

ДНІПРОПЕТРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

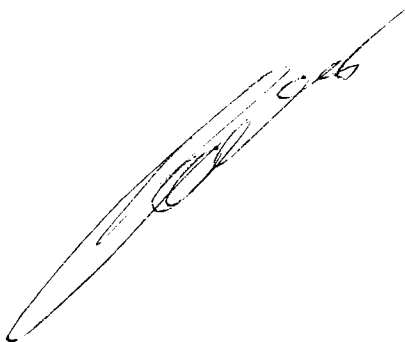
РИБКІН Віктор Васильович

УДК 625.173.001.4

ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ВЕДЕННЯ КОЛІЙНОГО ГОСПОДАРСТВА У
НОВИХ УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЗАЛІЗНИЦЬ УКРАЇНИ

Спеціальність 05.22.06 - Залізнична колія

Автореферат
дисертації на здобуття вченого ступеня доктора технічних наук



Дніпропетровськ - 1999

НТБ
ДНУЗТ

Дисертацією рукопис.

Робота виконана в Дніпропетровському державному технічному університеті залізничного транспорту

Науковий консультант - доктор технічних наук, професор, АЛЬБРЕХТ Володимир Георгійович, Всеросійський науково-дослідний інститут залізничного транспорту, головний науковий співробітник.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор, БОСОВ Аркадій Аркадійович, Дніпропетровський державний технічний університет залізничного транспорту, завідувач кафедри.

доктор технічних наук, професор, ГРИЦЕНКО Валерій Олександрович, Сибірська державна академія шляхів сполучення, проректор по навчальній роботі;

доктор технічних наук, професор ПЕВЗNER Віктор Ошерович, Всеросійський науково-дослідний інститут залізничного транспорту, завідувач лабораторією;

Головне підприємство – Харківська державна академія залізничного транспорту, м.Харків.

НТБ
ДНУЗТ

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Залізничний транспорт має вирішальне значення в транспортній системі України. На нього припадає біля 60% внутрішнього вантажообігу і понад 40% пасажирообігу в міжміському і приміському сполученнях. Прогнози показують, що й у перспективі він буде залишатися головною ланкою в системі перевезень на Україні.

Залізниці України являються однією з найбільш розвинених і вантажонапружених частин мережі залізниць країн СНД. Мережа залізниць України найбільше густа серед усіх країн СНД. Якщо на території колишнього СРСР на 100км² доводилося в середньому 0,54км залізних колій, то на території України 3,7км. Для порівняння: густота мережі залізниць Росії складає 0,5км, ФРН - 12,8км, США - 4,6км, а Китаю - 0,29км на 100км² території.

При сумарній експлуатаційній довжині магістралей 22,5тис.км (1.9% довжини залізниць у світі) на залізницях України виконується 9% світового залізничного вантажообігу і 4% світового обсягу пасажирських перевезень. При цьому середня інтенсивність експлуатаційної роботи (вантажонапруженість) на залізницях України за станом на 1992 рік дорівнювала 31млн.т км брутто на 1км на рік, а максимальна на найважливіших напрямках досягала 120млн.т км брутто на 1км на рік. У подальші роки ці показники знижались і до 1996 року обсяг перевезення вантажів скоротився більш ніж у 2 рази, впав і обсяг перевезення пасажирів.

Зниження вантажонапруженості призводить до збільшення міжремонтних строків, визначуваних по нормах міжремонтного тоннажу, і, як наслідок, до зниження обсягів ремонтних колійних робіт. Збільшення міжремонтних строків потребує перегляду норм амортизаційних відрахувань, а також коригування складу колійних ремонтних робіт. Зокрема, з'являється необхідність зміни окремих елементів верхньої будови колії, термін служби яких менш ніж строк експлуатації від капітального ремонту до наступного капітального ремонту колії (гумові елементи скріплення, дерев'яні шпали та ін.). У цих умовах перегляду вимагають також норми видатку робочої сили на поточному утриманні колії, норми витрати матеріалів, самі міжремонтні норми та ін.

З моменту виконання досліджень, які були засадою для розробки діючих у колійному господарстві нормативних документів (за останні 30 років), у роботі залізничного транспорту відбулися значні зміни. Так, максимальне осьове навантаження вантажних вагонів піднімалося з 205 до 257,5кН, середня маса вантажного поїзда збільшилася на 1000т. В даний час на дорогах України середня маса вантажного поїзда складає 3126т, а одного вантажного вагона 59,5т, що перевищує аналогічні показники усіх залізниць світу. Чисельність же колійників скоротилася за цей період на 100тис.осіб, в основному на експлуатації (сумарні дані для усіх доріг СНД). Неприятливі соціально-економічні умови, особливо в великих промислових центрах, призвели до різкого скорочення контингенту монтерів колії.

Укомплектованість дистанцій колії знизилася в окремих регіонах до 40 відсотків від розрахункового контингенту.

Переведення усіх галузей народного господарства на рейки ринкової економіки, здійснюване в Україні, пред'являє до транспорту нові вимоги. У сформованих умовах від нього потрібно чіткий ритм у перевезеннях, безперебійна робота при мінімальних витратах транспортників, і конкурентноспроможною вартістю перевезень. Криза економіки, спад виробництва за останні роки у певній мірі відбилися і на залізничному транспорті. Зниження обсягів перевезень призвело до різкого скорочення прибутків залізниць. Такий стан справ змушує залізничників шукати шляхи раціонального використання наявних засобів.

Негативно позначився на стані колійного господарства і розрив традиційних ділових зв'язків із виробниками елементів верхньої будови колії, колійної техніки та ін. розташованих на території колишнього СРСР. Практично вся колійна техніка в даний час виробляється за кордоном, для виготовлення ряду елементів верхньої будови колії на Україні довелося налагоджувати власне виробництво.

Умови експлуатації, що змінилися, дефіцит матеріальних і трудових ресурсів, перехід на договірні умови постачання і ринкові ціни викликають необхідність зміни системи ведення колійного господарства. Це відноситься, насамперед, до питань нормування, планування. Перегляду підлягають підходи до класифікації залізничних колій, типізації верхньої будови колії, плануванню колійних робіт, методам управління колійним господарством. Розв'язанню даних питань присвячена робота що реферується.

Метою дисертаційної роботи є розробка методів оптимізації системи ведення колійного господарства залізниць в нових умовах експлуатації на основі вивчення й аналізу роботи залізничної колії як системи в цілому, також і окремих її елементів, системи обслуговування; розробка концепції і програмного забезпечення автоматизованої системи ведення колійного господарства.

Актуальність теми обґрунтована необхідністю зміни системи ведення колійного господарства у зв'язку зі зміною економічних умов господарювання в Україні, необхідністю переходу від нормативного планування до планування колійних робіт на базі фактичного стану залізничної колії.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дана робота є узагальненням ряду науково-дослідних робіт, виконаних по планах Адміністрації залізниць України, Академії наук СРСР (інститут машинознавства ім. А.А.Благонравова), Російської академії наук (інститут проблем транспорту), Міністерства шляхів сполучення СРСР, Міністерства шляхів сполучення Російської Федерації, а також служб колії ряду залізниць СНД. Найбільше значимими науково-дослідними роботами, що стали основою даної дисертації є: «Разработка системы автоматического планирования ремонтов пути на основе новых методов прогноза и оценки фактического состояния железнодорожного пути» - дослідження виконані по

державному замовленню Міністерства транспорту України; «Комплекс работ по увеличению провозной способности железных дорог за счет интенсификации использования имеющихся технических средств и их совершенствования» дослідження виконані ДПТом за постановою Президії АН СРСР № 101 від 31.01.90р.; «Разработка системных методов обеспечения надежности и безопасности наземных транспортных средств и технологий» - дослідження виконані Інститутом проблем транспорту по планах РАН; «Полигонные и эксплуатационные испытания существующих: подвижного состава, рельсов и стрелочных переводов при повышенных осевых нагрузках с разработкой комплекса мер, обеспечивающих устойчивую работу этих конструкций» комплексні дослідження, виконані ВППЖТом і транспортними вузами відповідно до вказівки МПС СРСР № 1324у; «Комплекс задач планирования ремонтов и технического обслуживания стрелочных переводов на основе оценки их надежности» дослідження виконані ДПТом за замовленням головного управління колії МПС.

Мета і задачі дослідження. Метою дослідження являються розробка методів оцінки і прогнозу надійності залізничної колії як системи, розробка методів оптимізації системи утримання залізничної колії на основі прогнозу його стану і надійності, розробка концепції автоматизованої системи утримання залізничної колії і програмного забезпечення.

Для досягнення поставленої мети були вирішені наступні задачі:

розроблені основні напрямки і принципи зміни системи ведення колійного господарства України з урахуванням функціонування її в нових умовах; розроблена методика розрахунку, аналізу і прогнозу законів розподілу осьових навантажень рухомого складу, виконаний прогноз закону розподілу осьових навантажень для перспективних умов експлуатації України; розроблено методику оцінки зміни інтенсивності накопичення дефектів у рейках і вертикальних деформацій колії при зміні закону розподілу осьових навантажень із використанням еквівалентних осьових навантажень; розроблена методика розрахунку залізничної колії з урахуванням нелінійності жорсткісних характеристик підрейкової опори, нерівнопружності підрейкової опори по довжині і наявності люфтів між рейками й опорами; виконані експериментальні дослідження напружено-деформованого стану колії при впливі різноманітних типів рухомого складу, що експлуатується та перспективного; розроблено методи дослідження інтенсивності накопичення деформацій у різноманітних елементах верхньої будови колії, отримана якісна і кількісна оцінка впливу різноманітних експлуатаційних факторів на інтенсивність накопичення деформацій основних елементів верхньої будови залізничної колії;

удосконалена і доведена до практичного застосування методика оптимізації системи утримання залізничної колії;

розроблена концепція автоматизованої системи управління колійним господарством, методологія ведення і структура генеральної бази даних АСУ-колія, алгоритм і програмне забезпечення інтерфейсу користувача генеральної бази даних;

розроблено функціональну структуру, методологія проектування програм автоматизованої системи управління колійним господарством. На основі цього складені алгоритми і програми для десятків пакетів програм автоматизованої системи управління колійним господарством;

складені алгоритми і програми прогнозу стану і планування ремонтів залізничної колії, планування колійних робіт на стрілочних переведеннях із використанням сучасних ЕОМ.

Наукова новизна отриманих результатів. 1. Розроблено метод прогнозу законів розподілу осьових навантажень рухомого складу, заснований на аналізі структури перевезених на даному напрямку вантажів, схем навантаження їх, складу і перспектив розвитку вагонного парку.

2. Вперше запропонована математична модель для апроксимації законів розподілу осьових навантажень рухомого складу, що найбільше повно описує даний закон і що дозволяє спростити розрахунки, пов'язані з оцінкою впливу спектра осьових навантажень на елементи залізничної колії.

3. Розроблена методика, програма і проведені експериментальні дослідження з оцінювання впливу осьового навантаження графікових поїздів на напружено-деформований стан колії.

4. Розроблено модель залізничної колії, що відрізняється від раніше застосовуваних тим, що вона дозволяє враховувати при розрахунках неразнопружність підрейкової опори уздовж колії, нелінійну жорсткість підрейкових опор у вертикальній площині, наявність люфтів між рейкою і підкладкою, стрибкоподібна зміна жорсткісних характеристик при відриві рейки від опори.

5. Розроблено й удосконалено математичні моделі накопичення деформацій у різноманітних елементах верхньої будови залізничної колії. Вперше розроблена адаптивна модель прогнозу показників надійності елементів залізничної колії, що враховує як теоретичну модель накопичення деформацій, так і результати спостережень за зростанням деформацій на розглянутій ділянці колії.

6. Вперше запропонована математична модель системи утримання залізничної колії як системи окремих взаємозалежних відновлюваних елементів, що обслуговуються підприємствами колійного господарства. Модель дозволяє одержати кількісну і якісну оцінку надійності функціонування системи у часі та спрогнозувати зміну надійності. Використання цієї моделі дозволить перейти від ресурсного

принципу ведення колійного господарства до планування колійних робіт виходячи із надійності колії по фактичному її стану.

7. Удосконалено задачу оптимізації системи утримання залізничної колії. У порівнянні з попередніми постановками аналогічних задач, оптимізації підлягають строки усіх видів ремонтних колійних робіт, а також обсяги робіт із поточного утримання колії.

8. Розроблено концепцію автоматизованої системи управління колійним господарством Українських залізниць. Концепція визначає структуру функцій і задач управління колійним господарством, порядок їхньої автоматизації, вимоги до автоматизованої системи управління колійним господарством.

