

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ЕКОНОМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ТРАНСПОРТУ

Вітольберг Володимир Геннадійович

УДК 625.033.373.4

**ПРОГНОЗУВАННЯ РЕСУРСУ РОБОТИ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ШПАЛ
ТИПУ СБ 3-0 В УМОВАХ ЗАЛІЗНИЧНИХ КОЛІЙ
НЕЗАГАЛЬНОГО КОРИСТУВАННЯ**

Спеціальність 05.22.06 – Залізнична колія

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2013

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі «Колія та колійне господарство» Української державної академії залізничного транспорту Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, доцент
Даренський Олександр Миколайович, Українська державна академія залізничного транспорту

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Косарчук Валерій Володимирович,
Державний економіко-технологічний університет транспорту, завідувач кафедри «Теоретична та прикладна механіка»;

кандидат технічних наук, доцент
Патласов Олександр Михайлович,
Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, доцент кафедри «Колія та колійне господарство»

Захист відбудеться «27» вересня 2013 року о 14⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 26.820.01 в Державному економіко-технологічному університеті транспорту за адресою: 03049, м. Київ, вул. М. Лукашевича, 19, ауд. № 115.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Державного економіко-технологічного університету транспорту за адресою: 03049, м. Київ, вул. М. Лукашевича, 19

Автореферат розісланий «22» серпня 2013 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради К 26.820.01
к.т.н., доцент

_____ М.І.Карпов

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Залізничні колії незагального користування, розгорнута довжина яких складає більш ніж 20 тис. км, утворюють по суті другу після магістральних ліній залізничну мережу України. Використання на цій мережі ефективних та ресурсозберігаючих конструкцій та елементів верхньої будови колії може дати вагомий економічний ефект, як для окремих підприємств та галузей промисловості, так і для економіки України в цілому.

Прикладом даного використання може стати укладання шпал типу СБ 3-0 зі скріпленнями типу КПП-5. Така конструкція підрейкової основи вигідно відрізняється від найбільш поширених у теперішній час шпал ШП-1 зі скріпленням типу КБ порівняно низькою матеріаломісткістю, більш низькими експлуатаційними витратами.

Однак, в теперішній час немає досвіду використання такої конструкції в специфічних умовах колій незагального користування.

Слід особливо підкреслити, що експлуатаційні умови колій незагального користування значною мірою відрізняються від умов магістральних залізниць. До таких особливостей можливо віднести більш високий рівень осьових навантажень, більшу протяжність кривих, улаштування колії з заглибленою баластною призмою та цілий ряд інших, які викликані особливими нормами улаштування колії, так і особливостями рухомого складу.

Таким чином, актуальною є науково-технічна проблема прогнозування ресурсу роботи залізобетонних шпал типу СБ 3-0 в особливих умовах колій незагального користування.

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

Дисертаційна робота узагальнює результати досліджень автора, які виконувалися на протязі з 1996 по 2012 рік у відповідності з планом науково-дослідних робіт Української державної академії залізничного транспорту, які виконувалися за завданням Укрзалізниці. Також були виконані роботи, які мали безпосередній зв'язок, або частково пов'язані з темою дисертації, на замовлення КП «Харківський метрополітен». Дисертант приймав участь при виконанні наступних науково-дослідних робіт: «Перегляд «Інструктивних вказівок про організацію контролю рейок, ремонту та обслуговування дефектоскопних засобів в колійному господарстві метрополітену», Харків, УкрДАЗТ, 2010 р. номер держреєстрації 0110U006991; «Проведення досліджень та визначення термінів експлуатації гумових прокладок в реальних умовах та надання рекомендацій щодо внесення змін до середніх норм витрат матеріалів», Харків, УкрДАЗТ, 2010 р., номер держреєстрації 0110U006992; «Дослідження роботи рейок в умовах КП «Харківський метрополітен» для оцінки можливості підвищення їх експлуатаційного ресурсу», Харків, УкрДАЗТ, 2011 р., номер держреєстрації 0112U002476; «Проведення досліджень процесів формування надінтенсивного бокового зносу рейок та розробка заходів щодо його зниження», Харків, УкрДАЗТ, 2011 р., номер держреєстрації 0112U002477; «Розробка вказівок по

продовженню терміну служби рейок на коліях КП «Харківський метрополітен», Харків, УкрДАЗТ, 2012 р., номер держреєстрації 0112U006892.

Мета та задачі досліджень. Метою дисертаційної роботи є рішення науково-технічної проблеми прогнозування ресурсів роботи залізобетонних шпал СБ 3-0 в особливих умовах експлуатації залізниць незагального користування. Для досягнення цієї мети були вирішені наступні задачі:

– визначено просторову жорсткість рейкових опор при шпалах СБ 3-0 зі скріпленням типу КПП-5 в умовах колій незагального користування та виконана прогнозна оцінка зміни цих параметрів в процесі експлуатації;

– досліджено чисельними методами просторові сили, які діють на шпали СБ 3-0 при роботі в коліях незагального користування в різних умовах експлуатації;

– досліджено напружений стан залізобетонних шпал СБ 3-0 в різних експлуатаційних умовах за допомогою моделей, які розроблені з використанням методу скінчених елементів;

– проведено експлуатаційні дослідження роботи шпал типу СБ 3-0 зі скріпленням КПП-5 в умовах колій незагального користування для перевірки даних теоретичних розрахунків;

– виконана прогнозна оцінка ресурсу роботи шпал СБ 3-0 в умовах колій незагального користування на підставі методів теорії надійності та визначено раціональні сфери їх укладання в таких умовах.

Об'єкт досліджень – процеси роботи залізобетонних шпал типу СБ 3-0.

Предмет досліджень – ресурс роботи залізобетонних шпал типу СБ 3-0 в умовах колій незагального користування.

Методи досліджень. В роботі використано комплексний підхід до вирішення задач, що поставлені, які базуються на:

– аналітичних методах теоретичної та будівельної механіки з використанням просторових моделей для визначення сил взаємодії рухомого складу на колію в цілому та на окремі шпали;

– методі скінчених елементів для розрахунку та аналізу напруженого стану шпал СБ 3-0;

– методах теорії надійності для прогнозування ресурсів роботи шпал СБ 3-0 в умовах колій незагального користування та сфер їх застосування;

– методах експериментальних досліджень роботи залізобетонних шпал.

Наукова новизна отриманих результатів.

1. На основі теоретичного аналізу та експериментального дослідження визначені просторові жорсткості рейкових опор при шпалах СБ 3-0 зі скріпленням типу КПП-5 з урахуванням рівня діючого на них навантаження. Встановлені залежності змін цих параметрів в процесі експлуатації колій незагального користування.

2. На основі досліджень чисельними та експериментальними методами визначено рівень вертикальних, горизонтальних поперечних та горизонтальних поздовжніх сил, які діють на шпали СБ 3-0 при обертанні спеціального та спеціалізованого рухомого складу залізниць незагального

користування. Встановлено вплив швидкостей руху, радіусів кривих, наявність вертикальних та горизонтальних поперечних нерівностей колії.

3. З використанням методу скінчених елементів та експериментально досліджено напружений стан шпал СБ 3-0 в умовах залізниць незагального користування. Встановлено вплив конструктивних особливостей спеціального і спеціалізованого рухомого складу та конструктивних особливостей колій незагального користування.

4. На основі методів теорії надійності зроблено прогнозну оцінку ресурсу роботи шпал СБ 3-0 та надані рекомендації сфер їх застосування в умовах колій незагального користування.

Практичне значення отриманих результатів.

