

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

**БЄЛІКОВ ЕДУАРД АНАТОЛІЙОВИЧ**



УДК 625.143.51

**ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ ПРОМІЖНИХ СКРІПЛЕНЬ  
ТИПІВ ТРЕП ТА ТРЕП-Ш В УМОВАХ КОЛІЙ  
НЕЗАГАЛЬНОГО КОРИСТУВАННЯ**

05.22.06 – залізнична колія

**Автореферат**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Харків - 2019

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Українському державному університеті залізничного транспорту Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: - доктор технічних наук, професор  
Даренський Олександр Миколайович,  
Український державний університет  
залізничного транспорту, завідувач кафедри  
колії та колійного господарства.

Офіційні опоненти: - доктор фізико-математичних наук, професор  
Вербицький Володимир Григорович,  
Запорізька державна інженерна академія,  
завідувач кафедри «Програмне  
забезпечення автоматизованих систем»;

- кандидат технічних наук, доцент  
Баль Олена Миронівна,  
Львівська філія Дніпропетровського  
національного університету залізничного  
транспорту імені академіка В. Лазаряна,  
завідувач кафедри «Рухомий склад і колія».

Захист відбудеться «21» лютого 2019 року о 12-30 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.820.02 Українського державного університету залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейербаха, 7.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Українського державного університету залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейербаха, 7 та на офіційному сайті <http://kart.edu.ua>.

Автореферат розісланий «11» січня 2019 р.

Учений секретар  
спеціалізованої вченої ради,  
кандидат технічних наук, доцент



О.В. Лобяк

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Колії незагального користування є складовою частиною транспортної системи України. Вантажонапруженість колій незагального користування може сягати до 40 млн т брутто/км за рік. Осьові навантаження для деяких типів спеціального та спеціалізованого рухомого складу, який є складовою технологічних процесів виробничих підприємств, можуть перевищувати 450 кН. Протяжність кривих ділянок колій незагального користування у тому числі з радіусами до 350 м складає 60 % від загальної протяжності колій, яка, в свою чергу, становить близько 20 000 км.

Окрім зазначених експлуатаційних особливостей колій незагального користування, має місце інтенсивне накопичування залишкових деформації підрейкової основи, внаслідок високих осьових навантажень та конструкційних особливостей спеціального та спеціалізованого рухомого складу. Особливості плану та профілю колій незагального користування також істотно впливають на рівень горизонтальних поперечних сил. Висока забрудненість баластного матеріалу, використання залізобетонних шпал призводять до збільшення параметрів жорсткості елементів колії в вертикальній та горизонтальній площині та до значного зростання додаткових динамічних сил.

Основною конструкцією верхньої будови колій незагального користування є ланкова колія на залізобетонних шпалах з проміжним рейковим скріпленням типу КБ. Цей тип скріплення має суттєві недоліки: наявність чотирьох різьбових з'єднань у кожному вузлі, значну металоємність, неможливість зміни ширини колії, неспроможність, за своїми конструктивними особливостями, стабільно сприймати горизонтальні поперечні сили.

У зв'язку з вищезазначеним на даний час є актуальним питання дослідження можливості використання інших типів проміжних рейкових скріплень, які б в більшій мірі відповідали особливим умовам експлуатації.

Отже, дисертаційну роботу присвячено розв'язанню актуальної науково-технічної задачі визначення можливості використання проміжних рейкових скріплень типів ТРЕП та ТРЕП-Ш в умовах залізниць незагального користування з урахуванням сил взаємодії від спеціального та спеціалізованого рухомого складу.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконана в рамках тематики кафедри колії та колійного господарства Українського державного університету залізничного транспорту за 2006 – 2017 рр.: «Розробка теорії та методів оптимізації несучих конструкцій транспортних споруд» № ДР 0110U002127.

**Мета дослідження** – експериментально-теоретично дослідити напружено-деформований стан підрейкової основи з проміжними рейковими скріпленнями типів ТРЕП та ТРЕП-Ш з урахуванням сил взаємодії спеціального та спеціалізованого рухомого складу та колії в умовах залізниць незагального користування та надати рекомендації щодо їх використання в цих експлуатаційних умовах.

**Об'єкт дослідження** – робота підрейкової основи з проміжними рейковими скріпленнями типів ТРЕП та ТРЕП-Ш в умовах колій незагального користування.

**Предмет дослідження** – напружено-деформований стан підрейкової основи з проміжними рейковими скріпленнями з урахуванням сил взаємодії спеціального та спеціалізованого рухомого складу та залізничної колії в умовах залізниць незагального користування.

**Задачі дослідження:**

- розробити математичні моделі для визначення просторових жорсткостей елементів проміжних рейкових скріплень типів ТРЕП та ТРЕП-Ш;

- виконати експериментальні дослідження жорсткості пружних елементів проміжних рейкових скріплень типів ТРЕП та ТРЕП-Ш та порівняти отримані результати з даними жорсткостей елементів проміжного рейкового скріплення типу КБ для однакових умов експлуатації в коліях незагального користування;

- врахувати додаткові динамічні сили, викликані нерівнопружністю підрейкової основи, в математичній моделі просторової динамічної системи «екіпаж-колія» при застосуванні проміжних рейкових скріплень типів ТРЕП та ТРЕП-Ш;

- виконати числові дослідження просторових сил взаємодії спеціального та спеціалізованого рухомого складу та колії при застосуванні проміжних рейкових скріплень типів ТРЕП та ТРЕП-Ш для умов залізниць незагального користування;

- розробити рекомендації щодо використання проміжних рейкових скріплень типів ТРЕП та ТРЕП-Ш в умовах колій незагального користування.

**Методи дослідження** – загальноприйняті методи розрахунків залізничної колії в умовах магістральних залізниць та колій незагального користування; метод скінченних елементів для оцінки напружено-деформованого стану підрейкової основи; методи математичної статистики для порівняння та аналізу результатів дослідження.

**Наукова новизна одержаних результатів полягає у наступному:**

*Вперше визначено (досліджено):*

- просторові жорсткості та вплив рівня навантажень на рейкові опори при застосуванні проміжних скріплень типів ТРЕП та ТРЕП-Ш і залізобетонних шпал під час експлуатації колій незагального користування;

- рівень вертикальних і горизонтальних поперечних сил, які діють на рейкові опори при застосуванні проміжних рейкових скріплень типів ТРЕП та ТРЕП-Ш, від спеціального та спеціалізованого рухомого складу залізниць незагального користування з урахуванням швидкостей руху, радіусів кривих, наявності вертикальних і горизонтальних поперечних нерівностей колії;

- напружено-деформований стан підрейкової основи з проміжними рейковими скріпленнями типів ТРЕП та ТРЕП-Ш і залізобетонних шпал в умовах залізниць незагального користування.

Удосконалено комплекс математичних моделей просторової динамічної системи «екіпаж–колія», що враховує напружено-деформований стан підрейкової основи з проміжними рейковими скріпленнями типів ТРЕП та ТРЕП-Ш.

**Достовірність положень і висновків дисертації** забезпечена співставленням результатів розрахунків та даних, отриманих із власних експериментів та інших досліджень, що відображені у відкритих публікаціях. При моделюванні роботи підрейкової основи з урахуванням її дискретності застосовувалися загальноприйняті теорії і припущення опору матеріалів та будівельної механіки; при оцінці напружено-деформованого стану підрейкової основи для умов залізниць незагального користування – метод скінченних елементів.

**Практичне значення одержаних результатів.** Розроблено практичні рекомендації щодо використання проміжних рейкових скріплень типів ТРЕП та ТРЕП-Ш в умовах колій незагального користування. Практичне впровадження результатів дисертаційної роботи підтверджується відповідними актами, які надано в додатках до дисертації.