Практичне значення отриманих результатів. 1. Методика прогнозу законів розподілу осьових навантажень рухомого складу і їхнього впливи на інтенсивність накопичення деформацій залізничної колії використані Всесоюзним науково-дослідним інститутом залізничного транспорту, інститутом машинознавства ім. А.А.Благоврахова АН СРСР, інститутом проблем транспорту РАН для обґрунтування гранично допустимого осьового навантаження рухомого складу. Вироблені рекомендації по гранично допустимому навантаженню рухомого складу були ухвалені і затверджені Міністерством шляхів сполучення СРСР. Надалі ці результати були використані Укрзалізницею для затвердження гранично допустимих осьових навантажень рухомого складу в умовах Українських залізниць.

2. На основі виконаних досліджень складені алгоритми і розроблений програмне забезпечення для персональних IBM-сумісних ЕОМ. Програмне забезпечення дозволяє визначити раціональні витрати на поточне утримання колії, вибрати строки і види ремонтних колійних робіт при обмежених матеріальних ресурсах з урахуванням фактичного стану колії, на основі оцінки його надійності. Дане програмне забезпечення було розроблено за замовленням Придніпровської залізниці, передано замовнику і використовується службою колії залізниці при плануванні ремонтних колійних робіт.

3. Структура Генеральної бази даних АСУ-колія, розроблена за замовленням Головного управління колії Міністерства шляхів сполучення Російської Федерації прийнята замовником і стала основою для розроблення наступних пакетів програм автоматизованої системи управління колійним господарством АСУ-колія.

4. За замовленням Головного управління колії Міністерства шляхів сполучення Російської Федерації розроблений пакет програм «Планирования ремонтных и технического обслуживания стрелочных переводов на основе оценки их надежности». Пакет програм схвалений замовником і рекомендований для впровадження на мережі залізниць Російської Федерації.

5. Розроблені на основі даних досліджень функціональні пакети програм для АСУ-колія «Інженерні розрахунки», «Безстикова колія», «Комісійні огляди» і ін. прийняті до впровадження і використовуються на підприємствах колійного

господарства Львівської, Одеської, Південно-Західної, Придніпровської залізниць України, а також Жовтнєвої, Забайкальської, Західно-Сибірської, Московської, Південно-Східної, Північної, Північно-Кавказької, Приволзької, Свердловської залізниць Російської Федерації.

6. Методика і результати досліджень, наведені в даній роботі, стали основою для постановки кафедрою "Колія і колійне господарство" ДПТУ курсів лекцій, лабораторних і практичних занять по дисциплінах «Автоматизовані системи управління колійним господарством», «Математичні моделі і методи в колійному господарстві» і «Інформаційні технології в управлінні утриманням колії». Ці матеріали використовуються також у навчальному процесі кафедрою «Колія і колійне господарство» Харківської державної академії залізничного транспорту і кафедрою «Дороги і дорожньо-будівельні машини» Білоруського державного університету транспорту.

Розроблені методики, алгоритми і програмне забезпечення використовуються в галузевій науково-дослідній Колійнодослідницькій лабораторії ДПТУ при виконанні науково-дослідних робіт.

Апробація результатів роботи. Окремі питання, основні положення і результати дисертації докладалися і одержали схвалення на

ХП науково-технічній конференції співробітників ІрПТУ і фахівців експлуатації і будівництва залізниць Сибіру і БАМу (м.Іркутськ, ІрПТ, жовтень 1987р.);

ХХХІУ і ХХХУІ науково-технічних конференціях із питань колійного господарства (м.Ленінград, ЛШЖТ, квітень 1988р., квітень 1990р.);

УП і УПІ всесоюзних конференціях із проблем механіки залізничного транспорту: динаміка і надійність рухомого складу (м.Дніпропетровськ, ДПТ, травень 1988р., травень 1992р.);

50 і 54 науково-технічних конференціях кафедр ХПТУ і фахівців залізничного транспорту (м.Харків, ХПТ, листопад 1988р., листопад 1992р.);

науково-технічній нараді управління Придніпровської зал. і вчених ДПТУ. (м.Дніпропетровськ, ДПТ, листопад 1988р.);

нараді завідувачів кафедр "Колія і колійне господарство" (м.Алма-Ата, АлПТ, квітень 1989р.);

семінарі-нараді "Применение автоматизированных систем и вычислительной техники в путевом хозяйстве" (м.Москва, ЦНПТЕІ МПС - ЦП МПС, травень 1989р.);

всесоюзній науково-технічній конференції "Методы и средства диагностирования технических средств железнодорожного транспорта" (м. Омськ, ОмПТ, червень 1989р.);

ХІУ науково-технічній конференції кафедр БелПЖТУ і ДорНТО Білоруської залізниці (м.Гомель, БелПЖТ, листопад 1989р.);

ювілейній науково-технічній конференції кафедр інституту і фахівців залізниць, присвяченої 60-річчю ДПТУ (м.Дніпропетровськ, ДПТ, березень 1990р.);

науково-практичній конференції “Транссиб и научно-технический прогресс на железнодорожном транспорте” (м.Новосибірськ, НППЖТ, травень-червень 1991р.);

науково-практичних конференціях “Перспективы развития путевого хозяйства железных дорог Украины” (м.Київ, Київська філія ХПТУ, травень 1992р., березень 1993р.);

міжнародній науково-практичній конференції “Проблемы повышения функциональной и экономической устойчивости работы транспортного комплекса и его кадрового обеспечения в условиях рынка” (м.Гомель, БелПЖТ, вересень-жовтень 1993р.);

міжнародній науково-практичній конференції “Ресурсо- и энергосберегающие технологии на транспорте и строительном комплексе” (м.Гомель, БелГУТ, листопад 1995р.);

семінарах по розробці і впровадженню автоматизованих систем і обчислювальної техніки в колійному господарстві (м.Москва, ЦП МПС РФ, лютий 1994р., березень 1996р.; м.Омськ, Західно-Сибірська зал., березень 1996р.; м.Самара, Куйбишевська зал. квітень 1997р.; м.Ярославль, Північна зал. червень 1998р.);

міжнародній науковій конференції “Проблемы транспорта та шляхи їх вирішення” (м.Київ, КАДІ, листопад 1994р.);

засіданнях координаційної методичної ради по розробці і впровадженню автоматизованої системи управління утриманням колії при головному інженері ЦП МПС РФ (м.м. Москва, С.Петербург, Новосибірськ, Дніпропетровськ, Нижній Новгород, Самара, Саратов, Ярославль, 1989-1998р.р.);

колійній секції науково-технічної ради ВППЖТУ (м.Москва, ВППЖТ, 1989-1992р.р.);

науково-технічній раді головного управління колійного господарства “Укрзалізниця” (м.Київ, ЦПУкр, листопад 1995р.);

міжнародній науково-практичній конференції “Проблемы безопасности на транспорте” (м.Гомель, БелГУТ, березень 1997р.);

міжнародній науково-практичній конференції “Проблемы взаимодействия пути и подвижного состава” (м.Дніпропетровськ, ДПТ, жовтень 1998р.);

науковому семінарі кафедри “Колія і колійне господарство” ДПТУ (м.Дніпропетровськ, ДПТ, листопад 1998р.).

Публікації. Основні положення дисертації опубліковані в 39 друкарських роботах, а також у 50 звітах по науково-дослідних роботах, що пройшли державну реєстрацію.

Обсяг роботи. Дисертація складається з вступу, семи розділів, загальних висновків і пропозицій, списку використаної літератури і 5 додатків. Робота викладена на 415 сторінках, у тому числі 268 сторінок основного тексту, містить 62 рисунки, 52 таблиці. Список літератури з 274 найменувань. Додатки на 47 сторінках.

Вступ присвячено обґрунтуванню актуальності теми дисертації, опису загальної характеристики роботи, викладу цілей, задач і основних положень дисертації, формулюванню основних напрямків вирішення проблеми.

У першому розділі подано огляд стану і стислої історичної довідки по системі ведення колійного господарства в нашій країні та за кордоном, її сучасний стан і шляхи удосконалення. Проведено ретроспективний аналіз досліджень надійності колії і методів оптимізації системи його утримання; виконано системний аналіз методів встановлення руйнуючих навантажень транспортних засобів і оцінки безпеки їхньої експлуатації; викладено цілі, задачі і методи даних досліджень; визначено основні напрямки удосконалювання системи ведення колійного господарства України.

Детальний аналіз раніше виконаних робіт із моменту появи залізниць у Росії, СРСР, країнах СНД, дальнього зарубіжжя, а також на Україні показав напрямки і методи вирішення питань ведення колійного господарства. Водночас встановлені основні недоліки системи ведення колійного господарства залізниць України. Чинні нормативи не враховують повною мірою фактичний стан колії; не враховують усього різноманіття експлуатаційних, матеріальних, кліматичних і інших умов Українських залізниць; не передбачають взаємозв'язку між фактичними витратами на поточне утримання колії і строками проведення тих або інших ремонтних робіт; не враховують впливу швидкостей руху й осевого навантаження рухомого складу, плану і профілю ліній і інших факторів на строки проведення ремонтів колії.

Показано, що в сучасних економічних умовах нормативний підхід до планування колійних робіт жив себе і потрібно перехід до призначення колійних робіт по фактичному стану колії.

Вагомий внесок у розвиток теорії надійності залізничної колії й окремих його елементів внесли доктора технічних наук М.Ф.Веріго, Б.Е.Глюзберг, В.О.Грищенко, М.І.Карпущенко, О.Я.Коган, З.І.Крейнис, В.О.Певзнер, В.І.Тихомиров, В.М.Філіпшов кандидати технічних наук Л.В.Башкатова, А.С.Васильєв, А.Н.Даренский, П.В.Ковтун, Л.Г.Крисанов, В.С.Лисюк, І.Ф.Сузов, Г.І.Тарнопольский, В.Н.Шкляр та ін., а також зарубіжні вчені F.Arbabi, H.Baluch, Y.Bingshan, J.Eisemann, C.Kesling, H.Rosenfelt, М.Съев, Р.Холцингер. В більшості виконаних робіт досліджувалася надійність експлуатації окремих елементів верхньої будови колії. Комплексний підхід до оцінки

надійності колії як системи взаємозалежних обслуговуваних елементів був відсутнім. Лише в роботі В.О.Грищенко такий підхід був реалізований для безстикової колії.

Під системою утримання залізничної колії розуміють певну періодичність капітального ремонту колії, а також сполучення інших видів ремонтів і робіт із поточного утримання колії, виконуваних між капітальними ремонтами. Оптимізація системи утримання колії є складною задачею, при вирішенні якої необхідно враховувати як характеристики верхньої будови колії, експлуатаційні умови, так наявні ресурси людські, матеріальні, фінансові, тимчасові ("вікна"), кліматичні й інженерно-геологічні особливості районів проходження залізничної лінії. Створенням і удосконалюванням методів оптимізації системи утримання колії і їхньої практичної реалізації займалися доктора технічних наук, професора Г.М.Шахунянц, В.Я.Шульга, В.І.Тихомиров, В.М.Філіппов, кандидати технічних наук І.Б.Лехно, Е.Я.Шац, В.М.Янін, Н.І.Коваленко, В.П.Бельтюков, О.М.Патласов, А.А.Смилянов, R.Kraskе, A.E.Fazio та ін.

Практично у усіх раніш виконаних роботах основна увага приділялася плануванню проміжних ремонтів колії і цілком не розглядалися обсяги робіт із поточного утримання колії. Ці обсяги приймалися відповідно нормативним витратам праці. Не оптимізувався і строк капітального ремонту колії. Тобто вже в постановці задачі був відсутнім комплексний підхід до системи утримання колії.

В результаті аналізу існуючої на Україні системи ведення колійного господарства, планування планово-попереджувальних ремонтів і робіт із поточного утримання колії; а також аналізу раніше виконаних теоретичних і експериментальних робіт, досвіду експлуатації верхньої будови колії зроблені такі висновки. Введені в 1994 році на Українських залізницях "Тимчасові Технічні вказівки по ремонті залізничної колії і його облаштування" не враховують повною мірою фактичний стан колії, не враховують усього різноманіття експлуатаційних, економічних, кліматичних і інших умов. Норми не передбачають взаємозв'язку між фактичними витратами на поточне утримання колії і строками проведення тих, або інших ремонтних робіт. Ці норми не враховують також впливи швидкостей руху й осевого навантаження рухомого складу, плану і профілю ліній та інших факторів на строки проведення ремонтів колії і на обсяги робіт із поточного утримання колії. Одним із важливих напрямків рішення цієї проблеми є удосконалювання системи утримання залізничної колії.

В умовах нових форм і методів господарювання, дефіциту матеріальних, фінансових і людських ресурсів найважливішим критерієм удосконалювання системи утримання залізничної колії є економічні показники. Це, у першу чергу, мінімальні витрати на ремонти і поточне утримання колії при безумовному забезпеченні безпеки руху поїздів із встановленими або достатніми швидкостями і при забезпеченні заданих обсягів перевезень.