Результати досліджень дисертаційної роботи дозволили встановити обґрунтовані та раціональні сфери застосування залізобетонних шпал СБ 3-0 зі скріпленням типу КПП-5 на ділянках колій незагального користування, що дозволить отримати економічний ефект до 10 тис. грн. на кілометр, що ремонтується та до 3 тис. грн./км рік при поточному утриманні колій (акт розглядання результатів роботи ПАТ «Маріупольський металургійний комбінат імені Ілліча», м. Маріуполь).

Ефективність розроблених моделей та методів розрахунків напруженого стану шпал СБ 3-0 дозволила безпосередньо використовувати їх при розрахунках шпал, як для умов залізниць незагального використання, так і для умов магістральних залізниць [15].

Отримані в дисертації результати використовуються в курсах дисциплін Технологія ремонту та утримання колії, Системи автоматизованого проектування, Загальний курс залізниць, в курсовому та дипломному проектуванні при підготовці спеціалістів та магістрів за спеціальністю «Залізничні споруди та колійне господарство» Української державної академії залізничного транспорту та Навчально-наукового інституту перепідготовки та підвищення кваліфікації УкрДАЗТ.

Практичне впровадження результатів роботи підтверджено відповідними актами, які приведені в додатках до дисертації.

Обґрунтованість та достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій. Усі наукові положення, висновки та рекомендації, отримані в дисертаційній роботі, обґрунтовані та достовірні. Вони отримані на основі використання методів та прийомів наукових досліджень, які базуються на принципах системності та включають:

- комплексний підхід до рішення проблеми прогнозування ресурсу роботи шпал СБ 3-0:

- використання методів теоретичної та будівельної механіки;

- моделювання шпал СБ 3-0 методом скінчених елементів з урахуванням особливостей роботи бетону та арматури, особливостей влаштування і роботи скріплення КПП-5;

- використання методів математичної статистики та теорії надійності для обробки результатів експериментів та прогнозування ресурсів роботи шпал СБ 3-0.

Достовірність результатів роботи підтверджується задовільною збіжністю теоретичних та експериментальних результатів. Результати випробувань добре узгоджені з даними інших дослідників, які були отримані в близьких умовах.

Особистий внесок здобувача.

Всі наукові результати, які виносяться на захист, отримані автором. Особистий внесок здобувача в роботи опубліковані у співавторстві:

- планування, участь в проведенні експериментальних робіт із визначення просторових жорсткостей скріплень КПП-5 і залізобетонних шпал в умовах колій незагального користування, статистична обробка результатів, отримання експериментальних залежностей змін цих параметрів [1, 2, 3, 5, 7];

- розробка математичної моделі роботи скріплення КПП-5 під дією поздовжніх сил [4];

- математичне забезпечення методу протиугінних систем [6];

- програмне забезпечення відеоцифрової системи визначення переміщень [8, 12, 13];

- програмне забезпечення математичної моделі динамічної системи «екіпаж-рейкова колія», дослідження чисельними методами, аналіз результатів [9, 10, 11, 14].

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати дисертації доповідалися на 70 міжнародній науково-технічній конференції кафедр академії та спеціалістів залізничного транспорту і підприємств (УкрДАЗТ, м. Харків, 2008 р.), на 73 міжнародній науково-технічній конференції кафедр академії, інженерно-технічних працівників залізниць, підприємств та організацій України та інших країн (УкрДАЗТ, м. Харків 2011 р.), 70 міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (ДНУЗТ ім. академіка В. Лазаряна, м. Дніпропетровськ, 2010 р.), II Международной научно-практической конференции «Технологии, материалы, транспорт и логистика: перспективы развития» (Східноукраїнській національний університет імені В. Даля, м. Луганськ, 2012 р.), 75 міжнародній науково-технічній конференції кафедр академії, інженерно-технічних працівників залізниць, підприємств та організацій України та інших країн (УкрДАЗТ, м. Харків, 2013 р.).

Повністю дисертаційна робота доповідалась і обговорювалась на розширеному науково-технічному семінарі кафедр «Колія та колійне господарство», «Будівельні матеріали, конструкції та споруди» і «Будівельна механіка та гідравліка» УкрДАЗТ 4 квітня 2013 року.

Публікації. Основний зміст дисертації опублікований у 15 роботах, в тому числі 11 статей, які надруковані у виданнях з переліку, який рекомендовано ДАК МОН України, 1 стаття у закордонному виданні з імпаکت-фактором, 2 патенти.

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, шести розділів, загальних висновків, списку використаних джерел і 6-ти додатків. Повний обсяг складає 237 сторінок друкованого тексту, з них основний текст

– 161 стор. В тому числі: 69 рисунків та 20 таблиць на 12 сторінках, список літератури з 138 найменувань на 13 сторінках та 6-ти додатків на 63 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовується актуальність та мета досліджень, відзначена наукова новизна та практичне значення отриманих результатів. Коротко викладені основні результати роботи, наведена структура дисертації, представлена інформація про апробацію роботи та її загальний обсяг.

У **першому розділі** проведено аналіз експлуатаційних та конструктивних особливостей колій незагального користування. Розглянуто рухомий склад, який обертається на цих коліях. Запропоновано використання залізобетонних шпал типу СБ 3-0. Проведено аналіз теорії розрахунків рейкової колії та залізобетонних шпал.

Для залізобетонних шпал практично єдиним типом проміжного скріплення в теперішній час є скріплення типу КБ. Скріплення типу КБ краще інших типів забезпечує стабільність ширини колії в прямих і кривих ділянках колії радіусом більше 350 м, при правильному утриманні краще сприймає бічні навантаження, має достатні протиугінні властивості. Однак, поряд з цим скріплення типу КБ має ряд суттєвих недоліків.

В якості реальної альтернативи в роботі пропонується використання скріплення типу КПП-5 на коліях незагального користування України. Дане скріплення має ряд переваг у порівнянні зі скріпленням типу КБ.

На коліях незагального користування може експлуатуватися рухомий склад магістральних залізниць або спеціалізовані вагони, технічні характеристики яких відповідають вимогам, що ставляться до рухомого складу для безперешкодного обороту по всій мережі залізниць. Відмінними характеристиками візків рухомого складу є більша, у порівнянні з магістральними лініями, необресорена маса, висока жорсткість ресорних комплектів, короткі жорсткі бази (1,3–1,5 м) та малі діаметри коліс (0,65–0,84 м) та ін.

Межі змін осьових навантажень, диференційовані по групах вагонів залежно від їх призначення, наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Осьові навантаження вагонів на коліях незагального користування України

Призначення вагонів	Осьові навантаження кН	
	Порожні	Навантажені
Вагони загального призначення	52,4 – 62,8	182,2 – 212,0
Спеціалізовані вагони	55,0 – 90,0	210,0 – 340,0
Спеціальні вагони	37,4 – 161,2	187,0 – 560,0

Проведений аналіз теорії процесів взаємодії колії й рухомого складу показав, що спочатку рейку розглядали як розрізну балку на двох непружних опорах. Потім поступово переходили до розрахунків рейки як нерозрізної балки, що лежить на багатьох, але все-таки непружних опорах (Д.І. Журавський, Г. Пуанкер, Ф. Енрольд). Значний внесок у теорію взаємодії колії та рухомого складу зробив академік Н.П. Петров. Він розробив основи теорії сил інерції необресорених мас, що рухаються по пружній колії з нерівностями будь-якої форми. Н.П. Петров вперше виконав розрахунок рейки як балки на пружній основі.

Ідеї академіка Н.П. Петрова про необхідність урахування ймовірнісного характеру динамічних навантажень, вперше реалізовані О.П. Єршковим, одержали глибокий і всебічний розвиток у роботах Е.М. Бромберга та Г.М. Шахунянца. Фундаментальне узагальнення й розвиток цього підходу в розрахунках динамічних навантажень було виконано М.Ф. Веріго.