**Особистий внесок здобувача.** Огляд та аналіз літератури за тематикою дослідження; підготовка експериментальних зразків та проведення експериментальних досліджень елементів проміжних рейкових скріплень типів ТРЕП та ТРЕП-Ш при статичному та динамічному навантаженнях; удосконалення комплексу математичних моделей просторової динамічної системи «екіпаж–колія»; розробка рекомендацій щодо використання проміжних рейкових скріплень типів ТРЕП та ТРЕП-Ш в умовах колій незагального користування. Особистий внесок автора у спільні публікації відображений у переліку опублікованих робіт.

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати дисертації доповідалися і обговорювалися на науково-технічних конференціях: 77-ій міжнародній науково-технічній конференції «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті» (м. Харків, 21–23 квітня 2015 року); 6-ій міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті» (м. Харків, 19–21 квітня 2017 року).

**Публікації.** За результатами дисертаційної роботи опубліковано 9 наукових праць, з них 5 статей у фахових виданнях, рекомендованих МОН України, в тому числі 5 – у виданнях, що входять до міжнародної наукометричної бази, 2 публікації апробаційного характеру, 2 патенти на корисну модель.

**Структура і обсяг роботи.** Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та додатків. Дисертація викладена на 234 сторінках і містить 128 сторінок основного тексту, 52 рисунки та 21 таблицю на 36 сторінках, список використаних джерел із 222 найменувань на 21 сторінці, 10 додатків на 49 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

У вступі обґрунтовується актуальність розглянутої теми, дана загальна характеристика дисертації, основні положення, наукова новизна, практична цінність.

У першому розділі наведено:

- аналіз технічних та експлуатаційних характеристик колій незагального користування України, встановлено наявність значної кількості кривих малих радіусів та ділянок зі значними ухилами;
- особливості спеціального та спеціалізованого рухомого складу: високі осьові навантаження до 560 кН/вісь, підвищена жорсткість ресорних комплектів;
- порівняння сучасних конструкцій проміжних рейкових скріплень, які проходять дослідно-експериментальні випробування на магістральних залізницях. Зроблено висновок, що перспективними, для умов залізниць незагального користування, є проміжні рейкові скріплення типів ТРЕП та ТРЕП-Ш (рис.1).



а)



б)

Рис. 1. Проміжні рейкові скріплення типів ТРЕП (а) та ТРЕП-Ш (б)

- теоретичні моделі для визначення сил взаємодії рухомого складу та залізничної колії. Встановлено, що в більшості цих моделей використано розрахункову схему колії у вигляді балок, що спираються на суцільну пружну основу.

Значний внесок в розвиток теорій зроблено професорами О.П. Єршковим, Є.М. Бромбергом, Г.М. Шахунянцом, М.Ф. Веріго, В.А. Лазаряном, С.В. Амелінім, М.П. Смирновим, М.А. Фрішманом, В.Ф. Яковлевим, С.П. Першиним, В.І. Ангелейком, О.Я. Коганом, Е.І. Даніленком. Однак, ряд вчених (професор В.Ф. Яковлев, професор К.Д. Белих) зазначають, що для умов залізниць незагального користування, розрахункова схема колії, як балки на суцільній пружній основі, надмірно ідеалізує колію, її технічний стан та дає занижені результати. Тому зроблено висновок, що для визначення особливостей роботи проміжних рейкових скріплень типів ТРЕП та ТРЕП-Ш в умовах залізниць незагального користування, доцільно використовувати комплекс математичних моделей просторової динамічної системи «екіпаж-колія», основи якої були розроблені професором О.М. Даренським. Але в цей комплекс необхідно ввести корегування, які дозволять враховувати роботу проміжних рейкових скріплень типів ТРЕП та ТРЕП-Ш.

У другому розділі встановлено вплив проміжних рейкових скріплень типів ТРЕП та ТРЕП-Ш на параметри формування просторової жорсткості рейкових опор, та прогнозу оцінку змін цього параметру під час експлуатації колії. Просторові жорсткості рейкових опор з проміжними рейковими скріпленнями типів ТРЕП та ТРЕП-Ш представлені, як системи з послідовно і паралельно сполучених жорсткостей пружних елементів, які входять до складу вузла скріплення: нашпальних і підрейкових прокладок; пружних клем; жорсткостей системи «шпали-баласт». В основу цих моделей було покладено концепцію багатопарової підрейкової основи, провідні положення якої були розроблені професором Е.І. Даніленком.

Експериментальними дослідженнями, які були проведені в лабораторних умовах, встановлено жорсткості пружних елементів проміжних рейкових скріплень типів ТРЕП та ТРЕП-Ш при їх навантаженні вертикальними і горизонтальними поперечними силами. Випробуваннями пружних елементів, які експлуатувалися в колії протягом 8 років на дослідних ділянках Південно-Західної залізниці, встановлено зміни жорсткостей під час експлуатації. Визначено просторові жорсткості проміжних рейкових скріплень типів ТРЕП та ТРЕП-Ш при вертикальному і горизонтальному поперечному навантаженні та крученні рейки та спрогнозовані зміни цих параметрів під час експлуатації (табл. 1, 2).

Таблиця 1

Жорсткості прокладок проміжних рейкових скріплень типів ТРЕП та ТРЕП-Ш при стисканні і залежності їх зміни від термінів експлуатації

Тип скріплення	Призначення прокладки	Статична жорсткість і її середньоквадратичне відхилення 0–50 мм (кН/м)	Динамічна жорсткість та її середньоквадратичні відхилення, (кН/м)					Емпірична залежність $u_{пр}^{дин}(t) = f(t)$ , (кН / м)
			Діапазони навантажень, кН, (частота коливань, Гц)					
			20–35 (5,5)	30–57,5 (5,5)	45–87,5 (5,5)	55–105 (5,5)	55–105 (11,0)	
	$u_{ст}$	$u_{дин}$	$u_{дин}$	$u_{дин}$	$u_{дин}$	$u_{дин}$		
ТРЕП, ТРЕП-Ш	ППТ	$12,33 \cdot 10^3$	$20,6 \cdot 10^3$	$63,9 \cdot 10^3$	$102,4 \cdot 10^3$	$148,8 \cdot 10^3$	$164,3 \cdot 10^3$	$u_{пр}^{дин}(t) = u_{пр}^{дин} + 0,08 \cdot 10^4 t$
ТРЕП-Ш	ПНТ	$7,97 \cdot 10^3$	$15,2 \cdot 10^3$	$35,3 \cdot 10^3$	$81,7 \cdot 10^3$	$96,2 \cdot 10^3$	$106,4 \cdot 10^3$	$u_{пр}^{дин}(t) = u_{пр}^{дин} + 0,51 \cdot 10^4 t$

Залежності змін жорсткостей прокладок при зсуві від величини їх стискання  $\Delta h$ , (см) та термінів служби в колії (років)

Тип скріплення	Тип прокладки	Емпірична залежність $u_{\text{пр}}^{\text{дин}}(t) = f(t)$ , (кН/м)	Емпірична залежність $U_{\text{пр}}^{\Gamma}(t) = f(t)$ , (кН/м)
ТРЕП, ТРЕП-Ш	ППТ	$u_{\text{пр}}^{\text{дин}}(t) = u_{\text{пр}}^{\text{дин}} + 0,08 \cdot 10^4 t$	$U_{\text{пр}}^{\Gamma}(t) = U_{\text{пр}}^{\Gamma} + 0,11 \cdot 10^4 t$
ТРЕП-Ш	ПНТ	$u_{\text{пр}}^{\text{дин}}(t) = u_{\text{пр}}^{\text{дин}} + 0,51 \cdot 10^4 t$	$U_{\text{пр}}^{\Gamma}(t) = U_{\text{пр}}^{\Gamma} + 0,31 \cdot 10^4 t$

Діапазони динамічних навантажень при випробуваннях прокладок були прийняті відповідно до вертикальних навантажень, які виникають при русі екіпажів з осьовими навантаженнями до 211 кН, до 265 кН, до 343 кН, до 460 кН/вісь. Встановлено, що динамічна жорсткість прокладок зростає в 7-7,4 рази зі збільшенням інтервалів навантажень.