Безпосередньою метою даної дисертаційної роботи є розробка методологічних основ системи ведення колійного господарства, розробка методики оцінки і прогнозування стану колії, встановлення раціональних строків проведення планово-попереджувальних ремонтів колії, а також визначення оптимальних обсягів робіт із поточного утримання колії в різноманітних умовах експлуатації, розробка концепції автоматизованої системи ведення колійного господарства. Структурна схема проведених досліджень приведена на рис.1.

У цій же главі виконаний системний аналіз методів встановлення руйнуючих навантажень транспортних систем і оцінки безпеки їхньої експлуатації. Надійність функціонування колійних структур обумовлюється стабільністю їхніх розмірів у часі, стабільністю (не зниження нижче заданої межі) їхньої міцнісних характеристик, можливістю виконувати деякі обов'язкові специфічні функції (наприклад, для залізничної колії - забезпечення пропускання току автоблокування по рейках і інші функції). Перерахованими вище вимогами і визначається цільове призначення системи функціонування колійної структури КС

$$KC(x, y, z, s, t) \rightarrow const, \text{ при } pr(KC, t) \leq [pr], \quad (1)$$

де x, y, z - координати опорних елементів колійної структури у просторі; pr - міцнісна характеристика колійної структури; $[pr]$ - граничне значення міцнісної характеристики колійної структури; s - показник, що характеризує виконання колійною структурою специфічних функцій; t - поточний час.

В процесі функціонування колійні структури піддаються зовнішнім збудженням при впливі рухомого складу транспортних засобів, супутніх факторів функціонування транспортних систем (наприклад, тяговий тиск на електрифікованих ділянках залізничного транспорту та ін.), природно-кліматичних факторів. Стан колійної структури в кожний момент часу (t) може бути охарактеризовано параметричним рівнянням праездатності Pc (цільового призначення системи Z , що характеризується співвідношеннями (1))

$$Pc(t) = f[S_{KC}(t), G_{KC}(t), W_{ДВКС}(t), S_{ПКФ}(t), S_{СФ}(t), S_{УТР}(t)] = Z(t), \quad (2)$$

де $S_{KC}(t)$ - характеристика колійної структури, її фізико-механічні параметри; $G_{KC}(t)$ - геометричні параметри опорних елементів колійної структури; $W_{ДВКС}(t)$ - вплив рухомого складу транспортних засобів на колійну структуру; $S_{ПКФ}(t)$ - вплив природно-кліматичних факторів на колійну структуру (температурний режим, вологість повітря, інтенсивність осадків, пучини, оповзи, карсти та ін.), до цієї групи можна віднести і гірські підробітки; $S_{СФ}(t)$ - вплив на колійну структуру факторів, що супроводжують виконання основної функції транспортних засобів; $S_{УТР}(t)$ - система утримання залізничної колії (терміни, види й обсяги виконання ремонтних колійних робіт, обсяги робіт із поточного утримання колії).

Аналіз складової функції (2) показує, що в ході функціонування найбільше істотний вплив на стан колійної структури має вплив рухомого складу. Цей фактор є



Рис.1. Структурна схема проведення досліджень

регульованим, тобто, можливо управляти їм, змінюючи експлуатаційні характеристики транспортних засобів. У свою чергу рівень динамічного впливу рухомого складу на колійну структуру, обумовлений приведеними нижче факторами, повинний забезпечувати найбільший термін служби колійної структури в стані (2) при заданих обсягах перевезень. Рівень динамічного впливу рухомого складу на колійну структуру може характеризуватися таким параметричним рівнянням

$$W_{\text{двкс}}(t) = f_1[S_{\text{кс}}(t), G_{\text{кс}}(t), S_{\text{рвх}}(t), G_{\text{рвх}}(t), U(t), P, V], \quad (3)$$

де $S_{\text{рвх}}$ динамічні характеристики рухомого складу і колії; $G_{\text{рвх}}$ геометричні параметри рухомого складу, що впливають на динаміку взаємодії; U умови експлуатації (вага поїздів, вантажна напруженість, інтенсивність руху, обсяги перевезень, пропускний тоннаж, режим водіння поїзда й ін.); P статичне навантаження рухомого складу; V - швидкість руху рухомого складу.

Багатофакторний дисперсійний аналіз показав, що з усіх експлуатаційних факторів найбільший вплив на працездатність колії робить пропускний тоннаж і осьове навантаження. При цьому, якщо пропускний тоннаж приймається до уваги в усіх дослідженнях і враховується в чинних нормативах, то вплив осьового навантаження недостатньо вивчено і цей фактор не враховується в чинних на Україні нормативних документах по ремонту й утриманню колії.

Аналіз раніше виконаних досліджень показав, що в даний час найменш вивченою характеристикою, що впливає на працездатність транспортних засобів, є статичне навантаження рухомого складу. Водночас, статичне навантаження грає істотну роль у формуванні працездатності транспортних засобів не дивлячись на багатоступеність їхнього відношення

$$P \rightarrow W_{\text{двкс}}(t) \rightarrow Pc(t) = Z(t), \quad (4)$$

Складність відношення (4) визначається періодичністю і стохастичністю дії статичного навантаження (P). Дія спектра навантажень на колійну структуру в даний час ще недостатньо вивчена і, по цьому, у даному дослідженні детально розглянуто цей фактор і його вплив на надійність залізничної колії.

Під системою ведення колійного господарства розуміють: структуру управління колійним господарством, розподіл функцій і задач управління між різноманітними рівнями управління і підрозділами, методи рішення управлінських задач, класифікацію залізничних колій і типізацію верхньої будови колії, класифікацію колійних робіт, систему контролю за станом колії, міжремонтні норми колійних ремонтних робіт і норми витрати ресурсів на поточне утримання колії, технологічні процеси виконання окремих колійних робіт.

Всі елементи системи ведення колійного господарства взаємоузгоджені і зміна будь-якого з них веде до зміни інших, а в ряді випадків і до зміни всієї системи. На думку автора на даний час назріла необхідність зміни практично всіх елементів системи ведення колійного господарства залізниць України, проте такі зміни

потребують великих капітальних витрат і не можуть бути реалізовані одночасно. Найбільше реально поетапна, поелементна зміна системи ведення колійного господарства України.

Методи вирішення управлінських задач підлягають корінній зміні. Така задача, як прогнозування стану колії в даний час не вирішується взагалі. Планування колійних робіт ведеться частіше по суб'єктивним показникам стану колії, чим по об'єктивним. Розрахунки показали, що в окремих випадках лише на 30% плани ремонтів колії відповідають прогнозу, що різко погіршує показники надійності колії. При виборі варіантів вирішення задач не оцінюються наслідки, не застосовуються методи пошуку найкращих рішень. Недостатньо використовується при вирішенні управлінських задач обчислювальна техніка.

Міжремонтні норми колійних ремонтних робіт і норми витрати ресурсів на поточне утримання колії варто більше конкретизувати до умов експлуатації. Нормативний підхід до планування ресурсів варто застосовувати при стратегічному плануванні на рівні главку і служби колії. При оперативному плануванні на рівні дистанції колії варто переходити від нормативного планування до планування по фактичному стану. Планування по фактичному стану повинно застосовуватися і при розробці детальних планів колійних ремонтних робіт. При цьому фактичний стан колії повинен оцінюватися об'єктивними показниками надійності і їх прогнозованими значеннями.

Приведені вище дані аналізу дозволяють зробити висновок про те, що система ведення колійного господарства залізниць України, у сформованих умовах господарювання, не забезпечує ефективності управління станом колії і потребує корінного удосконалення. Основною задачею даного дослідження ставиться пошук ефективних, науково обґрунтованих напрямків удосконалення системи ведення колійного господарства і розробка рекомендацій по їхній реалізації.

Багато з перерахованих вище проблем управління колійним господарством можна вирішити при розробці і впровадженні автоматизованої системи управління утриманням залізничної колії (АСУ-колія). Дослідження в галузі створення АСУ-колія ведуться у ВНІЖТі, НІЖА, ДПТі МПТі, ПГУПСі, РГОТУПСі, СибГАПСі, СамШТі, РПЖТі, ДВГАПСі під керівництвом докторів технічних наук В.В.Виноградова, В.І.Грицька, В.О.Грищенко, М.І.Карпущенко, З.Л.Крейніса, О.Ю.Панова, В.О.Певзнера, В.М.Філіппова, кандидатів технічних наук Л.В.Башкатової, В.П.Бельтюкова, С.О.Бокарева, В.Б.Бредюка, Б.Й.Гончарова, Я.Л.Захарова, О.І.Корольова, В.П.Сичьова, С.Л.Телєгіна, Е.Я.Шаца, В.С.Шварцфельда, а також закордонних вчених Н.Baluch, F.Blumcke, E.Choi, H.Dannenberg, C.Fraticelli, H.Hide, K.Jang, U.Kleinert, R.Kracke, S.Lehmann, U.Lindner, S.Mayerberger, M.Nykoluk, J.Rotreki, B.Simkova, I.Schumberg, M.J.Shenton, W.Spiegel, E.R.Trask, J.M.Tunna, J.Woch, T.Zsakac та інших.

У результаті проведених науково-дослідних і проектно-конструкторських розробок на залізницях Російській Федерації широко впроваджується АСУ-колія. У 90% дистанцій колії працюють окремі задачі, а на ряді підприємств функціонують комплекси задач об'єднані як по горизонталі між собою, так і по вертикалі між рівнями управління. Найбільше широко використовуються задачі паспортизації колії, діагностики колії, облік роботи колійних машин.

На Україні окремими програмістами розроблені ізольовані задачі опрацювання звітних даних по деяких напрямках діяльності підприємств колійного господарства. Поширення на підприємствах колійного господарства ці задачі не одержали. Лише біля 20% підприємств колійного господарства України мають ЕОМ у технічному відділі, ще менше використовують їх для вирішення задач АСУ.

Однієї з цілей даної роботи є розробка концепції автоматизованої системи управління утриманням залізничної колії і розробка програмного забезпечення для АСУ-колія.

Другий розділ присвячений експериментальним і теоретичним дослідженням закону розподілу осьових навантажень рухомого складу. У ході експериментальних досліджень вимірювалися фактичні розподіли осьових навантажень рухомого складу на різноманітних напрямках залізниць України, аналізувалася зміна розподілів по сезонах і залежність їх від структури вантажів на даному напрямку. У окремих циклах вимірів визначалися статистичні характеристики осьових навантажень вагонів, завантажених певним вантажем (залізною рудою і вугіллям). Усього було проведено 15 циклів натурних вимірів осьового навантаження (з них 6 циклів - на Одеської і 9 - на Придніпровської залізницях). Обсяг кожного циклу вимірів і кількість датчиків визначалися необхідною статистичною достовірністю результатів. Для наступного узагальнення і переносу результатів на інші ділянки, що експлуатуються в інших умовах, статистичну опрацювання провадилося окремо для кожного виду рухомого складу, а також для кожного роду перевезеного вантажу. Досвід вимірів, із перевіркою статистичних гіпотез за критерієм Фішера-Снедекора показав, що розподіл статичних навантажень одного виду рухомого складу одним родом вантажу описуються нормальним законом Гауса.

Отримані для залізничного напрямку закони розподілу осьових навантажень мають яскраво виражені дві моди, одна з яких відповідає порожнім вагонам, а друга навантаженим. В усіх циклах вимірів виявлені перевантажені вагони, щодо чинних на момент виміру норм. Це говорить про відсутність ефективних засобів контролю правильності завантаження вагонів. У окремих циклах до 25% вагонів мали осьове навантаження понад 240кН і до 6.5% - понад 260кН. Максимальне значення осьового навантаження зафіксовано 350кН.

У теоретичних дослідженнях попередньо визначалося середнє осьове навантаження для кожної моделі вагонів, навантаженої кожним родом вантажу, а потім, на основі реальних структур вантажів, вагонів, характеристик розкиду

осьового навантаження для кожного вантажу, шляхом композиції отримані закони розподілу осьових навантажень для окремих напрямків. Зіставлення результатів розрахунків із розподілами, отриманими в ході натурних вимірів, показали їхню гарну збіжність. Достовірність результатів розрахунку дозволила здійснити прогноз закону розподілу осьових навантажень рухомого складу на основі прогнозу структури вантажів і структури вагонного парку.