Під керівництвом професора В.Ф. Яковлева та при його самій активній участі була розроблена розрахункова схема рейкошпальної решітки як просторової стрижневої системи. З'єднання рейок зі шпалами, яке забезпечується вузлами проміжних скріплень, замінено дією просторових пружних зв'язків, кількість яких дорівнює шести: три реактивні сили та три реактивних моменти. Стрижні-шпали опираються на основу, яка наділена пружними властивостями в трьох напрямках.

Також необхідно відмітити вагомий внесок у розвиток теорії взаємодії колії та рухомого складу Н.М. Беляєва, С.П. Тимошенка, В.А. Лазаряна, С.В. Амеліна, Н.А. Ковальова, С.М. Куценка, М.П. Смирнова, М.А. Фрішмана, О.Я. Когана, М.О. Чернишова, В.І. Ангелейка, Е.І. Даніленка, В.В. Львовського, В.Д. Дановича, В.М. Понирка, М.П. Настечика, К.Д. Бєлих, В.В. Рибкіна.

Прийняті в теперішній час у практичних інженерних розрахунках методи та способи визначення напружено-деформованого стану залізобетонних шпал і підшпальної основи (баласту) зводиться, в основному, до використання загальної розрахункової схеми шпали, як балки змінного перерізу, що обпирається на суцільну пружну основу.

У **другому розділі** розглянуто формування просторової жорсткості вузла скріплення КПП-5 та залізобетонної шпали типу СБ 3-0.

При використанні в якості рейкових опор залізобетонних шпал пружні лінійні та кутові переміщення рейки на опорі складаються з переміщень за рахунок деформацій пружних елементів у вузлі проміжного скріплення й пружних переміщень шпал у баласті. Переходячи від переміщень до складових просторової жорсткості рейкової опори та використовуючи принцип «багатошарової опори», сформульований професором Е.І. Даніленком, можна записати:

$$\left. \begin{aligned} C_z &= \frac{C_{zск} \cdot C_{zш}}{C_{zск} + C_{zш}} \left(\frac{H}{M} \right) \\ C_y &= \frac{C_{уск} \cdot 0.5C_{уш}}{C_{уск} + 0.5C_{уш}} \left(\frac{H}{M} \right) \\ C_x &= \frac{C_{хск} \cdot 0.5C_{хш}}{C_{хск} + 0.5C_{хш}} \left(\frac{H}{M} \right) \\ C_\varphi &= \frac{C_{\varphiск} \cdot C_{\varphiш}}{C_{\varphiск} + C_{\varphiш}} \left(\frac{H}{рад} \right) \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

де $C_{zск}$, $C_{уск}$, $C_{хск}$, $C_{\varphiск}$ – жорсткості проміжного скріплення у вертикальній, горизонтальній поздовжній та горизонтальній поперечній площинах і при крутінні рейки;

$C_{zш}$, $C_{уш}$, $C_{хш}$, $C_{\varphiш}$ – те ж, системи шпала-баласт.

Для визначення вертикальної жорсткості вузла скріплення КПП-5 отримаємо:

$$C_z = u_{np}^{дин} - 2\mathcal{J}_{кл}, \quad (2)$$

де $u_{np}^{дин}$ – жорсткість підрейкової прокладки при динамічному стисканні;

$\mathcal{J}_{кл}$ – жорсткість пружинної клеми при вертикальних деформаціях.

Величину горизонтальної поперечної жорсткості вузла скріплення КПП-5 можна визначити

$$\left. \begin{aligned} & - \text{при } R_y < f_{ГК} \left(Q_{кл}^M - \frac{R_z \cdot \mathcal{J}_{кл}}{u_{np}^{дин} + 2\mathcal{J}_{кл}} \right) \\ & C_Z = \infty \\ & - \text{при } R_y \geq f_{ГК} \left(Q_{кл}^M - \frac{R_z \cdot \mathcal{J}_{кл}}{u_{np}^{дин} + 2\mathcal{J}_{кл}} \right) \\ & C_Z = u_{вк} + u_{np}^\Gamma \\ & \text{де } u_{np}^\Gamma = f_1 \left(\frac{R_y}{u_{np}^{дин} + 2\mathcal{J}_{кл}} \right) \end{aligned} \right\}, \quad (3)$$

де $Q_{кл}^M$ – сила монтажного натискання клеми;

$u_{вк}$ – жорсткість вкладиша при бічних переміщеннях рейки.

За аналогією з поперечною жорсткістю, умови проявлення й величину горизонтальної поздовжньої жорсткості скріплення КПП-5 можна визначити

$$\left. \begin{aligned} & - \text{при } R_x < f_{вк} \left(Q_{кл}^M - \frac{R_z \cdot \mathcal{J}_{кл}}{u_{np}^{дин} + 2\mathcal{J}_{кл}} \right) \\ & C_x = \infty \\ & - \text{при } R_x \geq f_{вк} \left(Q_{кл}^M - \frac{R_z \cdot \mathcal{J}_{кл}}{u_{np}^{дин} + 2\mathcal{J}_{кл}} \right) \\ & C_Z = u_{np}^{\Gamma x} \end{aligned} \right\}, \quad (4)$$

де $u_{np}^{Гх}$ – горизонтальна поздовжня жорсткість підрейкової прокладки при зсуві.

Переходячи до жорсткості скріплення при крутінні

$$C_{\varphi} = \mathcal{J}_{кл} \frac{v^2}{2} + u_{np}^{дин} \frac{v^2}{16}. \quad (5)$$

Таким чином, просторова жорсткість скріплення КПП-5 визначається жорсткістю підрейкових прокладок при стиску при статичному $u_{np}^{ст}$ та динамічному $u_{np}^{дин}$ навантаженні, жорсткістю пружинних клем $\mathcal{J}_{кл}$, жорсткістю ізолюючого вкладиша при зсуві рейки $u_{вк}$ та жорсткостями підрейкових прокладок при їхньому зсуві в поперечному $u_{np}^{Гу}$ й поздовжньому $u_{np}^{Гх}$ напрямках.

У результаті проведених експериментальних робіт були отримані наступні параметри та залежності, що характеризують жорсткість підрейкової прокладки ПРП-2 проміжного скріплення КПП-5:

- жорсткості прокладок при стиску при статичному навантаженні монтажними силами;
- жорсткості прокладок при стиску при поїзному динамічному навантаженні в діапазонах, відповідних до осьових навантажень до 25, до 35 і до 45 тонн на вісь спеціального рухомого складу;
- емпіричні залежності змін динамічної жорсткості прокладки при стиску від строків служби прокладок у колії;
- емпіричні залежності змін жорсткості прокладок при зсуві від величини їх стиску вертикальними силами;
- емпіричні залежності змін жорсткості прокладки при зсуві від терміну їх служби в колії.

Отримане середнє значення жорсткості клеми КП-5.2 при вертикальних $\mathcal{J}_{кл}$ деформаціях становить $0,255 \cdot 10^4$ кН/м при середньоквадратичному відхиленні $0,02 \cdot 10^4$ кН/м.

У результаті обробки даних експерименту отримана величина жорсткості бічного упору вузла скріплення КПП-5, яка рівна $u_{вк} = 3,71 \cdot 10^4$ кН/м при середньоквадратичному відхиленні $0,0825 \cdot 10^4$ кН/м.

Таким чином, бічний упор вузла скріплення КПП-5 створює від 31% до 43% горизонтальної поперечної жорсткості цього скріплення.