Випробуваннями прокладок, що експлуатувалися в колії після 8 років, встановлено, що жорсткість прокладок зростає в середньому на 19-20 %.

Для визначення жорсткості пружних клем КПТ проміжних рейкових скріплень типів ТРЕП та ТРЕП-Ш проведені випробування із застосуванням обладнання, яке досить точно, повторює роботу клем у колії (рис.2).



Рис. 2. Обладнання для випробування клем КПТ

Середнє значення жорсткості клем при вертикальних деформаціях становить 970 кН/м, при середньому квадратичному відхиленні  $0,02 \cdot 10^4$  кН/м.

Складові просторових жорсткостей системи «шпали-баласт» були визначені на основі експериментальних досліджень, виконаних кафедрою «Колія та колійне господарство» УкрДУЗТ в 2008–2009 роках на коліях металургійних і гірничо-видобувних підприємств України.

На підставі даних експериментів були одержані емпіричні коефіцієнти жорсткості пружної основи залізобетонних шпал з урахуванням вантажонапруженості та діапазонів навантажень.

$$C_{\sigma} = K_k \cdot K_{oc} (16,4 \cdot 10^4 + 0,305 \cdot 10^4 T^{0,724}) \text{ (кН/м}^3\text{)}, \quad (1)$$

де  $K_k$  – коефіцієнт, який враховує конструкцію колії; для звичайної баластної призми  $K_k=1$ , для заглибленої або напівзаглибленої  $K_k=0,93$ ;



$K_{oc}$  – коефіцієнт, який враховує рівень осьових навантажень на ділянці; при осьових навантаженнях до 265 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).

Проведені експериментальні роботи в лабораторних та в реальних умовах експлуатації, дозволили визначити просторові жорсткості проміжних рейкових скріплень типів ТРЕП та ТРЕП-Ш і жорсткості рейкових опор при застосуванні цих скріплень (табл. 3).

Таблиця 3

Просторові жорсткості проміжних рейкових скріплень типів  
ТРЕП та ТРЕП-Ш і жорсткості рейкових опор

Діапазон навантажень, кН	ТРЕП						ТРЕП-Ш					
	Скріплення			Рейкової опори			Скріплення			Рейкової опори		
	$C_{zск}$ , кН/м	$C_{yск}$ , кН/м	$C_{фск}$ , Н м/рад	$C_z$ , кН/м	$C_y$ , кН/м	$C_\phi$ , кН м/рад	$C_{zск}$ , кН/м	$C_{yск}$ , кН/м	$C_{фск}$ , Н м/рад	$C_z$ , кН/м	$C_y$ , кН/м	$C_\phi$ , кН м/рад
20-35	42800	5920	30,52	2229	4879,5	30,5156	38700	4925	22,521	16920	4183	22,521
30-57,5	66100	5920	91,41	3287	4987,2	91,4063	48750	4925	46,7084	26270	4262	46,708
45-87,5	104600	5920	145,5	4059	5140,5	145,547	91950	4925	102,352	36370	4373	102,35
55-105	151000	5920	210,8	4158	5178,6	210,797	99200	4925	119,731	37324	4401	119,73

Примітки:  $C_{zск}$  – вертикальна жорсткість скріплення,  $C_z$  – вертикальна жорсткість рейкової опори;  $C_{yск}$  – горизонтальна поперечна жорсткість скріплення,  $C_y$  – горизонтальна поперечна жорсткість рейкової опори;  $C_{фск}$  – жорсткість скріплення при крученні рейки від дії горизонтальної поперечної сили,  $C_\phi$  – жорсткість рейкової опори від дії горизонтальної поперечної сили.

До числа головних задач, які вирішувались під час дослідження роботи шпал під дією динамічних горизонтальних поперечних сил, були віднесені такі:

- визначення горизонтальних поперечних пружних характеристик шпал;
- визначення робочих діапазонів застосовності розрахункових значень горизонтальної поперечної жорсткості шпал;
- вивчення впливу вертикального навантаження на горизонтальну поперечну жорсткість шпал;
- дослідження змін горизонтальної поперечної жорсткості шпал у процесі експлуатації колії та встановлення чинників, що впливають на ці зміни.

У третьому розділі чисельними методами виконано дослідження сил, що діють на залізничну колію, під час руху спеціального і спеціалізованого рухомого складу при застосуванні проміжних рейкових скріплень типів ТРЕП та ТРЕП-Ш. Для порівняння отриманих результатів також виконано розрахунки сил дії на колію при застосуванні проміжних рейкових скріплень типу КБ в однакових умовах експлуатації.

При розрахунках сил взаємодії спеціального та спеціалізованого рухомого складу та колії в умовах залізниць незагального користування було використано математичну модель просторової динамічної системи «екіпаж-колія», в основу якої покладено концепцію дискретної підрейкової основи з нелінійними дисипативними пружними характеристиками рейкових опор при застосуванні проміжних рейкових скріплень типів ТРЕП та ТРЕП-Ш. Такий підхід дозволив враховувати додаткові динамічні сили, що викликані нерівножорсткістю підрейкової основи, відмінністю пружних і дисипативних характеристик опор та їх нелінійністю. Для умов залізниць незагального користування величини таких додаткових сил можуть перевищувати рівень статичних колісних навантажень на 15 %.

У розрахункову модель було введено рівняння просторової жорсткості рейкових опор з проміжними рейковими скріпленнями типів ТРЕП та ТРЕП-Ш при вертикальних та горизонтальних згинах і крученні рейки. Таким чином, основна система диференціальних рівнянь просторової динамічної системи «екіпаж-колія» розв'язувалася в нелінійній постановці.

В моделі враховані пружно-дисипативні сили, які виникають у точці контакту колеса і рейки, додаткові динамічні сили, що викликані дисбалансом колеса, нерівномірністю зносу поверхні кочення, наявністю повзунів. Модель враховує ширину колісної пари, ширину колії, нахил рейок, конічність поверхні кочення коліс та наявність вертикальних і горизонтальних нерівностей колії. Запропонована модель реалізована в сучасній системі математичного проектування Mathcad.

Для визначення особливостей взаємодії рухомого складу і колії при застосуванні проміжних рейкових скріплень типів ТРЕП та ТРЕП-Ш, в порівнянні з рейковим скріпленням типу КБ, були виконані багатоваріантні розрахунки.

Вихідними даними для розрахунків було прийнято напіввагон типу 12 - 1000, думпкар ВС - 85 та 6 - ВС - 60, чавуновозну платформу вантажопідйомністю 75 т, шлаковоз із об'ємом ковша 16,5 м<sup>3</sup>, чавуновоз ємністю 50 та 140 т, візок для виливниць I - 120 - 5500. Змінними в розрахунках приймалися такі параметри рейкової колії: радіуси кругових кривих  $R_{кк}$  (в межах 350–600 м), довжина вертикальних нерівностей (2-6 м), глибина вертикальних нерівностей  $H$  (від 0,005 м до 0,006 м), довжина горизонтальних нерівностей (2-6 м), стріла вигину горизонтальних нерівностей (від 0,005 м до 0,05 м), термін експлуатації колії (від 0 до 10 років). Розрахунки було виконано для 1540 варіантів.

Розрахунки показали, що на величини вертикальних сил взаємодії рухомого складу і колії впливають, головним чином (окрім характеристик рухомого складу), короткі (до 6 м) нерівності профілю, нерівножорсткість підрейкової основи та конструкція проміжних скріплень. На рис. 3, як приклад, наведено графік змін вертикальних сил  $R_z$ , які діють від колеса на рейку при русі чавуновоза 50 т (осьове навантаження 201 кН) зі швидкістю 5 км/год по прямій ділянці колії. Коефіцієнт динаміки для цього рухомого складу може досягати значень 1,2 – 1,3, а абсолютні значення колісних навантажень можуть перевищувати 300 кН.