Проведені в розділі дослідження показали, що композиція двох нормальних законів розподілу може бути застосована для опису законів розподілу осьових навантажень рухомого складу

$$f(P) = \frac{\beta_{пор} \cdot k \cdot e^{\frac{-(k \cdot Z_p + k/V_{гр} - V_{пор})^2}{2}} + (1 - \beta_{пор}) \cdot e^{\frac{-Z_p^2}{2}}}{\sigma(P_{ос}^{HB}) \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \quad (5)$$

де $k = \sigma(P_{ос}^{HB}) / \sigma(P_{ос}^{ПОР})$ - співвідношення середніх квадратичних відхилень осьового навантаження навантажених і порожніх вагонів; $Z_p = (P_i - M(P_{ос}^{HB})) / \sigma(P_{ос}^{HB})$ -квантиль осьового навантаження навантажених вагонів; P_i поточне значення осьового навантаження, кН; $V_{гр} = M(P_{ос}^{HB}) / \sigma(P_{ос}^{HB})$ і $V_{пор} = M(P_{ос}^{ПОР}) / \sigma(P_{ос}^{ПОР})$ коефіцієнти варіації осьових навантажень відповідно для навантажених і порожніх вагонів; $M(P_{ос}^{HB}), M(P_{ос}^{ПОР})$ математичні чекання осьових навантажень відповідно для навантажених і порожніх вагонів; $\sigma(P_{ос}^{HB}), \sigma(P_{ос}^{ПОР})$ - середні квадратичні відхилення осьових навантажень відповідно для навантажених і порожніх вагонів.

Для оцінки впливу закону розподілу осьових навантажень на інтенсивність утворення дефектів у рейках, а також на вертикальні деформації баластової призми запропонована методика визначення еквівалентних навантажень. На підставі даних методик встановлені терміни служби рейок до утворення контактнo-стoмлених дефектів при різноманітних прогнозованих законах розподілу осьових навантажень, а також інтенсивності накопичення вертикальних деформацій рейкової колії через осадження баласту. Отримані дані використані для прогнозу стану елементів залізничної колії при прогнозованих законах розподілу осьових навантажень.

У третьому розділі приведені результати теоретичних і експериментальних досліджень взаємодії колії і рухомого складу. Метою даних досліджень є встановлення залежності між осьовим навантаженням рухомого складу і напружено-деформованого стану елементів верхньої будови колії.

У теоретичних дослідженнях розглядалася модель колії як балки на окремих пружних нелінійних опорах. При цьому вертикальні переміщення кожної опори в залежності від вертикальної сили змінювалася за законом, поданому на рис.2, і описаному рівнянням (6).

$$P = \begin{cases} B \times (y + A - \delta)^a - Q & \text{при } y > \delta - A \\ -Q & \text{при } y \leq \delta - A \end{cases}, \quad (6)$$

P, кН

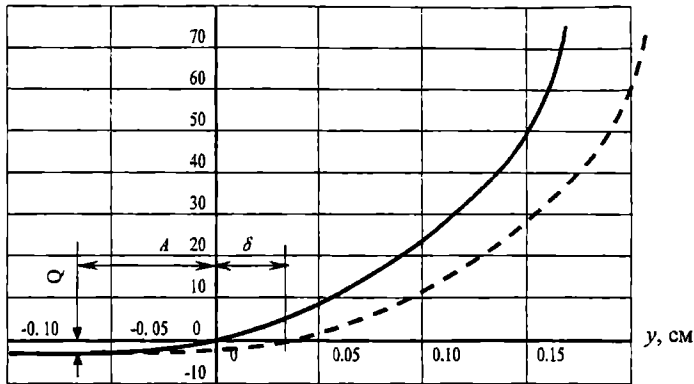


Рис.2. Діаграма “вертикальна сила - переміщення шпали”

де y - вертикальні переміщення шпали, см; P - сила, що діє на шпалу, кН; Q - вага елементів верхньої будови колії, що припадає на одну опору при підйомі рейки, кН; A - величина підйому шпали, при якому вага Q цілком передається на рейку, см; δ - розмір люфту між рейкою і подрельсовою опорою; B і α - чисельні коефіцієнти. У цьому випадку жорсткість однієї опори буде дорівнювати

$$Ж = \frac{dP}{dy} = \begin{cases} B \times \alpha \times (y + A - \delta)^{\alpha-1} & \text{при } P \geq -Q \\ 0 & \text{при } P < -Q \end{cases} = \begin{cases} B^{\frac{1}{\alpha}} \times \alpha \times (P + Q)^{1-\frac{1}{\alpha}} & \text{при } P \geq -Q \\ 0 & \text{при } P < -Q \end{cases} \quad (7)$$

Така модель дозволяє врахувати у розрахунках нелінійність вертикальної жорсткості підрейкових опор, зміна жорсткостних характеристик при підйомі рейки, нерівнопружність уздовж колії і наявність люфтів між рейкою і підрейковою опорою. Математично запропонована модель описана системою рівнянь п'ятих моментів, що вирішені чисельним інтегруванням. Рішення отримані для моделі колії, завантаженої чотиривісним шівагоном, при цьому задавалися реальні пружні характеристики опор і люфти між рейкою і підкладкою. В результаті багатоваріантних розрахунків встановлені статистичні залежності показників напружено-деформованого стану колії від осового навантаження напіввагона.

Експериментальні дослідження проводилися одночасно на двох дослідних ділянках колії. На першій дослідній ділянці на малій швидкості руху визначалося осове навантаження для кожного вагона, а на другому - на швидкості до 80 км/ч вимірювалися показники напружено-деформованого стану елементів колії. Зіставлення результатів експериментальних і теоретичних досліджень показали задовільне їх збігання.

У четвертому розділі наводяться результати досліджень показників надійності окремих елементів залізничної колії. Вибір показників надійності зроблений на основі

детального аналізу чинної нормативної документації і раніше проведених досліджень. Одним із центральних понять теорії надійності є поняття відмови, під яким розуміють подію, що полягає в повному або частковому порушенні працездатності. Під повною відмовою розуміють такий стан конструкції, при якому вона не може виконувати свої функції. У нашому випадку - це такі порушення стану залізничної колії, при яких рух поїздів неможливий. Часткові відмови призводять до часткового порушення функцій конструкції. Часткові відмови залізничної колії - це такий її стан, при якому потрібно обмеження швидкості руху поїздів. Як видно з визначення, часткові і повні відмови дають вичерпуючу характеристику надійності роботи залізничної колії. Ці показники і прийняті за основні показники надійності роботи залізничної колії в даному дослідженні.

При виборі моделей накопичення деформацій елементів залізничної колії і їхніх відмов враховувалася фізика процесу розглянутих деформацій і відмов, фактори, що впливають на дані відмови, умови роботи і обслуговування даного елемента. Для одержання моделей відмов елементів верхньої будови колії використані дані натурних спостережень за їхньою роботою в різноманітних умовах експлуатації. Обсяги усіх експериментів визначені з умови одержання результатів із заданою достовірністю.

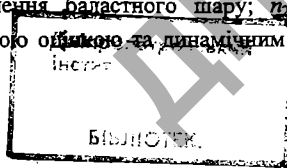
Одна з найбільше поширених деформацій колії вертикальне осідання. Інтенсивність наростання цих деформацій являється функцією від

$$\lambda = f(B, P_{oc}, V, Q_{sp}, \Pi, \gamma_o, Z, B, K, W_i); \quad (8)$$

де B - тип верхньої будови колії; P_{oc} - спектр осевих навантажень; V - спектр швидкостей руху поїздів; Q_{sp} - спектр мас поїздів; Z - забруднення баласту; Π - міцнісні характеристики баласту і ґрунту земляної полотнища, а також розміри баластової призми; γ_o - ступінь ущільнення баластового шару; B - нерівності колії в профілі, можна охарактеризувати бальною оцінкою (або середнім квадратичним відхиленням деформацій на стрічці колієвимірювача); K - вплив кліматичних факторів (температура повітря, опади); W_i - обсяг виконаних колійних робіт у строк t . Якісний аналіз усіх факторів, що впливають, і фізики вертикальних деформацій баласту дозволив одержати математичну модель цих деформацій. Модель враховує ущільнення баласту у часі, зростання нерівностей колії (бальної оцінки стану колії) й забруднення баласту

$$L(x, t) = \sum_{i=1}^3 l_i(x, t) = n_1 \times (1 - e^{-\alpha_1 x}) + \left(\frac{n_2}{\alpha_2} \right) \times e^{\alpha_2 x} + \frac{n_3 \times t}{2}, \quad (9)$$

де $L(x, t)$ - середнє осідання колії; n_1 - параметр, що залежить від конструктивних особливостей верхньої будови колії; α_1 - параметр, що характеризує рівень впливу рухомого складу на ступінь ущільнення баластового шару; n_2 - параметр, що характеризує взаємозв'язок між бальною оцінкою та динамічним діянням рухомого



складу; α_2 – характеристика інтенсивності змінювання бальної оцінки колії; n_3 – характеристика інтенсивності забруднення баластного шару.

Надійність роботи рейок є одним із головних факторів залізничної колії, що впливає на систему утримання. Проведені в роботі дослідження надійності рейок базуються на роботах учених ВНІЖТу, МПТу, ПГУПСу, СибГАПСу, РГОТУПСу, БелГУТу, ДПТу, ІрПТу та ін. наукових центрів СНД. Аналіз фізики утворення дефектів у рейках, статистики їхніх відмов, особливостей ведення рейкового господарства дозволили зробити висновок про те, що основною причиною відмов рейок є контактено-стомлені й стомлені дефекти. Опрацювання даних спостережень за відмовами рейок методами математичної статистики виявила значимі фактори, що впливають на інтенсивність відмов. Значимими факторами для інтенсивності потоку відмов рейок є пропущений тоннаж, план лінії й осьового навантаження. Функція розподілу відмов рейок з урахуванням наведених викладень може бути подана у вигляді

$$\omega(t) = \frac{1}{\sigma \times \sqrt{2} \times \pi} \times \exp\left(-\frac{(A - B \times P^m - C/R - t)^2}{(2 \times \sigma^2)}\right). \quad (10)$$

Для колії з рейками Р65 на дерев'яних шпалах і щебеневому баласті апроксимацією отримані такі значення параметрів у рівнянні: $A = 1178$; $B = 1,3910 \cdot 10^{-5}$; $C = 69697$; $m = 3,06$; $\sigma = 376$. При цьому середня квадратична помилка складала 0,002868 рейки на один кілометр після пропускання 1млн.т вантажу брутто, а коефіцієнт її варіації коливався в межах 0,0111...0,00091, що свідчить про високу збіжність результатів.

Відмови хрестовин стрілочних переведень унаслідок досягнення граничного зносу, унаслідок появи контактено-стомлених дефектів, а також унаслідок прироботочних і раптових відмов розглядалися роздільно. Для кожного виду відмов запропонована своя математична модель. Для моделювання зносових відмов хрестовин запропонований закон Вейбулла, а величина вертикального зносу елемента хрестовини (h) апроксимована залежністю

$$h = A \times T \times P_{cp}^2 + C \times P_{cp}^2 \times (1 - \exp(-\alpha \times T)), \quad (11)$$

де T - пропущений тоннаж, млн.т брутто; P_{cp} - середнє осьове навантаження, т; A , C и α - постійні коефіцієнти, отримані в результаті апроксимації.

Математична модель відмов хрестовин стрілочних переведень по контактено-стомлених дефектах.

$$T = B \times F_T; \quad B = \frac{10^{-5} S_I}{A^m}; \quad F_T = \int_{P_{min}}^{P_{max}} P^{(n-m)/n} \cdot f(P) \cdot dP, \quad (12)$$

де B - постійний коефіцієнт; F_T - фактор пропущеного тоннажу (умовна величина, що характеризується законом розподілу осьового навантаження). Всі необхідні параметри для математичної моделі (12) отримані методом апроксимації для найбільше поширених конструкцій хрестовин стрілочних переведень.

Для описів прироботочних і раптових відмов хрестовин стрілочних переведень прийнятий експоненціальний закон розподілу. Об'єднана математична модель для всіх типів відмов хрестовин стрілочних переведень встановлена як сума несумісних подій, функція розподілу якої визначається по формулі

$$F(T) = P_1 \times F_1(T) + P_2 \times F_2(T) + P_3 \times F_3(T), \quad (13)$$

де P_i - імовірність відповідного типу відмови. Отримані модулі дозволили провести порівняльний аналіз надійності роботи хрестовин різноманітних заводів. У результаті зроблений висновок про низьку якість виготовлення хрестовин Дніпропетровським стрілочним заводом.