На основі виконаних досліджень отримані значення жорсткостей рейкових опор при залізобетонних шпалах СБ 3-0 в вертикальній, горизонтальній поперечній, горизонтальній поздовжній площинах (рис. 1-4).

Жорсткість у вертикальній площині пропонується розраховувати

$$C_{\sigma} = K_{\kappa} \cdot K_{oc} \left(16,4 \cdot 10^4 + 0,305 \cdot 10^4 T^{0,724} \right), \quad (\text{кН/м}^3) \quad (6)$$

де K_k – коефіцієнт, що враховує конструкцію колії (для звичайної баластової призми $K_k=1$, для заглибленої або напівзаглибленої $K_k=1.2$);

K_{oc} – коефіцієнт, що враховує рівень осевих навантажень на ділянці (при осевих навантаженнях до 26 кН $K_{oc}=1$, при навантаженнях 265-294 кН $K_{oc}=1,31$, при навантаженнях більше 294 кН $K_{oc}=1.59$);

T – пропущений по ділянці тоннаж (млн.т).

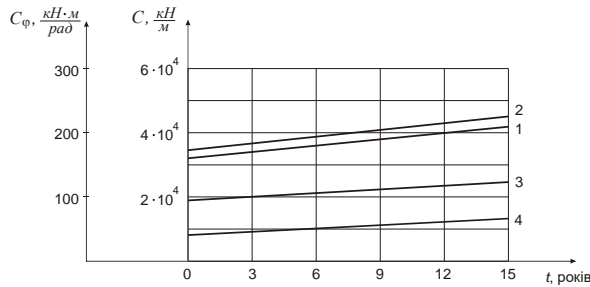


Рис. 1 – Зміна жорсткості рейкових опор в процесі експлуатації, $P_{oc} < 250$ кН/вісь, $T_0 < 3$ млн.т/рік:
1 – жорсткість при крученні рейки C_ϕ ;
2 – вертикальна жорсткість C_y ;
3 – горизонтальна поперечна жорсткість C_z ;
4 – горизонтальна поздовжня жорсткість C_x

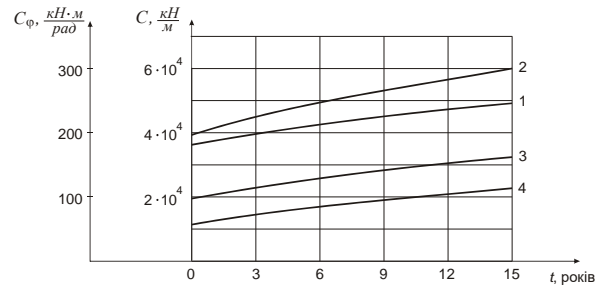


Рис. 3 – Зміна жорсткості рейкових опор в процесі експлуатації, $P_{oc} < 265 - 294$ кН/вісь, $T_0 = 10$ млн.т/рік:
1 – жорсткість при крученні рейки C_ϕ ;
2 – вертикальна жорсткість C_y ;
3 – горизонтальна поперечна жорсткість C_z ;
4 – горизонтальна поздовжня жорсткість C_x

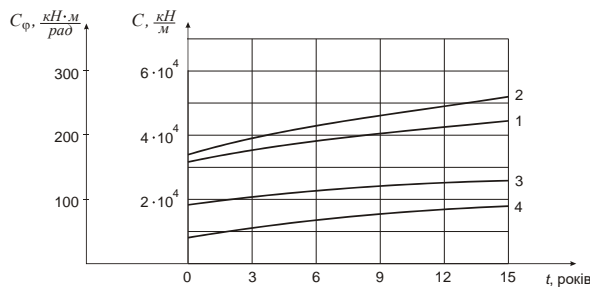


Рис. 2 – Зміна жорсткості рейкових опор в процесі експлуатації, $P_{oc} < 250$ кН/вісь, $T_0 < 25$ млн.т/рік:
1 – жорсткість при крученні рейки C_ϕ ;
2 – вертикальна жорсткість C_y ;
3 – горизонтальна поперечна жорсткість C_z ;
4 – горизонтальна поздовжня жорсткість C_x

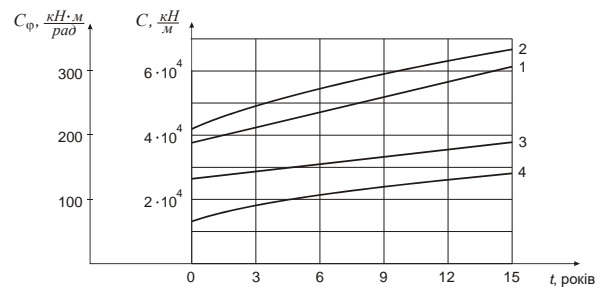


Рис. 4 – Зміна жорсткості рейкових опор в процесі експлуатації, $P_{oc} < 295 - 450$ кН/вісь, $T_0 = 10$ млн.т/рік:
1 – жорсткість при крученні рейки C_ϕ ;
2 – вертикальна жорсткість C_y ;
3 – горизонтальна поперечна жорсткість C_z ;
4 – горизонтальна поздовжня жорсткість C_x

Горизонтальна поперечна жорсткість шпал при різному рівні вертикальних навантажень та при збільшенні пропущеного по ділянках тоннажу:

$$C_{zш} = K_K \cdot K_3 \left(0,73 \cdot 10^4 + 0,22 \cdot 10^4 \cdot P_z \right) \left(1 + 0,021T^{0,695} \right) \text{ (кН/м)}, \quad (7)$$

де K_K – коефіцієнт, що враховує конструкцію колії (для звичайної баластової призми $K_K=1$, для заглибленої або напівзаглибленої $K_K=1,2$);

K_3 – коефіцієнт, для літніх умов рівний 1, для зимових умов рівний 1.8;

P_z – вертикальні навантаження від двох рейок на шпалу (кН).

Горизонтальна поздовжня жорсткість залізобетонних шпал визначається

$$C_{xш} = K_K \cdot K_3 \left(0,82 \cdot 10^4 + 0,020 \cdot 10^4 \cdot P_z \right) \left(1 + 0,027T^{0,802} \right) \text{ (кН/м)}. \quad (8)$$

Виконані дослідження показали, що просторова жорсткість опор при шпалах СБ 3-0 і скріпленні КПП-5 в умовах залізниць незагального користування змінюється в широких межах. Так вертикальна жорсткість опор може змінюватися від $3,3 \cdot 10^4$ кН/м до $8,2 \cdot 10^4$ кН/м, горизонтальна поперечна жорсткість від $0,96 \cdot 10^4$ кН/м до $2,41 \cdot 10^4$ кН/м, горизонтальна поздовжня $0,93 \cdot 10^4$ кН/м до $2,74 \cdot 10^4$ кН/м, жорсткість при крутінні рейки від $162 \frac{\text{кН} \cdot \text{м}}{\text{рад}}$ до $354 \frac{\text{кН} \cdot \text{м}}{\text{рад}}$.

У третьому розділі чисельними методами досліджено кінетичні і силові зв'язки між елементами динамічної підсистеми «екіпаж-колія».

В якості базової розрахункової схеми математичної моделі прийнята просторова схема чотирьохвісного екіпажу (рис. 5), який рухається по колії з постійною швидкістю. Рейка розглядаються як балка великої довжини, що спирається на опори, які володіють просторовими пружно-дисипативними властивостями.