При застосуванні проміжних рейкових скріплень типів ТРЕП-Ш величина вертикальних сил зменшується на 1,5 % в порівнянні з колією з проміжним рейковим скріпленням типу ТРЕП.

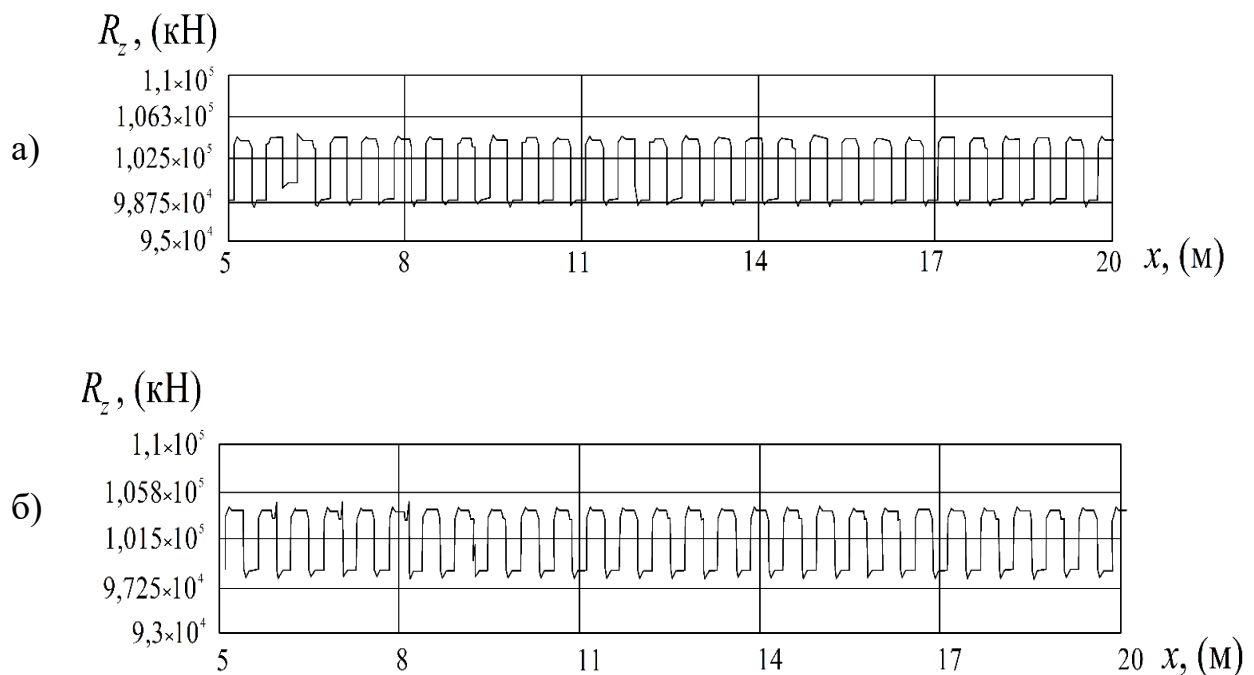


Рис. 3. Графік залежностей вертикальних динамічних сил під час руху по колії чавуновоза вантажопідйомністю 50 т:

- а) під час руху по колії зі скріпленням типу ТРЕП;
- б) під час руху по колії зі скріпленням типу ТРЕП-Ш

На рис. 4 наведено графіки змін коефіцієнтів динаміки вертикальних сил для колій, які мають вертикальні нерівності  $H$  при застосуванні проміжних рейкових скріплень типів ТРЕП або ТРЕП-Ш, в залежності від типів рухомого складу.

Порівняння вертикальних сил взаємодії рухомого складу та колії при застосуванні проміжних рейкових скріплень типів КБ, ТРЕП та ТРЕП-Ш показало, що рівень вертикальних динамічних сил при застосуванні проміжних рейкових скріплень типів ТРЕП підвищується в середньому на 4 - 6 % в порівнянні з проміжними рейковими скріпленнями типів КБ. При застосуванні проміжних рейкових скріплень типів ТРЕП-Ш рівень цих сил зменшується на 10 - 12 %.

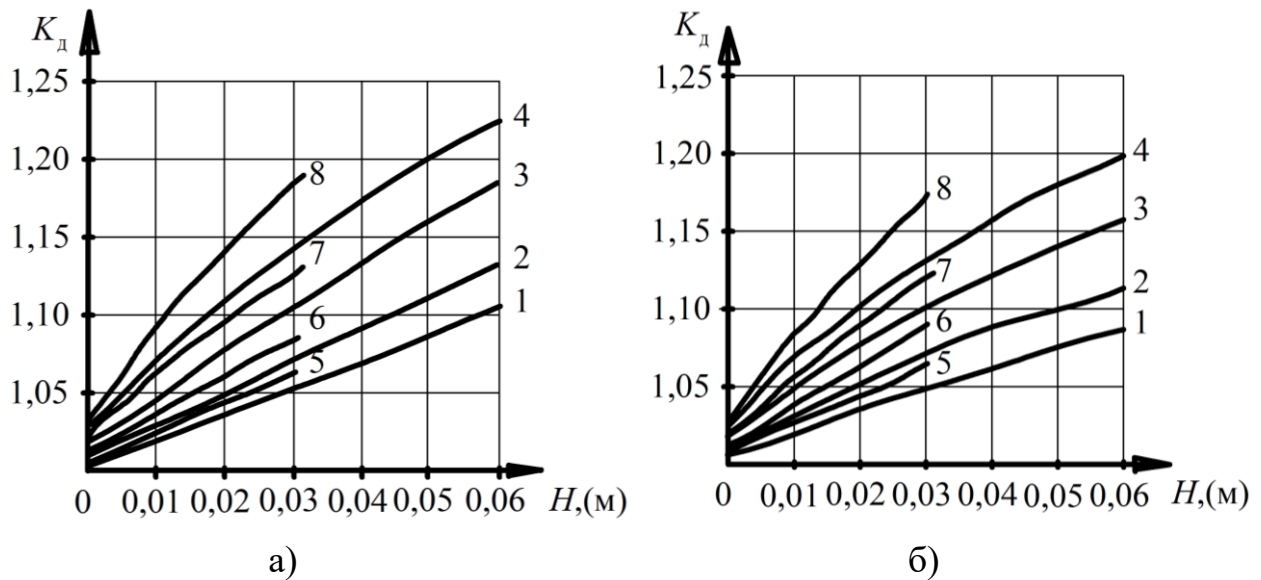


Рис. 4. Графіки змін коефіцієнтів динаміки вертикальних сил від глибини вертикальних нерівностей колії при застосуванні скріплень типів ТРЕП (а) та ТРЕП-Ш (б): 1, 2, 3, 4 – довжина нерівності 2 м; 5, 6, 7, 8 – довжина нерівності 4 м; 1, 5 – чавуновоз 50 т; 2, 6 – думпкар 6-ВС-60; 3, 7 – чавуновоз 80 т; 4, 8 – чавуновоз 140 т

Розрахунки горизонтальних поперечних сил  $N$  показали, що на їх рівень, окрім типів проміжних рейкових скріплень, впливають характеристики плану та терміни експлуатації колії. У прямих ділянках, за наявності горизонтальних нерівностей, можуть виникати горизонтальні поперечні сили, що перевищують 8 кН для деяких типів рухомого складу (рис. 5).