Модель відмов дерев'яних шпал і брусків прийнята з урахуванням діючого положення, відповідно до якого відмовою вважається наявність у колії куша з трьох і більш дефектних шпал підряд. Модель являє собою імітатор псевдовипадкових чисел із випадковими впливами що стабілізуються згідно із виразом

$$U_{i+1} = [U_i + U_{-1}] \pmod{4}, \quad (14)$$

де $U_1 = \pi$, $U_2 = 0,542101887$ - вихідні постійні алгоритму; $\pmod{4}$ - кратність виразу. Попередньо проведена перевірка довжини відрізка апериодичності псевдовипадкової послідовності і перевірка рівномірності одномірного розподілу по його гістограмі. Отримана в такий спосіб послідовність псевдовипадкових чисел рівномірного закону одномірного розподілу відмов окремих одиночних шпал при рівномірному характері їхньої відмови дозволяє одержати закон розподілу імовірностей кушів, що складаються з трьох підряд лежачих дефектних шпал. Законом надійності роботи до відмови дерев'яних шпал приймаємо закон Вейбулла, як відповідному статистичному розподілу даних про їхні відмови.

Для теоретичної моделі відмов залізобетонних шпал прийнятий експоненціальний розподіл із параметром потоку відмов, що змінюється за законом

$$\omega(t) = a + b \times \exp(-k \times t), \quad (15)$$

де t - рік експлуатації з моменту капітального ремонту колії; a , b , і k - постійні коефіцієнти, визначені апроксимацією.

Нормальний (Гауса) закон розподілу імовірності настання відмов прийнятий для наступних деформацій: відступи за рівнем, осідання, потаємні товчки; порушення розмірів баластової призми; засмічення баласту; дефекти рамних, ходових рейок, рубок, дотепників, контррейок; дефекти елементів стикових і проміжних скріплень; відмови в роботі рейкових з'єднань і ізостиків; положення рейкової колії у плані і ширина колії; неприлягання гостриків; утон гостриків і рамних рейок.

Відмови колії внаслідок сходів рухомого складу, аварій і катастроф можна прийняти рівноімовірними в часі по статистичним даним за попередні періоди.

Запропоновані математичні моделі узагальнені і не завжди відповідають реальним умовам експлуатації на конкретній ділянці колії, довірчі межі в них досить широкі. Для звуження довірчих меж математичної моделі надійності окремих

елементів верхньої будови колії розроблена адаптивна математична модель, що по мірі накопичення статистичних даних про відмови пристосовується до місцевих умов.

$$MT = \frac{M_M T}{\left(\frac{D_M T}{D_{\phi} T}\right)^3 + 1} + \left(1 - \frac{1}{\left(\frac{D_M T}{D_{\phi} T}\right)^3 + 1}\right) \times M_{\phi} T, \quad (16)$$

де MT - прогнозоване математичне чекання терміна служби елемента; M_M , D_M математичне чекання і дисперсія терміна служби елемента, визначені по заздалегідь отриманій на основі широкого експерименту узагальненій математичній моделі; M_{ϕ} , D_{ϕ} - математичне чекання і оцінка дисперсії терміна служби елемента, визначені на основі фактичних даних з розглянутої ділянки.

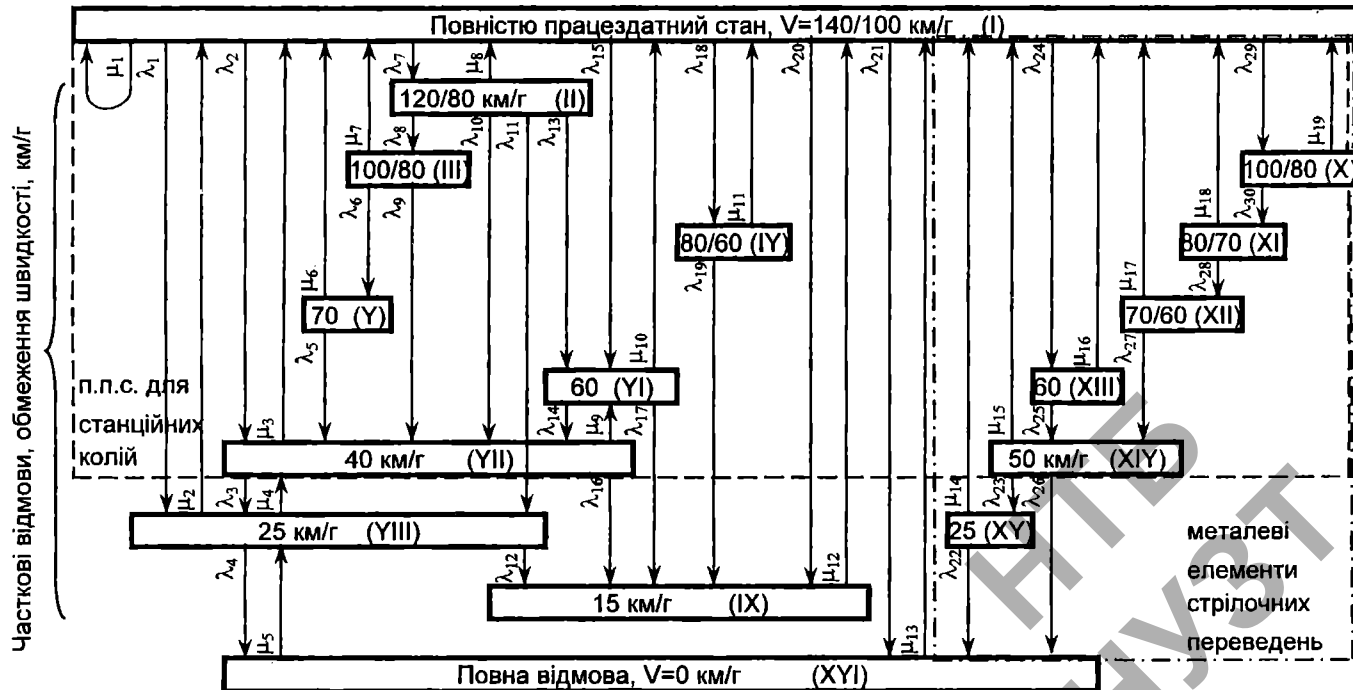
Використання для прогнозу запропонованої адаптивної моделі в порівнянні з узагальненою або фактичною моделями зменшує розкид на протязі всього терміну служби і з максимальною вірогідністю наближається до генеральної середньої. Імовірність улучення генеральної середньої в середину довірчого інтервалу адаптивної моделі вище, ніж для інших моделей.

У п'ятому розділі розроблена математична модель оцінки надійності залізничної колії як системи обслуговуваних взаємозалежних елементів, а також методика й алгоритм оптимізації системи утримання залізничної колії.

Попередньо по чинних нормативних документах були проаналізовані усі причини відмов елементів верхньої будови колії, граничні швидкості руху поїздів, установлені при цих відмовах, а також колійні роботи, виконувані для усунення відмов. Розроблений на основі цього аналізу граф станів залізничної колії наведено на рис.3.

На графі станів приведені потоки відмов $\lambda_i(T)$, що являють собою інтенсивності накопичення різноманітних деформацій колії і потоки відновлення $\mu_i(T)$, що характеризують інтенсивності виконання різноманітних колійних робіт. Розглянутому графу станів (рис.3) для головних колій відповідає наступна система диференціальних рівнянь (17).

У цих рівняннях $P_I(T)$ - імовірність перебування колії в цілком працездатному стані; $P_{II}(T)$ - імовірність обмеження швидкості $V=120/80$ км/г; $P_{III}(T)$ - імовірність обмеження швидкості $V=100/80$ км/г; $P_{IV}(T)$ - імовірність обмеження швидкості $V=80/60$ км/г; $P_V(T)$ - імовірність обмеження швидкості $V=70$ км/г; $P_{VI}(T)$ - імовірність обмеження швидкості $V=60$ км/г; $P_{VII}(T)$ - імовірність обмеження швидкості $V=40$ км/г; $P_{VIII}(T)$ - імовірність обмеження швидкості $V=25$ км/г; $P_{IX}(T)$ - імовірність обмеження швидкості $V=100/80$ км/г; $P_{XI}(T)$ - імовірність обмеження швидкості $V=80/70$ км/г; $P_{XII}(T)$ - імовірність обмеження швидкості $V=70/60$ км/г; $P_{XIII}(T)$ - імовірність обмеження швидкості $V=60$ км/г; $P_{XIV}(T)$ - імовірність обмеження швидкості $V=50$ км/г; $P_{XV}(T)$ - імовірність обмеження швидкості $V=25$ км/г; $P_{XVI}(T)$ - імовірність повної відмови колії.



Примітка: чисельник - швидкість пасажирських, знаменник - вантажних поїздів.

Рис.3. Граф станів залізничної колії

$$\begin{aligned}
\dot{P}_I(T) = & -(\lambda_1(T) + \lambda_2(T) + \lambda_7(T) + \lambda_{15}(T) + \lambda_{18}(T) + \lambda_{20}(T) + \lambda_{21}(T) + \\
& + \lambda_{24}(T) + \lambda_{29}(T) + \mu_1(T) - \mu_1(T)) \cdot P_I(T) + \mu_2(T) \cdot P_{II}(T) + \\
& + \mu_3(T) \cdot P_{III}(T) + \mu_6(T) \cdot P_T(T) + \mu_7(T) \cdot P_{II}(T) + \\
& + \mu_8(T) \cdot P_{II}(T) + \mu_{10}(T) \cdot P_{II}(T) + \mu_{11}(T) \cdot P_{II}(T) + \\
& + \mu_{12}(T) \cdot P_{IX}(T) + \mu_{13}(T) \cdot P_{XII}(T) + \mu_{14}(T) \cdot P_{XII}(T) + \\
& + \mu_{15}(T) \cdot P_{XII}(T) + \mu_{16}(T) \cdot P_{XII}(T) + \mu_{17}(T) \cdot P_{XII}(T) + \\
& + \mu_{12}(T) \cdot P_{IX}(T) + \mu_{18}(T) \cdot P_{XI}(T) + \mu_{19}(T) \cdot P_{IX}(T); \\
\dot{P}_{II}(T) = & \lambda_7(T) \cdot P_I(T) - (\lambda_8(T) + \lambda_{10}(T) + \lambda_{11}(T) + \lambda_{13}(T) + \mu_8(T)) \cdot P_{II}(T); \\
\dot{P}_{III}(T) = & \lambda_8(T) \cdot P_{II}(T) - (\lambda_6(T) + \lambda_9(T) + \mu_7(T)) \cdot P_{III}(T); \\
\dot{P}_T(T) = & \lambda_{18}(T) \cdot P_I(T) - (\lambda_{19}(T) + \mu_{11}(T)) \cdot P_T(T); \\
\dot{P}_I(T) = & \lambda_5(T) \cdot P_{III}(T) - (\lambda_5(T) + \mu_6(T)) \cdot P_I(T); \\
\dot{P}_{II}(T) = & \lambda_{13}(T) \cdot P_{II}(T) + \lambda_{15}(T) \cdot P_I(T) + \mu_9(T) \cdot P_{III}(T) - \\
& - (\lambda_{14}(T) + \lambda_{17}(T) + \mu_{10}(T)) \cdot P_{II}(T); \\
\dot{P}_{III}(T) = & \lambda_2(T) \cdot P_I(T) + \lambda_5(T) \cdot P_T(T) + \lambda_9(T) \cdot P_{III}(T) + \lambda_{10}(T) \cdot P_{II}(T) + \\
& + \lambda_{14}(T) \cdot P_{II}(T) + \mu_4(T) \cdot P_{III}(T) - \\
& - (\lambda_3(T) + \lambda_{16}(T) + \mu_3(T) + \mu_9(T)) \cdot P_{III}(T); \\
\dot{P}_{XII}(T) = & \lambda_1(T) \cdot P_I(T) + \lambda_3(T) \cdot P_{III}(T) + \lambda_{11}(T) \cdot P_{II}(T) + \mu_5(T) \cdot P_{XII}(T) - \\
& - (\lambda_4(T) + \lambda_{12}(T) + \mu_2(T) + \mu_4(T)) \cdot P_{XII}(T); \\
\dot{P}_{IX}(T) = & \lambda_{12}(T) \cdot P_{III}(T) + \lambda_{16}(T) \cdot P_{III}(T) + \lambda_{17}(T) \cdot P_{II}(T) + \\
& + \lambda_{19}(T) \cdot P_T(T) + \lambda_{20}(T) \cdot P_I(T) - \mu_{12}(T) \cdot P_{IX}(T); \\
\dot{P}_X(T) = & \lambda_{20}(T) \cdot P_I(T) - (\lambda_{30}(T) + \mu_{19}(T)) \cdot P_X(T); \\
\dot{P}_{XI}(T) = & \lambda_{30}(T) \cdot P_X(T) - (\lambda_{28}(T) + \mu_{18}(T)) \cdot P_{XI}(T); \\
\dot{P}_{XII}(T) = & \lambda_{28}(T) \cdot P_{XI}(T) - (\lambda_{27}(T) + \mu_{17}(T)) \cdot P_{XII}(T); \\
\dot{P}_{XIII}(T) = & \lambda_{24}(T) \cdot P_I(T) - (\lambda_{25}(T) + \mu_{16}(T)) \cdot P_{XIII}(T); \\
\dot{P}_{XIV}(T) = & \lambda_{25}(T) \cdot P_{XIII}(T) + \lambda_{27}(T) \cdot P_{XII}(T) - \\
& - (\lambda_{23}(T) + \lambda_{26}(T) + \mu_{15}(T)) \cdot P_{XIV}(T); \\
\dot{P}_{XV}(T) = & \lambda_{23}(T) \cdot P_{XIV}(T) - (\lambda_{22}(T) + \mu_{14}(T)) \cdot P_{XV}(T); \\
\dot{P}_{XVI}(T) = & \lambda_4(T) \cdot P_{III}(T) + \lambda_{21}(T) \cdot P_I(T) + \lambda_{22}(T) \cdot P_{XV}(T) + \\
& + \lambda_{26}(T) \cdot P_{XIV}(T) - (\mu_5(T) + \mu_{13}(T)) \cdot P_{XVI}(T); \\
P_I(T) + P_{II}(T) + P_{III}(T) + P_T(T) + P_{II}(T) + P_{III}(T) + P_{III}(T) + P_{III}(T) + \\
& + P_{IX}(T) + P_X(T) + P_{XI}(T) + P_{XII}(T) + P_{XIII}(T) + P_{XIV}(T) + \\
& + P_{XV}(T) + P_{XVI}(T) = 1.
\end{aligned} \tag{17}$$