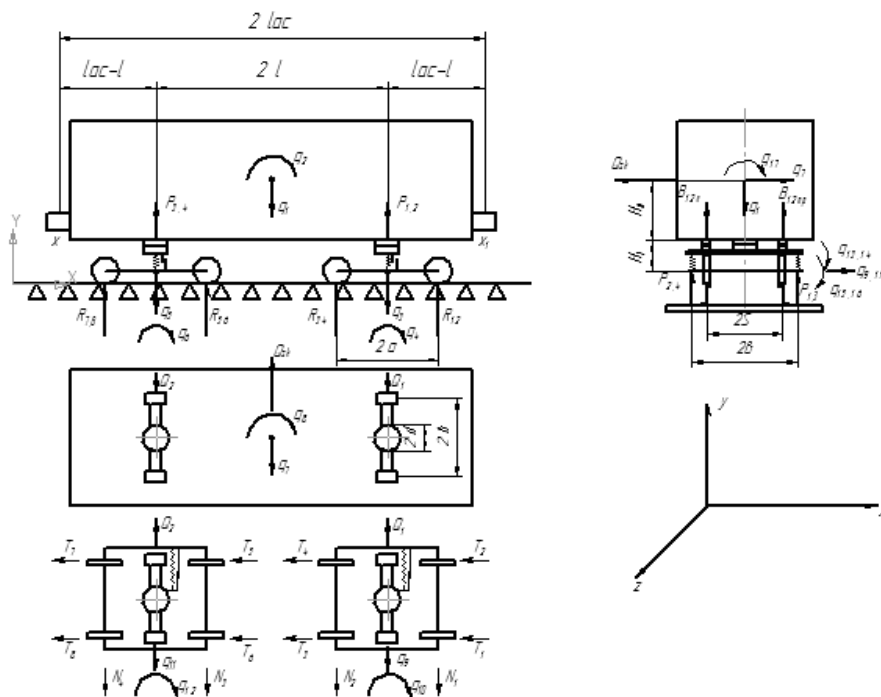


Рис. 5 – Розрахункова схема чотирьохвісного екіпажу

Математична модель просторової динамічної системи «екіпаж-колія» реалізована в сучасній ефективній програмній системі *Mathcad*. Розроблено алгоритм і програма розрахунків сил взаємодії екіпажу та колії.

Програма розрахунків дозволяє визначати вертикальні та горизонтальні поперечні сили взаємодії чотиривісних екіпажів і колії зі всіма можливими технічними та геометричними характеристиками при будь-яких швидкостях руху. Враховуються нелінійні сили сухого тертя у фрикційних гасителях коливань, можливість «валяння» кузова на скользуни і виникаючі при цьому сили і моменти сил між кузовом і візками. Врахована нелінійність зв'язків у тому випадку, коли моменти сил тертя на пятниках і скользунах виявляються більше суми моментів горизонтальних реакцій ресорних комплектів і моментів поздовжніх і поперечних сил взаємодії коліс екіпажу з рейками.

Вертикальні силові і кінематичні зв'язки підсистем «екіпаж-колія» представлені з урахуванням одностороннього зв'язку колеса і рейки, пружної і дисипативних реакцій колій. Передбачена можливість руху по колії коліс, що мають дисбаланс, нерівномірність прокату і повзуни, ударні сили в стиках.

Математична модель і програма розрахунків дозволили досліджувати сили взаємодії екіпажу та колії при його русі як по прямих і кривих ділянках без нерівностей, так і при русі по колії з вертикальними і горизонтальними нерівностями будь-якої протяжності і форми.

Для виявлення особливостей дії на колію спеціального і спеціалізованого рухомого складу промислового транспорту були виконані багатоваріантні розрахунки. Як розрахункові екіпажі були прийняті найпоширеніші типи спеціальних і спеціалізованих вагонів металургійних і гірничодобувних підприємств України:

- чавуновозні платформи вантажопідйомністю 70 т і 110 т;
- чавуновози вантажопідйомністю 80, 100 і 140 т;
- шлаковози з об'ємом ковша 11, 16 і 16,5 м³;
- думпкари 6-BC-60 і BC-85;
- візки для виливниць И-160-5500 і И-120-5500.

Швидкість руху прийнятих до розрахунків екіпажів задавалася для спеціальних вагонів від 2,5 до 7,5 км/год., в деяких випадках – до 10 км/год., для спеціалізованих вагонів і піввагона моделі 12-1000 – від 5 до 40 км/год., що відповідає дозволеним швидкостям руху для такого рухомого складу на транспорті незагального користування.

Як змінні в розрахунках приймалися наступні параметри колії:

- радіуси кругових кривих – від 80 до 600 м;
- довжина вертикальних нерівностей – від 2 до 25 м;
- глибина вертикальних нерівностей – від 0,005 до 0,07 м;
- довжина горизонтальних нерівностей – від 1 до 8 м;
- стріла вигину горизонтальних нерівностей – від 0,003 до 0,05 м;
- рейкові опори – залізобетонні;
- епюра шпал – від 1440 до 2000 шт./км;
- терміни експлуатації колії – від 0 до 15 років.

За результатами розрахунків визначено вертикальні і горизонтальні поперечні сили при русі вагонів по прямих і криволінійних ділянках колії з різними швидкостями.

Розглянуто вплив радіусів кругових кривих, підвищення зовнішньої рейки, довжини перехідних кривих, довжини і амплітуди вертикальних і горизонтальних нерівностей колії на ці сили. Встановлено, що вплив цих чинників може викликати виникнення вертикальних динамічних сил, які для деяких типів спеціальних вагонів перевищують статичні вертикальні навантаження в 1,22 рази.

Вертикальні нерівності колії, в першу чергу короткі ізольовані нерівності, збільшують значення вертикальних динамічних сил в 1,08-1,15 разів.

Визначені значення горизонтальних поперечних сил при русі спеціалізованих і спеціальних вагонів при русі по прямих і криволінійних ділянках колії, у тому числі по ділянках колії з горизонтальними ізольованими нерівностями. Встановлено, що головний вплив на величину цих сил надають саме нерівності колії. При дозволених швидкостях руху на коліях з горизонтальними нерівностями можуть виникати поперечні сили, величина яких перевищує 105-155 κH .

У **четвертому розділі** проведено дослідження напруженого стану залізобетонних шпал СБ 3-0 за допомогою методу скінчених елементів.

Як комп'ютерна реалізація методу скінчених елементів в роботі був використаний програмний комплекс для розрахунків і проектування конструкцій «ЛПРА».

Контактна задача взаємодії вирішена за допомогою СЕ 265. Цей скінчений елемент об'єднує в спільну роботу суміжні вузли по поверхні (рис. 6).

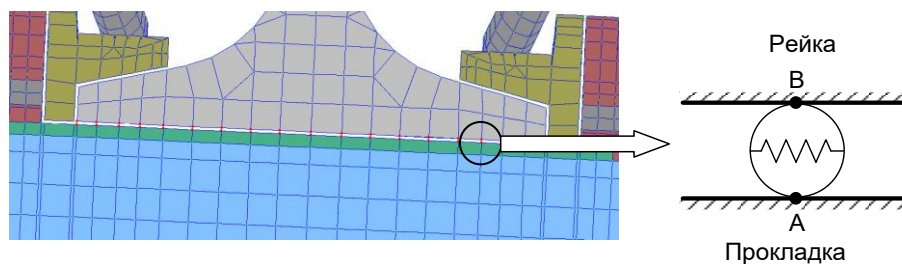


Рис. 6 – Моделювання контакту підшви рейки з підрейковою прокладкою

На підставі виконаних розрахунків (табл. 2) можна зробити висновки, що залізобетонні шпали типу СБ 3-0 можуть вкладатися в прямі та криві ділянки колії з радіусами 350 м та більше, по яким обертається рухомий склад з осьовим навантаженням до 300 κH . При осьових навантаженнях до 450 κH шпали СБ 3-0 рекомендується укладати тільки в прямі ділянки, швидкість руху на яких до 15 км/год .