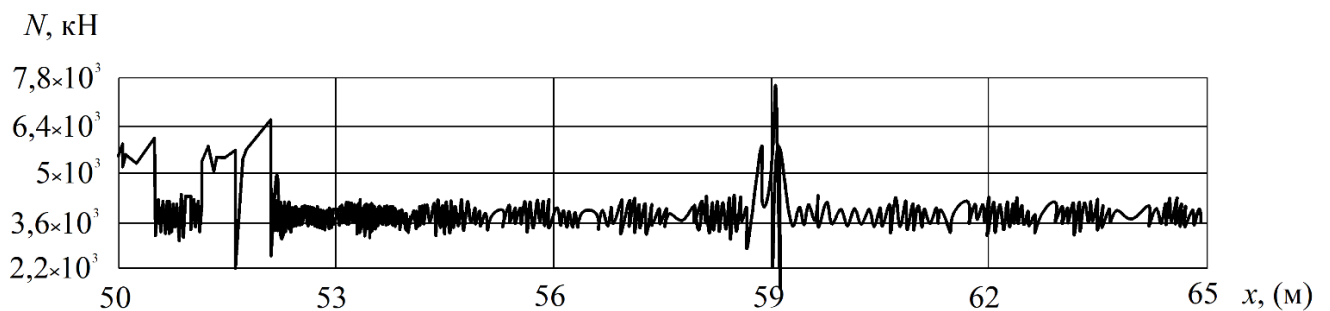


Рис. 5. Графік залежності горизонтальних поперечних сил під час руху чавуновоза 140 т по горизонтальній нерівності довжиною 4 м, амплітудою 10 мм у прямій ділянці колії

У кривих ділянках колії горизонтальні поперечні можуть перевищувати сили перевищують 100 кН (рис. 6). При застосуванні проміжних рейкових скріплень типу ТРЕП рівень горизонтальних поперечних сил підвищується в середньому на 7 % відносно рівня сил, які виникають при застосуванні проміжних рейкових скріплень типу КБ. При проміжному рейковому скріпленні типу ТРЕП-Ш рівень таких сил знижується на 17 %.

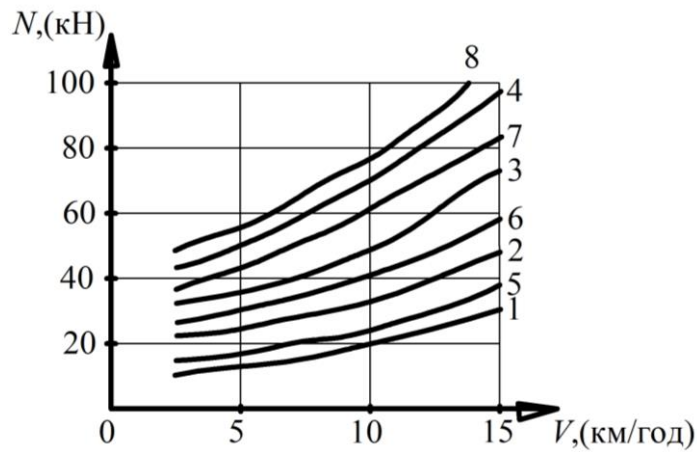


Рис. 6. Графіки залежностей горизонтальних поперечних сил від швидкостей руху чавуновоза вантажопідйомністю 140 т: 1, 2, 3, 4 – скріплення типу ТРЕП-Ш; 5, 6, 7, 8 – скріплення типу ТРЕП, 1, 5 – радіус кривої ділянки  $R_{kk}=800$  м, підвищення зовнішньої рейки  $h = 10$  мм; 2, 6 –  $R_{kk}=600$  м,  $h = 10$  мм; 3, 7 –  $R_{kk} = 450$  м,  $h = 10$  мм; 4, 8 –  $R_{kk} = 350$  м,  $h = 10$  мм

**В розділі чотири** наведено дослідження напружено-деформованого стану елементів підрейкової основи з використанням методу скінченних елементів.

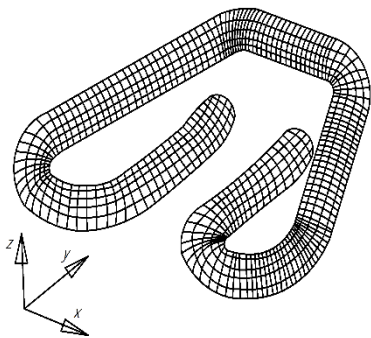


Рис. 7. Модель клеми КРТ

Моделювання рейок, підрейкових прокладок та пружних клем (рис. 7) було проведено із застосуванням скінченних елементів (СЕ) для розрахунків об'єктів з однорідного пружного матеріалу. До параметрів цих СЕ входять модулі пружності, коефіцієнт Пуассона, щільність матеріалу. Моделювання контактів між рейками, прокладками, ізолюючими вкладишами та анкерами виконувалось за допомогою двовузлових СЕ односторонніх пружних зв'язків.

В моделі залізобетонних шпал, крім СЕ, які моделюють роботу бетону, введено елементи, що моделюють роботу арматури, в тому числі із зусиллям попереднього натягу. Напруження в залізобетонних шпалах змінюється в межах від  $-12$  МПа до  $3,3$  МПа при проміжних рейкових скріпленнях типу ТРЕП, а при застосування проміжних рейкових скріплень типу ТРЕП-Ш від  $-6,06$  МПа до  $1,81$  МПа. Еквівалентні напруження в середній зоні залізобетонної шпали з урахуванням напружень попереднього натягу струнної арматури можуть досягати  $19,17$  МПа при проміжних рейкових скріпленнях типу ТРЕП та ТРЕП-Ш. На розподіл просторових напружень у шпалі істотно впливає перевантаження зовнішньої рейки у кривій та перерозподіл навантажень на шпалу від прокладки та анкерів, внаслідок дії горизонтальних поперечних сил.

Моделі баластного шару склалися з СЕ, призначених для моделювання однобічної роботи цих матеріалів на стискання, з урахуванням зсуву. До розрахункових параметрів цих СЕ входять модуль деформації, коефіцієнт Пуассона, питома вага, питома зчеплення, кут внутрішнього тертя та розрахунковий опір.

Зовнішнє навантаження на модель верхньої будови колії приймалося за результатами розрахунків, проведених у розділі 3. Розрахунки показали, що на напружений стан клем істотно впливає рівень горизонтальних поперечних сил. Так, у кривих ділянках колії при різних типах рухомого складу напруження у клемах проміжних рейкових скріплень типу ТРЕП може досягати значення 1280 МПа, при застосуванні проміжних рейкових скріплень типу ТРЕП-Ш – 1190 МПа.

Отримані розрахунками напруження в баласті досягають рівня 0,376 МПа при проміжних рейкових скріпленнях типів ТРЕП. З урахуванням широкого застосування на коліях незагального користування щебеню із слабких гірських порід або шлаків, отримані розрахунками напруження в баласті, які досягають рівня 0,376 МПа при проміжних рейкових скріпленнях типу ТРЕП, перевищують його несучу здатність. Тому для ділянок з осьовими навантаженнями більше 300 кН рекомендовано застосування проміжних рейкових скріплень типу ТРЕП-Ш та підсилення баластної призми укладанням геотекстилю або георешіток.

Порівняння результатів розрахунків зі значеннями допустимих напружень показали, що підрейкова основа зі проміжними рейковими скріпленнями типу ТРЕП є цілком працездатною при обертанні рухомого складу з осьовими навантаженнями до 300 кН в прямих та кривих ділянках з радіусами не менш 350 м; при осьових навантаженнях 301 - 450 кН можливе використання проміжних рейкових скріплень типів ТРЕП-Ш зі швидкості руху до 10 км/год; при осьових навантаженнях більше 450 кН застосувати зазначені скріплення не рекомендовано.

**В п'ятому розділі** виконано аналіз експериментальних досліджень роботи колії незагального користування при застосуванні проміжних рейкових скріплень типу ТРЕП. Головною метою проведення цих досліджень була перевірка адекватності запропонованих моделей і методів розрахунків реальним умовам експлуатації колії незагального користування. Крім того, отримані дані були використані для визначення жорсткостей системи «шпали-баласт».

Вимірювання силових параметрів було виконане електротензометричними методами із застосуванням мікропроцесорних аналого-цифрових перетворювачів і комп'ютера для їх реєстрації у реальному часі, зберігання та наступної обробки.