Задачу оптимізації системи утримання залізничної колії можна сформулювати в наступному вигляді

мінімізувати $C(P_i(T; \mu_i); \mu_i, \{t_p, V_p\}_k)$

при обмеженнях а) $\mu_i \leq \mu_{i \max}$

б) $\sum_{i=1}^n H_{ii} \leq H_p$

в) $\mu_i \geq 0$

г) $z_\phi \geq z_{\min}$

$0 \leq T \leq Q$

$I \leq j \leq XII$

$1 \leq i \leq n$

(18)

де $C(P_j(T; \mu_i); \mu_i(t_p; V_p)_k)$ - сумарні приведені витрати через затримки, простою поїздів і витрати по технічному обслуговуванню залізничної колії; $P_j(T; \mu_i)$ імовірність перебування системи у j -тому стані, знаходиться при вирішенні системи диференціальних рівнянь (17); T - пропущений тоннаж, млн.т вантажу бруто; Q - максимальне значення пропущеного тоннажу, обумовлене строком чергового капітального ремонту колії; μ_i - інтенсивність потоків відновлення елементів системи при поточному утриманні; μ_{imax} - гранична інтенсивність відновлення, обумовлена наявністю ресурсів по поточному утриманню (робочої сили, машин, механізмів, матеріалів і наданих "вікою"); t_p - строки k -х ремонтів колій; V_p - обсяги (види) k -х ремонтів колій; n - кількість колійних робіт, виконуваних для виправлення всіх можливих деформацій елементів системи; H_{mi} - витрата робочої сили при виконанні i -ої колійної роботи з інтенсивністю μ_i ; H_p - розрахункова норма витрати робочої сили для розглянутої ділянки колії; z_ϕ - імовірна прогнозована пропускна спроможність розглянутої ділянки колії з урахуванням очікуваних обмежень швидкостей руху; z_{min} - мінімальна допустима з умови заданих обсягів перевезень пропускна здатність; $I...XVI$ - стани системи.

Керуючими параметрами задачі є інтенсивності потоків відновлення системи μ_i а також строки t_p і види V_p ремонтних колійних робіт, значення яких повинні бути отримані в результаті оптимізації. Критерієм оптимізації прийняті сумарні приведені витрати, пов'язані з залізничною колією.

Методи оптимізації для пошуку раціональної системи утримання колії застосовували у своїх дослідженнях професор Г.М.Шахунянц, к.т.н. Н.І.Коваленко, О.М.Патласов, В.М.Янін. В усіх цих роботах строк капітального ремонту не розраховувався, а визначався по міжремонтних нормах, витрати на поточне утримання колії також установлювалися по нормах, а не в залежності від фактичної відмови елементів колії. Відмінною рисою даного алгоритму являється урахування комбінацій усіх видів ремонтів колії, розрахунок витрат на поточне утримання з урахуванням фактичної інтенсивності відмов елементів верхньої будови й інтегральної оцінки надійності колії в кожен момент розрахунку.

Сформульовану вище задачу оптимізації запропоновано вирішувати методом динамічного програмування. А для рішення систем диференціальних рівнянь першого порядку (17) доцільно застосувати метод Рунге-Кутта-Фельберга. По викладеному алгоритму складена програма для ЕОМ, із використанням якої виконані розрахунки для реальних умов Придніпровської залізниці.

У шостому розділі розроблена концепція автоматизованої системи управління колійним господарством України (АСУ-колія). Концепція розроблена на основі проведених досліджень і аналізу реалізованих на підприємствах колійного господарства функцій управління. У концепції запропоновані: структура АСУ-колія Укрзалізниці; структура автоматизованої системи управління на рівні дистанції колії; перелік основних функцій управління на різноманітних рівнях управління, що

підлягають автоматизації; етапність розробки і впровадження АСУ-колія на підприємствах колійного господарства України; проаналізовані і сформульовані функціональні вимоги до потоків інформації в системі АСУ-колія, необхідні для проектування генеральної бази даних АСУ-колія.

З урахуванням функцій що автоматизуються був складений перелік задач, що має вирішуватись в автоматизованій системі управління колійним господарством. На основі досвіду розроблення й експлуатації програмного забезпечення АСУ-колія сформульовані вимоги до технічного, нормативного, інформаційного забезпечення АСУ-колія, а також вимоги до автоматизованої інформаційної системи контролю стану колії.

У розділі наведено стислий опис розроблених у ДПТі пакетів програм АСУ-колія, що експлуатуються в даний час більш ніж на 150 підприємствах колійного господарства України і Російської Федерації.

Сьомий розділ присвячений техніко-економічній оцінці результатів проведених у рамках даної роботи досліджень. До числа найважливіших впроваджених і що впроваджуються на виробництві результатів даної роботи варто віднести: вихідні матеріали для обґрунтування раціонального осьового навантаження рухомого складу і методологічні основи розроблення автоматизованої системи управління колійним господарством АСУ-колія. Впровадження у виробництво на мережі залізниць України і Російської Федерації, отриманих у даній роботі результатів досліджень, дає соціальний, технічний і економічний ефект.

Соціальний аспект ефективності виявляється щодо робітників, праця яких безпосередньо пов'язана з експлуатацією АСУ-колія і результатами автоматизованої обробки даних. Робітники за допомогою ЕОМ звільняються від виснажливої монотонної праці, зміна умов праці інженерно-технічних робітників і адміністративно-управлінського персоналу. Їхня професія стає більш привабливою, престижною, зменшується плінність кадрів.

Найважливішими аспектами технічного ефекту від впровадження АСУ-колія є використання повної, достовірної й оперативної інформації про залізничну колію, її технічного стану, про колійні машини і про підрозділи колійного господарства; скорочення часу на рутинну підготовку й обробку документації; підвищення якості оформлення документів; застосування безпаперової технології підготовки і передачі інформації. Застосування в АСУ-колія при ухваленні рішень, запропонованих у даній роботі, алгоритмів оптимізації системи утримання залізничної колії, дозволить поліпшити характеристики надійності експлуатації колії, знизити інтенсивність відмов елементів верхньої будови, продовжити строки їхньої служби.

Розраховано економічний ефект від впровадження на мережі залізниць раціональних граничних осьових навантажень (240 кН), такий захід дозволив знизити річні приведені витрати в колійному господарстві на 25,2 %.

Реалізація оптимального плану ремонтних робіт на Придніпровській залізниці дозволить знизити приведені витрати на утримання залізничної колії на 11,2%.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ

Виконані в даній роботі дослідження дозволяють зробити наступні висновки і практичні пропозиції.

1. Проведений у роботі аналіз роботи залізниць України дозволив встановити сформовані в даний час умови експлуатації залізничного транспорту. Вони характеризуються в першу чергу суттєвим (більш ніж у два рази) скороченням обсягу перевезень і вантажонапруженості на усіх напрямках, збільшенням міжремонтних строків для залізничної колії, обмеженими матеріальними, людськими і фінансовими ресурсами. Разом з тим, на окремих спеціалізованих напрямках величини осьових навантажень та вантажонапруженість не знижуються. Одночасно, у зв'язку із інтеграцією у світову економіку, на окремих напрямках планується підвищення швидкості руху пасажирських поїздів.

Ринкові відносини в економіці, що формуються на Україні вимагають і нових підходів до системи ведення колійного господарства: перегляду нормативної бази, зміни системи управління. Перегляду підлягають норми витрат робочої сили на поточному утриманні колії, норми витрат матеріалів, міжремонтні норми (черговість, строки і склад колійних ремонтних робіт), норми амортизаційних відрахувань.

Критерієм для встановлення нормативів повинні стати показники надійності роботи колії з урахуванням усіх факторів, що впливають. Ремонти колії повинні плануватися з урахуванням об'єктивних оцінок його фактичного стану. Система управління колійним господарством повинна бути реорганізована з урахуванням автоматизації основні її функцій, використання методів теорії надійності для оцінки стану залізничної колії і пошуку оптимальних варіантів при виборі управлінських рішень.

2. Проведено системний аналіз факторів, що формують надійне функціонування залізничної колії. Аналіз показав, що серед конструктивних характеристик колії, характеристик його стану, експлуатаційних і кліматичних факторів найменш вивченим є навантаження, що передається від рухомого складу на колію. Водночас, цей фактор є одним із вирішальних у забезпеченні надійного і безпечного функціонування залізничної колії.

Наприклад, статистична обробка результатів спостережень за відмовами рейок по критерію Фішера показала ($F_{\text{рас}} = 2,96 > F_{\text{кр}} = 2,86$), що осьове навантаження рухомого складу значно впливає на інтенсивність потоку відмов рейок по дефектах.

Водночас у чинній нормативній документації колійного господарства осьове навантаження рухомого складу не враховується.

3. Запропоновано експериментальна і розрахункова методики одержання законів розподілу осьових навантажень рухомого складу, а також метод прогнозу цих законів розподілу.

Проведено експериментальні дослідження з виміру фактичних законів розподілу осьових навантажень у різноманітних експлуатаційних умовах Придніпровської і Одеської залізниць. Результати масових вимірів показали, що перевантаження носять масовий характер: в окремих циклах до 25% вагонів мали осьове навантаження понад 240кН і до 6.5% - понад 260кН, максимальне значення осьового навантаження зафіксовано 350кН. Перевантаження коліс вантажних вагонів викликані перевантаженням вагонів, несиметричним розташуванням вантажу як уздовж, так і поперек вагона.

Розроблено математичну модель для апроксимації законів розподілу осьових навантажень рухомого складу, що найбільше повно описує дані закони і що дозволяє спростити розрахунки, пов'язані з оцінкою впливу всього спектра осьових навантажень на елементи залізничної колії.

4. Проаналізовано методи оцінки надійності і безпеки функціонування залізничної колії з урахуванням дії осьових навантажень рухомого складу. З огляду на той факт, що зв'язок між осьовим навантаженням і показниками напружено-деформованого стану колії, а також його надійності має статичну залежність, у розрахунках надійносних характеристик елементів залізничної колії варто враховувати вплив усього діапазону діючих на колію навантажень.

Рекомендований найбільше простий і забезпечуючий достатню точність метод - метод еквівалентних навантажень, тобто навантажень, дія яких еквівалентна дії всього аналізованого діапазону навантажень.

Розроблено методики розрахунку еквівалентних осьових навантажень рухомого складу залізничного транспорту, що враховують чинність закону розподілу навантажень при розрахунку термінів служби рейок до появи сталосних дефектів і при розрахунку інтенсивності вертикальних деформацій рейкової колії через осідання баласту.

З використанням даних методик виконані розрахунки прогнозу інтенсивності накопичення дефектів рейок і вертикальних деформацій рейкової колії. Розрахунки показали, що до 2000 року варто очікувати скорочення терміна служби рейок у порівнянні з 1974 роком на 20-23%, а обсяги виправних робіт зростуть у 1,8-2,1 рази.

Методики прогнозу законів розподілу осьових навантажень рухомого складу і їхнього впливу на інтенсивність накопичення деформацій залізничної колії використані Всесоюзним науково-дослідним інститутом залізничного транспорту, Інститутом машинознавства ім. А.А.Благонравова АН СРСР, Інститутом проблем транспорту РАН для обґрунтування гранично допустимого осьового навантаження рухомого складу. Вироблені рекомендації по гранично допустимому навантаженню рухомого складу (240 кН) були ухвалені і затверджені Міністерством шляхів

сполучення СРСР. Надалі ці результати були використані Укрзалізницею для ствердження гранично допустимих осьових навантажень рухомого складу в умовах Українських залізниць (240кН).