Розрахункові значення напружень в шпалах СБ 3-0 (МПа)

План лінії	Швидкість руху, км/год.	Тип рухомого складу							
		Напіввагон модель 12-1000		Думпкар ВС-85		Чавуновоз 140 т		Візок И-120-5500	
		Напруження в шпалі, МПа							
		σ_{nc}	$\sigma_{сш}$	σ_{nc}	$\sigma_{сш}$	σ_{nc}	$\sigma_{сш}$	σ_{nc}	$\sigma_{сш}$
Пряма	5	-11.46	-6.61	-12.39	-4.71	-16.42	+1.45	-15.03	-0.43
	10	-11.61	-6.52	-12.53	-4.62	-16.69	+1.69	-15.24	-0.22
	15	-11.76	-6.40	-12.68	-4.44	-16.98	+1.93	-15.49	-0.02
	30	-11.91	-5.89	-12.99	-3.82	-17.59	+3.13	-15.99	+1.02
Крива R=350м	5	-11.60	-5.58	-12.87	-3.12	-17.35	+3.84	-15.80	+1.64
	10	-11.79	-5.35	-13.08	-2.27	-17.76	+4.44	-16.14	+2.16
	15	-11.97	-5.09	-13.28	-2.63	-18.15	+5.04	-16.46	+2.67
	30	-12.18	-4.36	-13.79	-1.64	-19.17	+6.71	-17.30	+4.11

Укладання шпал СБ 3-0 на ділянках колії, по яких обертається рухомий склад з осьовими навантаженнями більш ніж 450 кН не рекомендується.

Наявність в колії горизонтальних нерівностей викликає збільшення діючих еквівалентних напружень в 1,3-1,6 рази в залізобетонних шпалах, в порівнянні з ділянками колії з вертикальними нерівностями при однакових геометричних характеристиках цих нерівностей.

У **п'ятому розділі** для експериментальної перевірки результатів розрахунків напруженого стану залізобетонних шпал типу СБ 3-0 чисельними методами та методами кінцевих елементів проведено дослідження їх роботи в реальних експлуатаційних умовах колій незагального користування.

При проведенні експериментальних досліджень були визначені напруження, що виникають в елементах колії, а також просторові переміщення рейок та шпал при різних експлуатаційних умовах.

Напруження в рейках, шпалах і в силомірних елементах визначалися електротензометричним методом. Для виміру параметрів сигналів використовувався комплект приладів, що складається з попереднього підсилювача, вимірювального модуля й ноутбука.

Горизонтальні поперечні сили, що передаються від коліс рухомого складу на рейки, визначалися методом Шлупфа, що був удосконалений проф. Е.І. Даніленко. Для цього 8 тензодатчиків з базою 20 мм наклеювалися на шийку рейки із зовнішньої внутрішньої сторін колії в одному перерізі рейки (рис. 7, а) і з'єднувалися за схемою подвійного мосту (рис. 7, б).

Напруження по середині верхньої постелі шпали СБ 3-0 визначалися за допомогою тензодатчиків з базою 40 мм, які наклеювалися уздовж поздовжньої осі шпали.

Вертикальні сили, передані від рейки на шпалу визначалися за допомогою силомірних підкладок, які являли собою сталеві пластини 170×165 мм товщиною 4 мм, на нижню поверхню яких наклеювалися два тензодатчики.

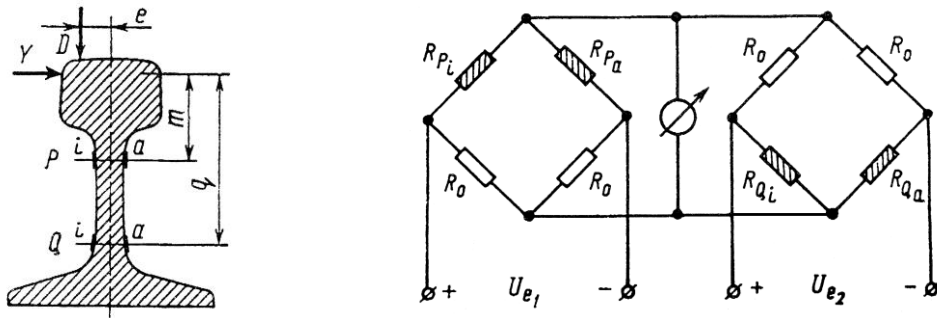


Рис. 7 – Визначення горизонтальних поперечних сил: а) наклеювання тензодатчиків на шийку рейці; б) схема з'єднання тензодатчиків

Горизонтальні поперечні сили, передані від рейки на залізобетонну шпалу визначалися за допомогою силомірного датчика, що встановлювався в профрезерований паз анкера шпала СБ 3-0.

Горизонтальні поздовжні сили визначалися силомірним датчиком, який був прикріплений гвинтами до п'ятки самозаклинного протиугону. Протиугін встановлювався по напрямку очікуваних переміщень рейок у шпальному ящику.

Для визначення переміщення елементів колії при проведенні експериментальних робіт була використана відеоцифрова система вимірювання переміщень. Головною особливістю даної системи є відсутність впливу коливань баласту і земляного полотна при проведенні вимірювань.

Результати експериментальних робіт дозволили уточнити значення жорсткостей рейкових опор при залізобетонних шпалах СБ 3-0. Було встановлено вплив експлуатаційних характеристик колії й термінів її експлуатації на пружні характеристики рейкових опор в умовах колій незагального використання.

Порівняння даних про силові параметри та напружений стан шпал СБ 3-0, які були отримані в результаті розрахунків з використанням розробленої математичної моделі і комплексу програм, з результатами експериментальних робіт показало, що розбіжність даних знаходиться в межах до 9,5 %.

У шостому розділі визначено сферу раціонального використання залізобетонних шпал типу СБ 3-0 на коліях незагального користування. Для чого на підставі результатів обстеження залізобетонних шпал типу Ш1-1 та застосування математичного апарату теорії надійності проведено прогнозну оцінку середнього терміну служби залізобетонних шпал СБ 3-0.

Безпосереднє визначення показників надійності, встановлення залежностей ймовірності безвідмовної роботи шпал СБ 3-0 в умовах колій незагального користування неможливо, оскільки потребує довгострокового та посиленого нагляду за роботою шпал в таких умовах, накопичення статистичних даних про вихід шпал у дефектні. Крім того, шпали СБ 3-0 використовуються тільки на магістральних коліях. Тому на основі даних обстеження стану 128 тисяч залізобетонних шпал типу Ш1-1, які були вилучені з колій незагального користування при виконанні ремонтних робіт, встановлені залежності виходу в непридатні та характерні дефекти залізобетонних шпал залежно від експлуатаційних умов – осьове

навантаження, річних перевезень, радіусів кривих.

Середній термін служби залізобетонних шпал типу СБ 3-0 (табл. 3) було визначено з застосуванням отриманих залежностей виходу залізобетонних шпал типу ШІ-1 за рахунок включення в розрахункові рівняння поправочних коефіцієнтів, які враховують різницю напруженого стану.

Таблиця 3

Розрахунок середнього терміну служби залізобетонних шпал типу СБ 3-0

Категорія колії	Осьові навантаження (т/вісь)	Вантажонапруженість (млн. т бр./рік)	Середній термін служби T (років)	Термін служби до капітального ремонту T_0 (років)	$\frac{T}{T_0}$
ВНК	>35	–	15,3	7	2,19
	25-35	<10	40,2	12	3,35
		10-15	31,8	10	3,18
	>15	19,3	7	2,75	
<25	10-15	51,8	15	3,45	
	>15	39,6	12	3,30	
I	>25	–	42,6	12	3,28
	<25	5-10	71,0	20	3,55
		>10	62,6	18	3,48
II	<25	–	110,4	30	3,68
		5	86,6	24	3,61

Аналізуючи напружений стан залізобетонних шпал типу СБ 3-0 в різних експлуатаційних умовах колій незагального користування та порівнюючи діючі напруження, що допускаються за умовами міцності та тріщиностійкості, а також на підставі отриманих значень середнього терміну служби, запропоновані наступні сфери їх застосування (табл. 4).