З метою виключення впливу деформацій та вібрацій баласту й земляного полотна на вимірювання переміщень елементів колії, було застосовано відеоцифрову систему. Ця система дозволяє вимірювати переміщення рейок та шпал з точністю 0,03 мм в реальному часі з точністю  $10^{-3}$  с. Реєстрація результатів вимірювань силових параметрів і переміщень одним комп'ютером дозволяє поєднувати масиви цих даних для наступної обробки.

Основні експериментальні роботи були проведені на діючих коліях Харківської філії ПрАТ «Київ–Дніпровське МППЗТ» у 2012 році. На експериментальній дільниці сім шпал типу Ш-1-1 було замінено на шпали типу ША-Т з проміжними рейковими скріпленнями типу ТРЕП. Експериментальні роботи проводились під час руху спеціального поїзду, що складався з локомотива ТГМ-4, двох платформ моделі 13-401 та двох думпкарів ВС-85. Платформи та думпкари були завантажені щебенем до вагової норми. Швидкості

руху поїзду змінювались від 3 до 33 км/год. Під час проведення експериментальних робіт вимірювались вертикальні та горизонтальні сили, що діють на шпалу й напруження, що виникають на верхній постілі шпали. Крім того, були визначені, із застосуванням методу Шлупфа, горизонтальні поперечні сили. Експериментальні роботи показали, що запропоновані моделі й методи розрахунків є адекватними реальним умовам роботи колії з проміжними рейковими скріпленнями типів ТРЕП. Розбіжності при визначенні горизонтальних поперечних сил знаходяться в межах 8,5 %, при визначенні сил, що діють на шпалу, в межах 9,4 %, при визначенні напружень на верхню постіль шпали, в межах 9,6 % (рис. 8).

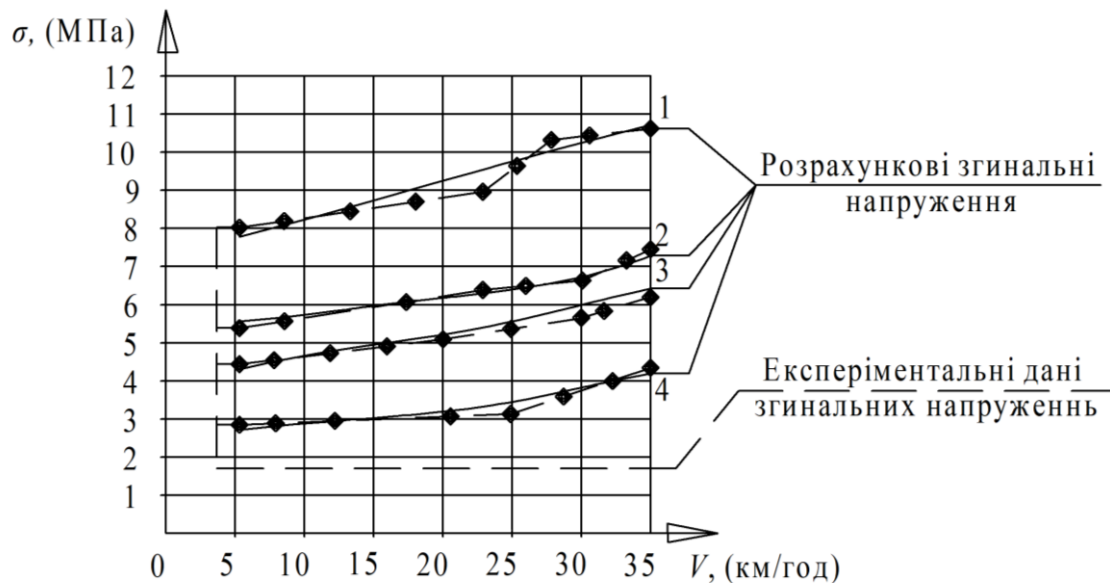


Рис. 8. Розбіжності при визначенні згинальних напружень, які діють у шпалі: 1 – думпкар ВС-85, крива; 2 – думпкар ВС-85, пряма; 3 – платформа 13-104, крива; 4 – платформа 13-104, пряма

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі розв'язана важлива задача дослідження напружено-деформованого стану підрейкової основи з проміжними рейковими скріпленнями з урахуванням сил взаємодії спеціального та спеціалізованого рухомого складу та колії в умовах залізниць незагального користування. Проведені дослідження дають підстави зробити такі висновки:

1. Розроблені математичні моделі для визначення просторових жорсткостей проміжних рейкових скріплень типів ТРЕП та ТРЕП-Ш дозволили встановити перелік параметрів конструктивних елементів для визначення просторової жорсткості вузла зазначених скріплень, а саме:

- жорсткість підрейкових та нашпальних прокладок при стисканні та її зміна у процесі експлуатації;

- жорсткість підрейкових і нашпальних прокладок при зсуві в поперечному та подовжньому напрямках і залежності цієї жорсткості від величини стисканні прокладок вертикальними силами;

- жорсткість пружних клем КПТ;
- жорсткість вкладиша.

Одержані розрахункові рівняння дозволяють визначати ці жорсткості при динамічній дії на колію спеціального та спеціалізованого рухомого складу.

2. Проведено експериментальні дослідження, які дозволили встановити жорсткості пружних елементів проміжних рейкових скріплень типів ТРЕП та ТРЕП-Ш. Зроблено прогнозну оцінку змін жорсткостей під час експлуатації. Встановлено, що для умов залізниць незагального користування проміжні рейкові скріплення типів ТРЕП та ТРЕП-Ш мають просторові жорсткості які в 1,6 – 2,4 рази менші, ніж жорсткості проміжного рейкового скріплення типу КБ.

3. Адаптовано математичну модель просторової динамічної системи «екіпаж-колія», яка враховує особливості роботи рейкових опор при застосуванні проміжних рейкових скріплень типів ТРЕП та ТРЕП-Ш. В основу моделі просторової динамічної системи «екіпаж-колія» покладено загальну розрахункову схему колій у вигляді балок на дискретних рейкових опорах із нелінійними пружно-дисипативними характеристиками, що враховує додаткові динамічні сили, викликані саме нерівнопружністю підрейкової основи.

4. Багатоваріантні числові дослідження просторових сил взаємодії залізничної колії та спеціального, спеціалізованого рухомого складу залізниць незагального користування при застосуванні проміжних рейкових скріплень типів ТРЕП, ТРЕП-Ш та КБ показали, що при застосуванні проміжних рейкових скріплень типу ТРЕП рівень динамічних сил підвищується, в середньому, на 4–7 %, у порівнянні з проміжними рейковими скріпленнями типу КБ, а при застосуванні проміжних рейкових скріплень типу ТРЕП-Ш рівень таких сил зменшується на 5–12 %.

5. Для визначення напружено-деформованого стану підрейкової основи розроблено комплекс моделей рейок, елементів проміжних рейкових скріплень типів ТРЕП та ТРЕП-Ш, шпал та баласту на основі використання методу скінченних елементів. Виконано багатоваріантні числові розрахунки просторового напруженого стану елементів підрейкової основи з проміжними рейковими скріпленнями типів ТРЕП та ТРЕП-Ш в умовах експлуатації колій незагального користування. Встановлено, що у кривих ділянках колії напруження у клемах проміжного рейкового скріплення типу ТРЕП може досягати значення 1280 МПа, а при застосуванні проміжного рейкового скріплення типу ТРЕП-Ш 1190 МПа при різних типах рухомого складу. Напруження в залізобетонних шпалах змінюється в межах від -12 МПа до 3,3 МПа при проміжних рейкових скріпленнях типу ТРЕП, а при застосуванні проміжних рейкових скріплень типів ТРЕП-Ш від -6,06 МПа до 1,81 МПа. Еквівалентні напруження в середній зоні залізобетонної шпали з урахуванням напружень попереднього натягу струнної арматури досягають 19,17 МПа при проміжних рейкових скріпленнях типів ТРЕП та ТРЕП-Ш. На розподіл просторових напружень у шпалі істотно впливає перевантаження зовнішньої рейки у кривій та перерозподіл навантажень на шпалу від прокладки та анкерів внаслідок дії горизонтальних поперечних сил. Отримані розрахунками напруження в баласті досягають рівня 0,376 МПа при проміжних рейкових скріпленнях типу ТРЕП.



