розроблена методика визначення зазначеної величини, отримано кореляційні залежності їх відмов в залежності від пропущеного тоннажу, вантажонапруженості, осьового навантаження, плану лінії. Розроблені загальна модель експлуатації рейок і математична модель життєвого циклу рейок у колії ґрунтовані на методах теорії масового обслуговування і теорії надійності, що дозволяють з використанням необхідних експериментальних даних розв'язувати питання пов'язані із забезпеченням надійності роботи рейок і прогнозувати зміни показників надійності в залежності від пропущеного тоннажу, умов експлуатації, характеристик рухомого складу, та їх стану, напружено-деформованого стану рейок та їх нормативних значень. На основі удосконаленої методики визначення оціночних критеріїв міцності рейок запропоновано допустимі напруження в рейках, що враховують інтенсивність накопичення деформацій рейок залізничної колії, забезпечують необхідний рівень її надійності в процесі експлуатації і підвищують ефективність ведення рейкового господарства, враховуючи диференційовані умови експлуатації. При цьому оціночні критеріїв міцності рейок визначені, виходячи з допустимого рівня відмов рейок, методика визначення якої розроблена в дисертації.

Отримані теоретичні й практичні результати використано при виконанні науково-дослідних робіт за завданням Головного управління колійного господарства Укрзалізниці.

Ключові слова: рейки залізничної колії, поодинокі відмови рейок, модель, допустимий рівень поодиноких відмов, оціночні критеріїв міцності рейок, показники надійності, метод статистичного моделювання.

АННОТАЦИЯ

Баль Е.М. Повышение эффективности ведения рельсового хозяйства по показателям надежности. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.06 железнодорожный путь, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, Днепропетровск, 2008.

Диссертация посвящена повышению эффективности ведения рельсового хозяйства путем учета в нормативных документах экономически целесообразного уровня одиночных отказов рельсов, который используется для определения оценочных критериев прочности рельсов.

В диссертации проведен ретроспективный анализ исследований моделей технического состояния железнодорожного пути и его элементов, выполнен анализ существующих моделей отказов рельсов, обобщены исследования оценочных критериев прочности пути. Анализ работ посвященных исследованиям в области определения оценочных критериев прочности показал, что они должны отвечать динамическим процессам в реальных условиях эксплуатации, учитывать количество, а также интенсивность их отказов. То есть подход к их установлению должен быть основан на показателях надежности. На Украинских железных дорогах до 2006 года нормативными документами это не было учтено.

На основе проведенных экспериментов и теоретических исследований разработана модель отказов рельсов по дефектам контактно-усталостного и усталостного характера. Для установления степени влияния эксплуатационных факторов на интенсивность потока отказов рельсов, с помощью многофакторного дисперсионного анализа, выполнена комплексная их оценка. Результаты проведенного дисперсионного анализа показали, что пропущенный тоннаж, грузонапряженность, осевая нагрузка, план линии влияют на интенсивность потока отказов рельсов в пути. Фактор скорости движения исследовался в условиях равнинных дорог, но не показал этого влияния, поэтому в модель отказов рельсов не включался. В результате, по разработанной методике, получены корреляционные зависимости интенсивности отказов в зависимости от пропущенного тоннажа, грузонапряженности, осевой нагрузки, плана линии для бесстыкового и звеньевых пути.

Разработаны математическая модель эксплуатации рельсов и ее составляющая – модель жизненного цикла работы рельсов в пути, которые основаны на методах теории массового обслуживания и теории надежности. Данные модели позволяют решать вопросы, связанные с обеспечением надежности работы рельсов и прогнозировать изменения показателей надежности в зависимости от пропущенного тоннажа, условий эксплуатации, характеристик подвижного состава, напряженно-деформированного состояния рельсов, а также их нормативных значений.