Таблиця 4

Сфери застосування залізобетонних шпал СБ 3-0, що рекомендуються на коліях незагального користування

Категорія колії	Осьове навантаження	Річний об'єм перевезень, млн.т/рік		
		10–15	5–10	< 5
		Швидкість руху, що допускається, км/год		
ВНК	250–350	≤ 5	≤ 10	≤ 15
	< 250	≤ 15	≤ 20	≤ 25
I	> 250	< 5	< 10	≤ 15
	< 250	≤ 15	≤ 20	≤ 25
II	< 250	≤ 20	≤ 30	≤ 40

Із урахуванням існуючих обмежень на укладання залізобетонних шпал, у тому числі СБ 3-0, в кривих радіусом менше 350 м, можливий полігон застосування цих шпал може скласти від 40 до 80 % протяжності колій незагального користування для умов різних промислових підприємств.

ВИСНОВКИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ

У дисертації сформульовано і вирішено важливу науково-технічну проблему прогнозування ресурсів роботи перспективних та ефективних шпал типу СБ 3-0 в коліях незагального користування. На підставі проведених досліджень зроблені такі висновки:

1. На підставі аналізу норм проектування та фактичного стану колій незагального використання встановлено, що найбільш вживаною конструкцією рейкових опор, з урахуванням високої вартості та малих строків служби дерев'яних шпал, є шпали типу ШІ-1 зі скріпленням КБ, які вкладаються на ділянках всіх категорій з осьовими навантаженнями до 450 кН, а в окремих випадках і більше. Така конструкція має суттєві недоліки – високу металоємність, значну кількість різьбових сполучень та інші. Реальною альтернативою такої конструкції опор є сучасні та перспективні шпали типу СБ 3-0 зі скріпленням КПП-5.

2. Створені наукові підходи до вирішення проблеми прогнозування ресурсу роботи шпал СБ 3-0 в умовах колій незагального користування.

3. Отримала подальший розвиток концепція багатопарової підрейкової основи для визначення просторових жорсткостей рейкових опор при шпалах СБ 3-0 з урахуванням умов і термінів їх експлуатації, рівня діючих навантажень.

4. На відміну від проведених раніше досліджень встановлено, що в умовах колій незагального користування, залежно від рівня навантаження, має місце зростання просторових жорсткостей рейкових опор (вертикальної, горизонтальної поздовжньої та при крученні рейки) до 54 %. Додатково в процесі експлуатації колії відбувається збільшення цих параметрів до 35 %.

5. Для умов колій незагального користування виконані чисельними методами дослідження дії на колію спеціального та спеціалізованого рухомого складу при застосуванні шпал СБ 3-0 зі скріпленнями КПП-5. Використання просторової схеми динамічної системи «екіпаж-рейкова колія» при дискретній рейковій основі з нелінійними характеристиками дозволило враховувати додаткові динамічні сили, які викликані саме цими чинниками. Встановлено, що при шпалах СБ 3-0 зі скріпленням КПП-5 вплив дискретності спирання рейки на опори становить 15-17 % від рівня просторових динамічних сил.

6. Для визначення об'ємного напруженого стану шпал СБ 3-0 в умовах колій незагального користування розроблені функціональні моделі цих шпал, елементів скріплень КПП-5 та баласту на основі використання методу кінцевих елементів. Розроблені моделі дозволять, на відміну від методів найбільш вживаних в практиці інженерних розрахунків, визначити об'ємний

напружений стан шпал під дією просторових сил, визначити місця концентрації напружень, умови та особливості взаємного контактування вказаних елементів.

7. Експериментальні роботи, які виконані на ділянках колій незагального користування, показали хорошу збіжність даних теоретичних розрахунків та експериментів. Розбіжність знаходиться, як правило, в межах 5,4-9,5 %.

8. Застосування методів теорії надійності дозволило зробити прогнозну оцінку ресурсів роботи шпал СБ 3-0 в коліях незагального користування та запропонувати сфери їх раціонального використання в таких умовах.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАНИХ РОБІТ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Основні праці:

1. Даренський О.М. Експериментальне визначення пружних характеристик прокладок проміжних скріплень КБ [Текст] / О.М. Даренський, В.Г. Вітольберг // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – 2007. – № 87. – С. 172-178.
2. Даренський О.М. Експериментальне визначення пружних характеристик елементів проміжного скріплення КПП -5 [Текст] / О.М. Даренський, В.Г. Вітольберг // ДонНИИЖТ Збірник наукових праць. – 2008. – № 13. – С. 139-143.
3. Даренський О.М. Визначення сил опіру поперечному переміщенню залізобетонних шпал у баласті [Текст] / О.М. Даренський, В.Г. Вітольберг, А.М. Штомпель, Н.В. Бугаєць // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – 2008. – № 91. – С. 89-96.
4. Даренський О.М. Сопротивление промежуточных скреплений КБ и КПП-5 перемещениям рельсов в продольной плоскости [Текст] / О.М. Даренський, В.Г. Вітольберг // ДонНИИЖТ Збірник наукових праць. – 2008. – № 14. – С. 142-152.
5. Даренський О.М. Экспериментальное определение сопротивлений скреплений КБ и КПП – 5 перемещениям рельсов в продольной плоскости [Текст] / О.М. Даренський, В.Г. Вітольберг // ДонНИИЖТ Збірник наукових праць. – 2008.– № 15. – С. 112-124.
6. Даренський О.М. Метод оценки надежности противоугонных систем [Текст] / О.М. Даренський, В.Г. Вітольберг // Державний економіко – технологічний університет транспорту. – 2009.– № 14. – С. 35-40.
7. Даренський О.М. Результаты экспериментальных работ по определению сил сопротивления железобетонных шпал продольным перемещениям [Текст] / О.М. Даренський, В.Г. Вітольберг, Н.В. Бугаєць // ДонНИИЖТ Збірник наукових праць. – 2009.– № 17. – С. 157-171.
8. Даренський О.М. Видеоцифровая система элементов измерения перемещений железнодорожного пути [Текст] / О.М. Даренський, Н.В. Бугаєць, В.Г. Вітольберг // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – 2009.– № 109. – С. 222-231.
9. Даренський О.М. Визначення приведеної вертикальної жорсткості рейкової нитки при використанні розрахункової схеми як балки на пружних опорах з випадковими характеристиками [Текст] /