6. Здійснено верифікацію розрахунків сил взаємодії колій та рухомого складу, виконаних на підставі комплексу математичних моделей просторової динамічної системи «екіпаж–колія» та оцінки напружено-деформованого стану підрейкової основи з проміжними скріпленнями типів ТРЕП та ТРЕП-Ш при статичному та динамічному навантаженнях. Розбіжність між теоретичними та експериментальними даними становить 9,5 %.

7. Розроблено рекомендації щодо використання проміжних рейкових скріплень типів ТРЕП та ТРЕП-Ш в умовах колій залізниць незагального користування. Проміжні рейкові скріплення типів ТРЕП рекомендується використовувати у прямих та кривих ділянках з радіусами 350 м та більше, де обертається рухомий склад з осьовими навантаженнями до 300 кН. Проміжні рейкові скріплення типів ТРЕП-Ш рекомендується використовувати у прямих ділянках колії з осьовими навантаженнями до 450 кН та швидкістю руху до 10 км/год. При осьових навантаженнях більше 450 кН застосувати зазначені скріплення не рекомендовано.

## ПЕРЕЛІК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

### Статті у наукових фахових виданнях України:

1. Даренський О.М., Беліков Е.А. Аналіз вертикальної просторової жорсткості скріплення типу КППТ-7. *Зб. наук. Праць УкрДУЗТ*. Харків, УкрДУЗТ. 2015. Вип. 155. С. 190-195. **(Видання включено у МНБД Index Copernicus)**. *Особистий внесок: розробка математичної моделі вузла проміжного рейкового скріплення.*

2. Даренський О.М., Беліков Е.А. Перспективні конструкції проміжних скріплень для умов промислового залізничного транспорту. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. Харків, УкрДУЗТ. 2015. Вип. 2. С. 57 – 61. **(Видання включено у МНБД Index Copernicus)**. *Особистий внесок: визначення конструктивних особливостей проміжних рейкових скріплень типів КБ, ТРЕП, ТРЕП-Ш.*

3. Даренський О.М., Беліков Е.А. Аналіз розвитку теорій розрахунків залізничних колій. *Зб. наук. праць УкрДУЗТ*. Харків, УкрДУЗТ. 2015. Вип. 154. С. 149-155. **(Видання включено у МНБД Index Copernicus)**. *Особистий внесок: збір даних щодо існуючих теорій та методів розрахунків.*

4. Беліков Е.А. Жорсткість скріплень ТРЕП-Ш та ТРЕП при крученні рейки. *Зб. наук. праць УкрДУЗТ*. Харків, УкрДУЗТ. 2016. Вип. 162. С. 81–86. **(Видання включено у МНБД Index Copernicus)**.

5. Даренський О.М., Беліков Е.А. Експериментальне визначення жорсткостей прокладок скріплень ТРЕП та ТРЕП-Ш. *Зб. наук. праць УкрДУЗТ*. Харків, УкрДУЗТ. 2017. Вип. 169. С. 150 – 156. **(Видання включено у МНБД Index Copernicus)**. *Особистий внесок: проведення експериментальних робіт пружних елементів скріплень ТРЕП та ТРЕП-Ш.*

Публікації апробаційного характеру:

6. Даренський О.М. Беліков Е.А. Жорсткість скріплень ТРЕП під дією горизонтальних поперечних сил. Тези доповідей 80-ї міжнародної науково-технічної конференції 24 — 26 квітня 2018 року «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті» УкрДУЗТ. Харків, УкрДУЗТ. 2018. Вип. № 177. – С. 107-108. *Особистий внесок: проведення експериментальних робіт.*

7. Беліков Е.А. Жорсткість пружних клем скріплень ТРЕП, ТРЕП-Ш. Тези доповідей VI міжнародної науково-технічної конференції: 19-21 квітня 2018 року «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті». Харків. УкрДУЗТ. 2017. с.187

Патенти України на корисну модель:

8. Патент на корисну модель. Україна МПК(2006): G01B 11/14, реєстраційний номер заявки № u2011 14788. *Система для вимірювання переміщень в елементі інженерних конструкцій і споруд під дією навантажень / Даренський О.М., Астахов В.М., Вітольберг В.Г., Бугаєць Н.В., Беліков Е.А.; заявник та патентовласник Українська державна академія залізничного транспорту. Заява 13.12.2011; опубліковано 11.06.2012 року, Бюл.№ 11/2012.*

9. Патент на корисну модель № 74779 від 12.11.2012 року. Україна, МПК(2012.01): G01D 5/00, E01B 35/00, номер заявки № u201205038. *Пристрій для вимірювання переміщень елементів інженерних конструкцій або споруд під дією навантажень / Даренський О.М., Астахов В.М., Клименко А.В, Беліков Е.А., Вітольберг В.Г., Бугаєць Н.В. заявник та патентовласник Українська державна академія залізничного транспорту. заявл. 23.04.2012; опубл. 12.11.2012, Бюл. № 21, власник УкрДУЗТ. *Особистий внесок: конструюванні елементів відеоцифрової системи вимірювання переміщень елементів інженерних споруд конструкцій.**

## АНОТАЦІЯ

**Беліков Е.А. Особливості роботи проміжних скріплень типів ТРЕП та ТРЕП-Ш в умовах колій незагального користування. – На правах рукопису.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.06 – залізнична колія. – Український державний університет залізничного транспорту МОН України, Харків, 2019.

Дисертація присвячена експериментально-теоретичним дослідженням напружено-деформованого стану роботи підрейкової основи з проміжними рейковими скріпленнями типів ТРЕП та ТРЕП-Ш з урахуванням сил взаємодії спеціального та спеціалізованого рухомого складу та колії в умовах залізниць незагального користування.

Проведено огляд та аналіз літературних джерел за тематикою дослідження.

Розроблені математичні моделі для визначення просторових жорсткостей проміжних рейкових скріплень типів ТРЕП та ТРЕП-Ш дозволили встановити

перелік параметрів конструктивних елементів для визначення просторової жорсткості вузла зазначених скріплень. Одержані розрахункові рівняння дозволяють визначати ці жорсткості при динамічній дії на колію спеціального та спеціалізованого рухомого складу.

Проведено експериментальні дослідження, які дозволили встановити жорсткості пружних елементів проміжних рейкових скріплень типів ТРЕП та ТРЕП-Ш.

Адаптовано математичну модель просторової динамічної системи «екіпаж-колія», яка враховує особливості роботи рейкових опор при застосуванні проміжних рейкових скріплень типів ТРЕП та ТРЕП-Ш.

Для визначення напружено-деформованого стану підрейкової основи розроблено комплекс моделей рейок, елементів проміжних рейкових скріплень типів ТРЕП та ТРЕП-Ш, шпал та баласту на основі використання методу скінченних елементів.

Виконано багатоваріантні числові розрахунки просторового напруженого стану елементів підрейкової основи з проміжними рейковими скріпленнями типів ТРЕП та ТРЕП-Ш в умовах експлуатації колій незагального користування.

Здійснено верифікацію розрахунків сил взаємодії колій та рухомого складу, виконаних на підставі комплексу математичних моделей просторової динамічної системи «екіпаж-колія» та оцінки напружено-деформованого стану підрейкової основи з проміжними скріпленнями типів ТРЕП та ТРЕП-Ш при статичному та динамічному навантаженнях.

Результати дисертаційної роботи дали змогу розробити рекомендації, щодо застосування проміжних рейкових скріплень типів ТРЕП та ТРЕП-Ш в умовах колій незагального користування.