Впервые предложены критерии определения допустимого уровня отказов рельсов, которые обеспечивают экономически рациональную их работу в пути. При этом рациональный уровень отказов был определен как минимум суммарных затрат на текущее содержание пути и затрат на перевозку грузов на протяжении заданного периода эксплуатации. Эксплуатационные затраты на содержание пути определены с использованием кривых суммарного накопления отказов рельсов для разных условий эксплуатации. Эксплуатационные затраты на перевозку грузов определены по типовому методу укрупненных затратных ставок.

Получены кривые зависимости осевой нагрузки от эксплуатационных затрат на содержание пути и на перевозку грузов.

На основе разработанных моделей и усовершенствованной методики определения оценочных критерии прочности рельсов предложены допустимые напряжения в рельсах для бесстыкового пути. Допустимые напряжения учитывают интенсивность накопления деформаций рельсов железнодорожного пути, обеспечивают необходимый уровень ее надежности в процессе эксплуатации и повышают эффективность ведения рельсового хозяйства. При этом оценочные критерии прочности рельсов определены, исходя из допустимых уровней отказов рельсов, значения которых получены в данной работе с учетом дифференцированных условий эксплуатации.

Полученные теоретические и практические результаты использованы при выполнении ряда научно-исследовательских работ по заданию Главного управления путевого хозяйства Укрзализныци.

Полученные в диссертации материалы использованы при подготовке данных в «Правилах розрахунку залізничної колії на міцність і стійкість».

✓ Ключевые слова: рельсы железнодорожного пути, одиночные отказы рельсов, модель, допустимый уровень одиночных отказов, оценочные критерии прочности рельсов, показатели надежности, метод статистического моделирования.

ANNOTATION

Bal' O. Efficiency increase of keeping rails economy after reliability indexes. – Manuscript.

Thesis for candidate degree of Technical Sciences, specialty 05.22.06. – "Railway Track". – Dnipropetrovs'k National University of railway transport named after Academician V. Lazaryan. – Dnipropetrovs'k, 2008.

On the basis of the model of rails refuses after the defects of the pin tired and tired character for research of evaluation criteria of rails durability, conducted experiments and theoretical researches, the complex estimation of operating factors influence on rails refuses intensity at the track is executed, cross-correlation dependences of their refuses depending on the skipped tonnage, load strain, axle loading, plan of line are got. The general model of rails exploitation and mathematical model of rails life cycle at the track based on the theory methods of mass service and the theories of reliability are developed, which allow with the use of necessary experimental information to decide questions related to providing rails work reliability and to forecast the changes of reliability indexes. On the basis of the improved method of determination of evaluation criteria of rails durability the possible rails strains are offered which take into account intensity of rails deformations accumulation of the track, provide the necessary level of its reliability in the process of exploitation and increase efficiency of rails economy keeping will taking into account the differentiated external environment. The evaluation criteria of rails durability are devised, coming from the possible level of rails refuses. This determination method is developed in the dissertation.

Keywords: rails of track, single rails refuses, model, possible level of single refuses, evaluation criteria of rails durability, reliability indexes, method of statistical modeling.

1-00

БАЛЬ ОЛЕНА МИРОНІВНА

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВЕДЕННЯ
РЕЙКОВОГО ГОСПОДАРСТВА ЗА ПОКАЗНИКАМИ НАДІЙНОСТІ**

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Надруковано згідно з оригіналом автора

Підписано до друку «30» 01 2008 р.
Формат паперу 60x48 1/16. Папір для розмножувальних апаратів.
Друк офсетний. Умовн.-друк. арк. 0,9. Обл.-видав. арк. 1,0.
Замовлення № 179. Тираж 100. Безкоштовно.

Видавництво Дніпропетровського національного університету залізничного
транспорту імені академіка В. Лазаряна.

Свідоцтво ДК № 1315 від 31.03.2003

Адреса видавництва та дільниці оперативної поліграфії:
49010, вул. акад. В.А. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, 10
www.diitrvv.dp.ua admin@diitrvv.dp.ua

Сканіровала Камянська Н.О.

НТБ
ДНУЗТ