5. Розроблено методику, програма і проведені експериментальні дослідження з оцінки впливу осьового навантаження минулих поїздів на напружено-деформований стан колії. Осьове навантаження визначалось тензометричним зважуванням кожної осі минулих вантажних поїздів. У результаті досліджень отримані експериментальні залежності основних показників напружено-деформованого стану колії від осьового навантаження рухомого складу і швидкості руху поїздів.

Виміри, проведені при впливі усього спектра осьових навантажень рухомого складу і вагонів із різноманітними характеристиками, дозволили встановити не тільки кореляційний зв'язок між осьовими навантаженнями, кромочними напругами в рейках і вертикальні осідання рейок, але і довірчі межі цих показників.

6. У модель розрахунків залізничної колії у вертикальній площині додатково введені: неравнопружисть підрейкової опори уздовж колії, нелінійна жорсткість підрейкових опор у вертикальній площині, випадкові люфти між рейкою і підкладкою, стрибкоподібна зміна жорсткостних характеристик при відриві рейки від опори.

З використанням запропонованої моделі виконані розрахунки, що дозволили теоретично оцінити вплив осьового навантаження рухомого складу на основні показники напружено-деформованого стану верхньої будови колії.

Зіставлення результатів розрахунків із даними, отриманими в експерименті, показало задовільну їхню збіжність.

7. Розроблено математичні моделі накопичення дефектів у рейках і хрестовинах стрілочних переведень, зносу хрестовин, відмов шпал і інших елементів верхньої будови залізничної колії. Математичні моделі базуються на фізиці деформацій і дефектоутворення, а також на даних масових спостережень за роботою в колії розглянутих елементів верхньої будови колії. В усі моделі поряд із пропущеним тоннажем уведений фактор осьового навантаження, а в модель відмов рейок введений також план лінії.

Отримано чисельні характеристики надійності рейок і хрестовин стрілочних переведень різноманітної технології виготовлення, що враховують різноманітні умови експлуатації в умовах залізниць України.

8. Запропоновано адаптивну модель прогнозу показників надійності елементів залізничної колії, що враховує як теоретичну модель накопичення деформацій, так і результати спостережень за зростанням деформацій на розглянутій ділянці колії.

Застосування в розрахунках адаптивної моделі дозволяє істотно зменшити розкид результатів, знизити довірчі межі.

9. Розроблено методику й алгоритми оцінки надійності функціонування залізничної колії як системи окремих взаємозалежних відновлюємих елементів, що

обслуговуються підприємствами колійного господарства в існуючих умовах експлуатації. Модель дозволяє одержати кількісну і якісну оцінку надійності функціонування системи в часі і спрогнозувати зміну надійності.

Сформульовано математичну постановку задачі, розроблена методика, алгоритм і програмне забезпечення для оптимізації запропонованої моделі системи утримання залізничної колії. У порівнянні з попередніми постановками аналогічних задач оптимізації підлягають строки усіх видів ремонтних колійних робіт, а також обсяги робіт із поточного утримання колії. Виконано контрольні розрахунки для умов Придніпровської залізниці, що показали економічну ефективність при реалізації отриманих результатів.

Розроблено методику, алгоритм і програмне забезпечення для оптимізації системи утримання стрілочних переведень на основі оцінки їхньої надійності. Методика і програмне забезпечення виконані за замовленням Головного управління колії і споруд МПС Російської Федерації, пройшли апробацію і прийняті для впровадження.

10. Розроблено концепцію створення і впровадження на підприємствах колійного господарства України автоматизованої системи управління колійним господарством АСУ-колія. Концепція визначає структуру функцій і задач управління колійним господарством, порядок їхньої автоматизації, вимоги до автоматизованої системи управління колійним господарством.

11. Розроблено структуру, алгоритм збереження і відображення, а також програмне забезпечення ведення генеральної бази даних автоматизованої системи управління колійним господарством. Програмне забезпечення відображає дані на екрані монітора і на принтері у вигляді таблиці 5 паспорту дистанції колії і рейко-шпало-баласної карти.

Структура Генеральної бази даних АСУ-колія, розроблена за замовленням департаменту колії Міністерства шляхів сполучення Російської Федерації ухвалена замовником і стала основою для розроблення наступних пакетів програм автоматизованої системи управління колійним господарством АСУ-колія. Елементом системи моніторингу залізничної колії стала задача відображення рейко-шпало-баласної карти, яка розроблена в ДПТі на основі Генеральної бази даних АСУ-колія.

12. Проаналізовано функції управління на різноманітних рівнях управління колійним господарством. На основі цього, сформульовані задачі управління для дистанції колії і для служби колії управління дороги.

Сформульовано вимоги до технічного, нормативного й інформаційного забезпечення автоматизованої системи управління колійним господарством, а також вимоги до інтерфейсу користувача програмного забезпечення АСУ-колія.

Розроблено 10 пакетів програм для персональних IBM-сумісних ЕОМ, що автоматизують різноманітні функції управління в системі управління колійним господарством. Програми розроблені на замовлення різноманітних підприємств

колійного господарства України і Російської Федерації, пройшли експертну оцінку, рекомендовані для впровадження і використовуються більш ніж на 150 підприємствах колійного господарства країн СНД.

13. Методика і результати досліджень, наведені в даній роботі, стали основою для постановки кафедрою "Колія і колійне господарство" ДПТУ курсів лекцій, лабораторних і практичних занять по дисциплінах «Автоматизовані системи управління колійним господарством», «Математичні моделі і методи в колійному господарстві» і «Інформаційні технології в управлінні утриманням колії». Ці матеріали використовуються в навчальному процесі кафедрою «Колія і колійне господарство» Харківської державної академії залізничного транспорту і кафедрою «Дороги і дорожньо-будівельні машини» Білоруського державного університету транспорту.

14. Надано оцінку ефективності запропонованих у роботі рішень, що включає соціальний, технічний і економічний ефект. Сумарний економічний ефект від упровадження результатів досліджень, що піддається розрахунку, складає 10-25% від витрат на утримання залізничної колії.

Більш широке впровадження результатів роботи дозволить збільшити економічний ефект, підвищити надійність роботи залізничної колії, раціонально розподіляти ресурси при плануванні колійних робіт.

Основний зміст дисертації опубліковано в наступних роботах:

1. Рыбкин В.В. Определение экономической эффективности новых и усовершенствованных элементов верхнего строения пути с учетом условий их взаимодействия с подвижным составом // Исследования взаимодействия пути и подвижного состава: Межвуз. сб. научн. тр., вып. 228/25. Днепропетр. ин-т инж. трансп. - Днепропетровск: ДИИТ. - 1983. - С.94-97.
2. Рыбкин В.В. Особенности решения транспортной задачи при планировании ремонтов пути // Межвуз. сб. научн. тр., вып.739. Моск. ин-т инж. трансп. - М.: МИИТ. - 1983. - С. 90-96.
3. Рыбкин В.В. Влияние изменения спектра осевых нагрузок на усталостную прочность рельсов // Исследования взаимодействия пути и подвижного состава: Межвуз. сб. научн. тр., вып. 283/32. Днепропетр. ин-т инж. трансп. Днепропетровск: ДИИТ. - 1991. - С.4-10.
4. Рыбкин В.В. Для системы АСУ-путь // Путь и путевое хозяйство. - 1992. - № 5. - С. 10-11.
5. Рыбкин В.В. Адаптивная модель прогноза показателей надежности элементов верхнего строения пути // Вопросы взаимодействия пути и подвижного состава: Межвуз. сб. научн. тр., вып. 293/33. Днепропетр. ин-т инж. трансп. Днепропетровск: ДИИТ. - 1994. - С. 61-65.

6. Рыбкин В.В. Математическая модель вертикальных деформаций железнодорожного пути // Придніпровський науковий вісник. Технічні науки. - № 96 (163). – Листопад, 1998. - С. 92-97.
7. Рыбкин В.В. Концепция автоматизированной системы управления путевым хозяйством // Придніпровський науковий вісник. Технічні науки. - № 108 (175). – Листопад, 1998. - С. 88-95.
8. Рыбкин В.В. Оптимизация системы эксплуатации крестовин стрелочных переводов // Днепрпетр. ин-т инж. ж.-д. трансп. - Днепрпетровск, 1987, - 7 с. Деп. в ЦНИИТЭИ МПС 30.01.87, № 3849-жд87 // Анот. в ж. Железнодорожный транспорт, № 5, 1987.
9. Рыбкин В.В. Оценка надежности железнодорожного пути как восстанавливаемой системы // Тезисы докл. научн.-техн. конф. "Транссиб и научно-технический прогресс на железнодорожном транспорте". - Часть II. - Новосибирск: Новосиб. ин-т инж. трансп. - 1991. - С. 10-11.
10. Рыбкин В.В. Методика прогноза спектра осевых нагрузок подвижного состава // Тезисы докл. конф. "Проблемы механики железнодорожного транспорта. Динамика, прочность и надежность подвижного состава". Днепрпетровск: Днепрпетр. ин-т инж. трансп.; Ин-т техн. мех. АН Украины.; Придн. отд. Междунар. инж. акад. и Акад. инж. наук Украины.; Придн. научн. центр АН Украины. - 1992. - С. 65.
11. Рыбкин В.В., Васильев А.К. Динамические вертикальные силы, действующие на рельс в зоне крестовины // Исследования взаимодействия пути и подвижного состава: Межвуз. сб. научн. тр., вып. 223/24. Днепрпетр. ин-т инж. трансп. Днепрпетровск: ДИИТ. - 1982. - С. 69-74.
12. Климов В.И., Рыбкин В.В. Статический расчет пути как балки на опорах с нелинейной жесткостью // Исследования взаимодействия пути и подвижного состава: Межвуз. сб. научн. тр., вып. 235/26. Днепрпетр. ин-т инж. трансп. Днепрпетровск: ДИИТ. - 1984. - С. 3-8.
13. Климов В.И., Рыбкин В.В. Исследование влияния нелинейности характеристик подрельсового основания на напряженно-деформированное состояние пути // Исследование взаимодействия пути и современного подвижного состава: Межвуз. сб. научн. тр., вып. 257/29. Днепрпетр. ин-т инж. трансп. Днепрпетровск: ДИИТ. - 1987. - С. 72-81.
14. Волошко Ю.Д., Рыбкин В.В. А дешевизна-то мнимая // Гудок, № 71 (19306), 25.03.89.
15. Волошко Ю.Д., Воробейчик Л.Я., Рыбкин В.В., Васильев А.С. Динамические испытания стрелочного перевода при осевой нагрузке вагонов 28.0-29.0т // Вопросы взаимодействия пути и подвижного состава: Межвуз. сб. научн. тр., вып. 268/30. Днепрпетр. ин-т инж. трансп. - Днепрпетровск: ДИИТ. - 1989. - С. 11-16.

16. Климов В.И., Рыбкин В.В., Недашковский В.Н. Моделирование сил трения в расчетах пути // Вопросы взаимодействия пути и подвижного состава: Межвуз. сб. научн. тр., вып. 268/30. Днепропетр. ин-т инж. трансп. - Днепропетровск: ДИИТ. - 1989. - С. 56-61.
17. Волошко Ю.Д., Рыбкин В.В., Патласов А.М. Осевые нагрузки. Где предел? // Путь и путевое хозяйство. - 1990. - № 2. - С. 12.
18. Рыбкин В.В., Климов В.И., Патласов А.М., Крутенко М.Г. Влияние осевой нагрузки вагонов на динамические показатели напряженно-деформированного состояния пути // Вопросы взаимодействия пути и подвижного состава в условиях интенсификации работы железнодорожного транспорта: Межвуз. сб. научн. тр., вып. 278/31. Днепропетр. ин-т инж. трансп. - Днепропетровск: ДИИТ. - 1990. - С. 9-15.
19. Рыбкин В.В., Патласов А.М. Математическая модель отказов рельсов по усталостным дефектам // Вопросы взаимодействия пути и подвижного состава в условиях интенсификации работы железнодорожного транспорта: Межвуз. сб. научн. тр., вып. 278/31. Днепропетр. ин-т инж. трансп. - Днепропетровск: ДИИТ. - 1990. - С. 52-58.
20. Татуревич А.П., Рыбкин В.В., Ковтун П.В. Как содержатся стрелочные переводы // Путь и путевое хозяйство. - 1991. - № 6. - С. 8-9.
21. Рыбкин В.В., Васильев А.С. Как распределять крестовины // Путь и путевое хозяйство. - 1991. - № 7. - С. 9-10.
22. Воробейчик Л.Я., Рыбкин В.В. Динамические испытания двойного перекрестного стрелочного перевода после длительной эксплуатации // Исследования взаимодействия пути и подвижного состава: Межвуз. сб. научн. тр., вып. 283/32. Днепропетр. ин-т инж. трансп. - Днепропетровск: ДИИТ. - 1991. - С. 60-64.
23. Рыбкин В.В., Ковтун П.В. Исследование расстройств колеи по шаблону на стрелочных переводах // Строительство и эксплуатация пути и сооружений. Сб. научн. тр. Белорусский ин-т инж. трансп. - Гомель: БелИИЖТ. - 1992. - С. 16-24.
24. Рыбкин В.В., Уманов М.И., Ковтун П.В., Передерий В.Н., Лобода Д.И. О влиянии некоторых факторов на изменение ширины колеи в пределах стрелочных переводов // Вопросы взаимодействия пути и подвижного состава: Межвуз. сб. научн. тр., вып. 293/33. Днепропетр. ин-т инж. трансп. - Днепропетровск: ДИИТ. - 1994. - С. 71-75.
25. Рыбкин В.В., Ренгач Н.Г., Лагута В.В. Уточнение математической модели алгоритма проектирования рациональной выправки кривых железнодорожного пути в плане // Математичне моделювання в інженерних і фінансово-економічних задачах: 36. наук. пр. Дніпропетр. держ. техн. унів-т зал. трансп. Дніпропетровськ: Січ. - 1998. - С. 88-91.
26. Рыбкин В.В., Сливец Д.П., Парменов С.Б. Эффективность повторной наплавки крестовин стрелочных переводов // Днепропетр. ин-т инж. ж.-д. трансп.