**Ключові слова:** колії незагального користування, проміжні рейкові скріплення типів ТРЕП та ТРЕП-Ш, сили взаємодії рухомого складу та колії, просторова жорсткість рейкових опор, напружено-деформований стан підрейкової основи, скінчено-елементна модель, багатоваріантні числові розрахунки.

## АННОТАЦІЯ

**Беликов Э.А. Особенности работы промежуточных скреплений типов ТРЕП и ТРЕП-Ш в условиях путей необщего пользования. – На правах рукописи.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.06 – железнодорожный путь. – Украинский государственный университет железнодорожного транспорта МОН Украины, Харьков, 2019.

Диссертация посвящена экспериментально-теоретическим исследованиям напряженно-деформированного состояния работы подрельсового основания железнодорожного пути с промежуточными рельсовыми скреплениями типов ТРЕП и ТРЕП-Ш с учетом сил взаимодействия от специального и специализированного подвижного состава на железнодорожный путь в условиях железных дорог необщего пользования.

**Во введении** обоснована актуальность рассмотренной темы. Сформулировано цель исследований, объект, предмет и задачи исследований. Описаны методы исследований и научная новизна полученных результатов.

**В первом разделе** выполнен анализ характеристик путей необщего пользования. Установлены технические особенности специального и специализированного подвижного состава. Сделан вывод про возможность использования промежуточных рельсовых скреплений типов ТРЕП и ТРЕП-Ш. Принята для дальнейших исследований математическая модель пространственной динамической системы «экипаж–путь», в основе которой используется расчетная схема пути в виде рельсов-балок, опирающихся на отдельные опоры с нелинейными упруго-диссипативными характеристиками.

**Во втором разделе** были разработаны математические модели формирования пространственных жесткостей рельсовых опор со скреплениями типов ТРЕП и ТРЕП-Ш. Экспериментально определены упругие характеристики узлов этих скреплений. Полученная на основе данных экспериментальных исследований информация, позволила внести в математическую модель динамической системы «экипаж–путь» необходимые изменения.

**В третьем разделе** многовариантными численными расчетами исследовано силы взаимодействия специального и специализированного подвижного состава, и железнодорожного пути в условиях путей необщего пользования. Математическая модель пространственной динамической системы «экипаж–путь», позволила учитывать дополнительные динамические силы, которые вызваны неравножесткостью подрельсового основания, отличием упругих и диссипативных характеристик опор и их нелинейностью. В расчетную модель добавлены уравнения пространственной жесткости рельсовых опор с промежуточными рельсовыми скреплениями типов ТРЕП и ТРЕП-Ш при вертикальных и горизонтальных изгибах и кручении рельса.

В модели учтены упруго-диссипативные силы, которые возникают в точке контакта колеса и рельса, дополнительные динамические силы, которые вызваны дисбалансом колеса, неравномерностью износа поверхности качения, наличием ползунов. Модель учитывает ширину колесной пары, ширину пути, наклон рельсов, конечность поверхности качения колес, наличие вертикальных и горизонтальных неровностей пути. Предложенная математическая модель реализована в современной системе математического моделирования Mathcad.

**В четвертом разделе** выполнено исследования напряженно-деформированного состояния работы подрельсового основания промежуточных рельсовых скреплений типов ТРЕП и ТРЕП-Ш с помощью метода конечных элементов.

Моделирование рельсов, подрельсовых прокладок и упругих клемм было выполнено с использованием конечных элементов для расчетов объектов из однородного упругого материала. Моделирование контактов между рельсами, прокладками, изолирующими вкладышами и анкерами использовалось при помощи конечных элементов упругих связей. В модели железобетонной шпалы

ША-Т учтены конечные элементы, которые моделируют работу бетона и арматуры, с усилием предварительного натяжения. Модель балластного слоя состоит из конечных элементов, предназначенных для моделирования односторонней работы этих материалов на сжатие, с учетом смещения.

**В пятом разделе** экспериментальными работами проведена сопоставимость предложенных моделей и методов расчетов реальным условиям эксплуатации путей необщего пользования. Во время проведения эксперимента измерялись вертикальные и горизонтальные силы, которые действуют на шпалу и напряжения, которые возникают на верхней постели шпалы. Кроме этого, при помощи метода Шлупфа были измерены горизонтальные поперечные силы. С целью исключения влияния деформаций и вибраций балласта и земляного полотна на измерения перемещений элементов пути, было использовано видеоцифровую систему, которая позволяет измерять перемещения рельсов и шпал с точностью 0,03 мм в реальном времени с точностью  $10^{-3}$  с. Расхождения при определении горизонтально поперечных сил находятся в границах 8,5 %, при определении сил, действующих на шпалу в границах 9,4 %, при определении напряжений на верхнюю постель шпалы в границах 9,6 %.

**Ключевые слова:** пути необщего пользования; промежуточные рельсовые скрепления типа ТРЕП и ТРЕП-Ш; силы взаимодействия подвижного состава и пути; пространственная жесткость рельсовых опор; напряженно-деформированное состояние подрельсового основания; конечно-элементная модель; многовариантные числовые расчеты.

## ANNOTATION

**Bielikov E.A. Features of work of intermediate fasteners of types TREP and TREP-Sh in conditions of non-genuine use. – On the rights of the manuscript.**

The thesis for Candidate Degree in Engineering in Speciality 05.22.06 – Railway track. Ukrainian State University of Railway Transport. Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2019.

The dissertation is devoted to the experimental and theoretical research of the stress-deformed state of the underbreathing foundation with intermediate rail fastenings of the types TREP and TREP-SH taking into account the forces of interaction of the special and specialized rolling stock and the track in the conditions of non-garbage railways.

The analysis of rail supports with fastenings TREP and TREP-Sh under spatial forces was conducted; the parameters forming spatial rigidities of these supports were defined. On the base of experimental research, both in laboratories and in the field, the rigidities of elastic elements of rail supports and the impact of loads on these parameters were defined, and dependencies of changes in spatial rigidities in operation were established.

The changes considering some operational features of the vehicle/track system with the fastenings TREP and TREP-Sh were produced in the mathematical model of the spatial dynamics. Implementation of the design diagram of the track taken as a

beam rested on many elastic supports with non-linear elastic-dissipative characteristics allowed considering additional dynamic forces being a result of an irregular rigidity of the rail foundation. The numerical methods were used in the research into spatial forces on the special and specialized track with the fastenings TREP and TREP-Sh.

The influence of characteristics of the fastenings on the active forces was defined, and the comparative operational analysis of the track with the fastenings TREP, TREP-Sh and KB was made.

The elements of the rail foundation with the fastenings TREP and TREP-Sh for non-public railways were modeled with the application of the finite element method in order to calculate the mode of deformation. On the base of multi-choice calculations the analysis of the mode of deformation of the rail foundation elements in various operational conditions for non-public railways was made. The practical recommendations for application of the fastenings TREP and TREP-Sh were given.

The experimental works on the test section of a non-public railway with the fastenings TREP sleepers were conducted. The modern microprocessor-based video digital technology and computers were applied. The results and theoretical calculations were compared with the experimental data.

**Keywords:** permanent way of non-public railways, intermediate fastenings TREP and TREP-Sh, rail support rigidity, vehicle/track interaction.

БЄЛІКОВ ЕДУАРД АНАТОЛІЙОВИЧ

**ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ ПРОМІЖНИХ СКРІПЛЕНЬ  
ТИПІВ ТРЕП ТА ТРЕП-Ш В УМОВАХ КОЛІЙ  
НЕЗАГАЛЬНОГО КОРИСТУВАННЯ.**

АВТОРЕФЕРАТ  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

---

Підписано до друку 10.01.2019 р.  
Формат паперу 60×84 1/16. Папір для множинних апаратів.  
Друк цифровий. Умовн. друк. арк. 0,9. Обкл.-вид. арк. 1,1  
Тираж 100 прим. Зам. № 4 від 10.01.19

---

---

Надруковано у копії-центрі «Panda Print»  
(ФО-П Панарін В.С.).  
м. Харків, вулиця Фейєрбаха, 11-б