- О.М. Даренський, Н.В. Бугаєць, В.Г. Вітольберг // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – 2010. – № 115. – С. 151-162.
10. Вітольберг В.Г. Особливості опору залізобетонних шпал СБ 3-0 поздовжнім зсувам на коліях промислових залізниць [Текст] / В.Г. Вітольберг // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – 2012. – №4 (175). – С.53-58.
11. Darenkiy A., Vitolberg V. Results of researches by the numeral methods of vertical influences on the way of carriages of industrial transport at the railroad ties SB 3-0 // ТЕКА – 2013. – Vol.12. – №4. – Р. 36-40.
- Додаткові праці:**
12. Система для вимірювання переміщень в елементі інженерних конструкцій і споруд під дією навантажень [Текст] / пат. №70477 Україна: МПК G05D 5/00, E01B 35/00 / Даренський О.М., Астахов В.М., Бугаєць Н.В., Вітольберг В.Г., Беліков Е.А.; Власник Українська державна академія залізничного транспорту. № у 201114788; заяв. 13.12.2011; публ. 11.06.12, Бюл.№11. – 5 с.
13. Пристрій для вимірювання переміщень елементів інженерних конструкцій або споруд під дією навантажень [Текст] пат. №74779 Україна: МПК G01D 5/00, E01B 35/00 / Даренський О.М., Астахов В.М., Клименко А.В., Беліков Е.А., Вітольберг В.Г., Бугаєць Н.В.; Власник Українська державна академія залізничного транспорту. № у 201205038; заяв. 23.04.2012; публ. 12.11.12, Бюл.№21. – 3 с.
14. Даренський О.М. Розрахунок рейки як балки на пружних опорах під дією рухомого навантаження [Текст] / О.М. Даренський, Н.В. Бугаєць, В.Г. Вітольберг // ДІТ, тези доповідей. – 2010. – № .14. – С.171.
15. Вказівки щодо встановлення гарантійного терміну експлуатації колії та споруд після виконання робіт з модернізації колії [Текст] / В.П. Шраменко, О.І. Белорусов, В.Г. Вітольберг, В.О. Яковлев. К.: Мануфактура, 2009. – 80 с.

АНОТАЦІЯ

Вітольберг В.Г. Прогнозування ресурсу роботи залізобетонних шпал типу СБ 3-0 в умовах залізничних колій незагального користування. – Рукопис.

Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.06 – Залізнична колія. – Державний економіко-технологічний університет транспорту, Київ, 2013.

Дисертація присвячена прогнозуванню роботи залізобетонних шпал типу СБ 3-0 з проміжним рейковим скріпленням типу КПП-5 в умовах колій незагального користування.

В основу розрахунків було покладено концепцію дискретної підрейкової основи з нелінійними пружно-дисипативними характеристиками. Розглянуто формування просторових жорсткостей рейкових опор і вузла проміжного рейкового скріплення типу КПП-5, а також зміна цих значень у процесі експлуатації.

Для чисельних досліджень впливу на колію спеціального та спеціалізованого рухомого складу транспорту незагального користування було розроблено математичну модель динамічної системи «екіпаж-колія».

Виконані багатоваріантні розрахунки дозволили встановити рівень вертикальних і горизонтальних поперечних сил для різних експлуатаційних умов. Отримані значення були використані для оцінки напруженого стану шпал СБ 3-0 за допомогою методу скінчених елементів.

На підставі проведених досліджень, із застосуванням методів теорії надійності, визначені розрахункові значення середнього терміну служби залізобетонних шпал типу СБ 3-0, а також сфери їх застосування на коліях незагального користування.

Ключові слова: залізнична колія незагального користування, залізобетонна шпала, просторова жорсткість, метод скінчених елементів, напруження.

АННОТАЦІЯ

Витольберг В.Г. – Прогнозирование ресурса работы железобетонных шпал типа СБ 3-0 в условиях железнодорожных путей необщего пользования. – Рукопись.

Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.22.06 – Железнодорожный путь; Государственный экономико-технологический университет транспорта; Киев, 2013.

Диссертация посвящена прогнозированию работы железобетонных шпал типа СБ 3–0 с промежуточным рельсовым скреплением типа КПП-5 в условиях путей необщего пользования.

Характеристики плана и профиля пути, наличие больших осевых нагрузок, колесные схемы экипажей подвижного состава, опасность разлива жидкого металла, шлаков, падение тяжелых грузов, переувлажненное состояние балластного слоя – являются безусловными эксплуатационными особенностями путей необщего пользования, которые необходимо учитывать при прогнозировании работы железобетонных шпал.

Проведенный анализ теорий расчета напряженного состояния железнодорожного пути позволил установить, что основной расчетной схемой для магистральных железных дорог является схема, в которой путь рассматривается как балка на сплошном упругом основании. Однако такая расчетная схема не учитывает специфику работы всей конструкции железнодорожного пути (в частности подрельсовых опор), а также его техническое состояние для железнодорожных путей необщего пользования. Таким образом, в основу расчетов была положена концепция дискретного подрельсового основания с нелинейными упруго-диссипативными характеристиками.

Для этого в работе рассмотрено формирование пространственных жесткостей рельсовых опор и узла промежуточного рельсового скрепления типа КПП-5, а также изменение этих значений в процессе эксплуатации.

Для численных исследований воздействия на путь специального и

специализированного подвижного состава транспорта необщего пользования была разработана математическая модель динамической системы «экипаж-путь». В основу математической модели положена пространственная расчетная схема четырехосного экипажа,двигающегося по железнодорожному пути, который представляет собой балки-рельсы, опирающиеся на упруго-диссипативные опоры-шпалы с нелинейными характеристиками. Скорость движения экипажа была постоянной, при этом количество линейных и угловых перемещений составляла 17. Для этой расчетной схемы составлены дифференциальные уравнения колебаний по принципу Д'Аламбера.

Выполненные многовариантные расчеты позволили установить уровень вертикальных и горизонтальных поперечных сил для разных эксплуатационных условий. Полученные значения были использованы для оценки напряженного состояния шпал СБ 3-0 с использованием метода конечных элементов.

На основании проведенных исследований, с применением методов теории надежности, определены расчетные значения среднего срока службы железобетонных шпал типа СБ 3-0, а также сферы их применения.

Ключевые слова: железнодорожный путь необщего пользования, железобетонная шпала, пространственная жесткость, метод конечных элементов, напряжения.

THE SUMMARY

Vitolberg V.G. – Prediction of the service life of concrete sleepers type SB 3-0 in a non-public railway. – Manuscript.

The thesis for the scientific degree of a candidate of technical sciences in specialty 05.22.06 – The railway track; State Economy and Technology University of Transport; Kyiv, 2013.

Dissertation is devoted to predict of concrete sleepers work type SB 3-0 with intermediate rail fastening type KPP-5 in terms of uncommon use way.

The basis of the calculation was laid concept of a discrete rail base with nonlinear elastic-dissipative characteristics. Examined formation of the spatial stiffness support rail and of assembly of intermediate rail fastening type KPP-5, and modify of these values during operation. For numerical studies of the impact on the way of special and specialized rolling stock uncommon use transport has been developed a mathematical model of a dynamic system, "the crew-way".

Fulfilled multivariate calculations allowed to establish the level of vertical and horizontal transverse forces for different operating conditions. The obtained values were used to evaluate the stress state of sleepers SB 3-0 with using the finite element method. Based of the investigations conducted, with application of methods of reliability theory, determined the estimated value of the average service life of concrete sleepers type SB 3-0 and their scope.

Keywords: railway track nonpublic, concrete sleepers, finite element method, spatial rigidity, stresses.

Вітольберг Володимир Геннадійович

ПРОГНОЗУВАННЯ РОБОТИ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ШПАЛ
ТИПУ СБ 3-0 В УМОВАХ ЗАЛІЗНИЧНИХ КОЛІЙ
НЕЗАГАЛЬНОГО КОРИСТУВАННЯ

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступня
кандидата технічних наук

Надруковано згідно з оригіналом автора

Підписано до друку _____ 2013р.
Формат 60x48 1/16. Папір для розмножувальних апаратів.
Друк офсетний. Умовн.-друк. арк. 0,9. Обл.-видав. арк. 1,0.
Замовлення № _____. Тираж 100.

Видавництво УкрДАЗТу, свідоцтво ДК №2874 від 12.06.2007 р.
Друкарня УкрДАЗТу,
61050, Харків–50, пл. Фейєрбаха, 7