- Днепропетровск, 1984. 9 с. Деп. в ЦНИИТЭИ МПС 26.11.84. №2938 жд-84 // Анот. в ж. Железнодорожный транспорт, № 3, 1985.
27. Рыбкин В.В., Васильев А.С. Надежность работы крестовин стрелочных переводов на отказ по контактно-усталостным дефектам // Днепропетр. ин-т инж. ж.-д. трансп. - Днепропетровск, 1988. - 16 с. Деп. в ЦНИИТЭИ МПС 20.05.88, № 4532-жд88 // Анот. в ж. Железнодорожный транспорт, № 9, 1988.
 28. Рыбкин В.В., Васильев А.С. Износосвая надежность крестовин стрелочных переводов // Днепропетр. ин-т инж. ж.-д. трансп. - Днепропетровск, 1988. - 11 с. Деп. в ЦНИИТЭИ МПС 20.05.88, № 4535-жд88 // Анот. в ж. Железнодорожный транспорт, № 9, 1988.
 29. Волошко Ю.Д., Рыбкин В.В., Ковтун П.В. Критерии отказов стрелочных переводов // Днепропетр. ин-т инж. ж.-д. трансп. - Днепропетровск, 1988. - 20 с. Деп. в ЦНИИТЭИ МПС 15.12.88, № 4728-жд88. Анот. в ж. Железнодорожный транспорт, № 3, 1989.
 30. Рыбкин В.В., Васильев А.С. Надежность работы крестовин стрелочных переводов при повышении осевых нагрузок // Тезисы докладов XII научно-технической конференции сотрудников ИРИИТа и специалистов эксплуатации и строительства железных дорог Сибири и БАМа. Часть 1. - Иркутск: Иркутский ин-т инж. трансп. - 1987. - С. 37-39.
 31. Волошко Ю.Д., Рыбкин В.В., Васильев А.С. Влияние повышенной осевой нагрузки на работу элементов стрелочных переводов // Тезисы докладов всесоюзной конференции "Проблемы механики железнодорожного транспорта. Повышение надежности и совершенствование конструкции подвижного состава" - Днепропетровск: Днепропетр. ин-т инж. трансп.; Приднестр. научн. центр АН УССР. Ин-т техн. механ. АН УССР. - 1988. - С. 79.
 32. Рыбкин В.В., Патласов А.М., Климов В.И. Напряженно-деформированное состояние пути при воздействии вагонов с повышенной осевой нагрузкой // Тезисы докладов всесоюзной конференции "Проблемы механики железнодорожного транспорта. Повышение надежности и совершенствование конструкции подвижного состава" Днепропетровск: Днепропетр. ин-т инж. трансп.; Приднестр. научн. центр АН УССР. Ин-т техн. механ. АН УССР. - 1988. - С. 96.
 33. Рыбкин В.В., Патласов А.М. Планирование ремонтов пути с учетом его фактического состояния // Тезисы докл. XVI научн.-техн. конф. кафедр БелИИЖТа и ДорНТО Белор. ж. д. "Пути технического перевооружения и модернизации железнодорожного транспорта". - Ч. III. - Гомель: Белор. ин-т инж. трансп. - 1989. - С. 22.
 34. Рыбкин В.В., Ковтун П.В. Моделирование устойчивости против схода колес с рельса на стрелочных переводах // Тезисы докл. XVI научн.-техн. конф. кафедр БелИИЖТа и ДорНТО Белор. ж. д. "Пути технического перевооружения и

модернізації залізничного транспорту” - Ч. III. - Гомель: Белор. ін-т інж. трансп. - 1989. - С. 25.

35. Волошко Ю.Д., Рыбкин В.В., Васильев А.С. Математические модели прогнозирования отказов крестовин стрелочных переводов // Тезисы докл. Всесоюзной научн.-техн. конф. “Методы и средства диагностирования технических средств железнодорожного транспорта” - Омск, Омский ин-т инж. трансп. - 1989. - С. 159.
36. Рыбкин В.В., Патласов А.М. Прогнозирование надежности работы рельсов по усталостной прочности в зависимости от осевой нагрузки подвижного состава // Тезисы докл. Всесоюзной научн.-техн. конф. “Методы и средства диагностирования технических средств железнодорожного транспорта” - Омск, Омский ин-т инж. трансп. - 1989. - С. 164-165.
37. Рыбкин В.В., Патласов А.М. Автоматизация управления путевым хозяйством, как главное направление ресурсосбережения // Тезисы докл. междунар. научн.-практ. конф. “Ресурсо- и энергосберегающие технологии на транспорте и строительном комплексе”. - Гомель: Белор. госуд. унив-т трансп. - 1995.- С. 109.
38. Рыбкин В.В., Томберг К.И. Планирование путевых работ на основе оценки надежности работы отдельных элементов пути // Тезисы докл. междунар. научн.-практ. конф. “Проблемы безопасности на транспорте”. - Гомель: Белор. госуд. унив-т трансп. - 1997. - С. 73.
39. Рыбкин В.В., Патласов А.М. Этапы компьютеризации и перспективы развития АСУ путевым хозяйством на железных дорогах Украины // Тезисы докл. междунар. научн.-практ. конф. “Проблемы взаимодействия пути и подвижного состава”. - Днепропетровск: Днепропетр. госуд. техн. унив-т ж.-д. трансп. - 1998.- С. 63.

АНОТАЦІЯ

Рибкін В.В. оптимізація системи ведення колійного господарства в нових умовах експлуатації залізниць України. - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.06 - залізнична колія. - Дніпропетровський державний технічний університет залізничного транспорту, Дніпропетровськ, 1999.

На захист винесені теоретичні основи автоматизованої системи утримання залізничної колії на основі оцінки і прогнозу надійності колії і з урахуванням фактичного його стану. Методи оцінки і прогнозу надійності колії враховують вплив на стан колії основних експлуатаційних факторів, у тому числі законів розподілення осьових навантажень рухомого складу, також потоки відновлення, що базуються на інтенсивності робіт із поточного утримання колії. Усі методики доведені до практичного використання в автоматизованій системі управління утриманням колії,

здійснене широке промислове впровадження результатів розробок на мережі залізниць СНД.

Ключові слова: математичне моделювання, надійність, система утримання, автоматизована система управління, колійне господарство.

АННОТАЦИЯ

Рыбкин В.В. Оптимизация системы ведения путевого хозяйства в новых условиях эксплуатации железных дорог Украины. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.22.06 железнодорожный путь. Днепропетровский государственный технический университет железнодорожного транспорта, Днепропетровск, 1999.

На защиту вынесены теоретические основы автоматизированной системы содержания железнодорожного пути на основе оценки и прогноза надежности пути и с учетом фактического его состояния.

Разработаны модели надежности: железнодорожного пути по положению в профиле, рельсов, шпал, крестовин стрелочных переводов и других элементов. Для оценки надежности элемента пути предложена адаптивная математическая модель, которая учитывает как результаты прогноза по теоретической математической модели, так и по фактическим данным отказов на рассматриваемом участке пути. Адаптивная модель позволяет существенно уменьшить доверительные границы результатов прогноза.

Методы оценки и прогноза надежности железнодорожного пути учитывают влияние на состояние пути основных эксплуатационных факторов, в том числе прогнозируемого закона распределения осевых нагрузок подвижного состава, также потоки восстановления, базирующиеся на интенсивности работ по текущему содержанию пути.

Для учета влияния осевых нагрузок проведены теоретические и экспериментальные исследования, позволившие получить и прогнозировать законы распределения осевых нагрузок подвижного состава. Для оценки напряженно-деформированного состояния железнодорожного пути предложена математическая модель для расчета железнодорожного пути в вертикальной плоскости. Модель учитывает неравноупругость подрельсового основания вдоль пути, нелинейную жесткость подрельсовых опор в вертикальной плоскости, случайные люфты между рельсом и подкладкой, скачкообразное изменение жесткостных характеристик при отрыве рельса от опоры. Проведенные натурные экспериментальные исследования подтвердили достоверность результатов, получаемых по предложенной математической модели.

Разработана методика и алгоритмы оценки надежности функционирования железнодорожного пути как системы отдельных взаимосвязанных восстанавливаемых элементов, обслуживаемых предприятиями путевого хозяйства в существующих условиях эксплуатации. Модель позволяет получить количественную и качественную оценку надежности функционирования системы во времени и спрогнозировать изменение надежности. Разработана методика, алгоритм и программное обеспечение для оптимизации предложенной модели системы содержания железнодорожного пути.

Разработана концепция создания и внедрения на предприятиях путевого хозяйства Украины автоматизированной системы управления путевым хозяйством АСУ-путь. Концепция определяет структуру функций и задач управления путевым хозяйством, порядок их автоматизации на дорогах Украины, требования к автоматизированной системе управления путевым хозяйством. Выработаны требования к техническому, нормативному, информационному, мониторинговому и программному обеспечению автоматизированной системы управления путевым хозяйством. Разработаны десять пакетов программ для автоматизированной системы управления путевым хозяйством.

Все методики доведены до практического использования в автоматизированной системе управления содержанием пути, осуществлено широкое промышленное внедрение результатов разработок на сети железных дорог Украины и Российской Федерации. Результаты исследований широко используются также и в учебном процессе ряда вузов.

Дана технико-экономическая оценка полученных результатов исследований. Рассмотрены ожидаемые и реальные социальный, технический и экономический эффекты от внедрения практических предложений, полученных в работе.

Ключевые слова: математическое моделирование, надежность, система содержания, автоматизированная система управления, путевое хозяйство.

ABSTRACT

Rybkin V.V. System's optimization of the conducting track economy in the new conditions of the Ukrainian's railways. – Manuscript.

Dissertation for the acquirement of the degree of Doctor of Technical Sciences in specialty 05.22.06 Railway Track. Dnipropetrovsk State Technical University of Railway Transport, Dnipropetrovsk, 1999.

On the defense of the dissertation has been submitted theoretical foundations of the automatic system of the railway track's maintenance. They are base on the estimation and prognosis reliability of the track taking into account factual state. Methods of the estimation and prognosis reliability take into consideration influence on the condition of the track of the general maintenance factors include axial loads of the rolling stock, restoration's flows basing on the intensity of the work on the current maintenance of the track. All the methods

have been completed to the practical using maintenance of the track in automatic control system. Wide industrial introduction results of the developments have been proceeded in UIS's railway network.

Key words: mathematical modeling, reliability, maintenance system, automatic control system, track economy.

РИБКІН Віктор Васильович

ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ВЕДЕННЯ КОЛІЙНОГО ГОСПОДАРСТВА В
НОВИХ УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЗАЛІЗНИЦЬ УКРАЇНИ

Спеціальність 05.22.06 – Залізнична колія

Підписано до друку 12.03.99. Формат 60х84 1/16. Папір для розмножувальних апаратів. Друк офсетний. Ум.друк.арк. 2. Обл.-вид.арк. 2. Тираж 100 прим. Замовлення № 108. Безкоштовно.

Дніпропетровський державний технічний університет залізничного транспорту.
Ділянка оперативної поліграфії ДПТУ.

Адреса університету і ділянки оперативної поліграфії: 320700, ДСП,
Дніпропетровськ, 10. вул. акад. В.А.Лазаряна, 2.