

Український державний університет залізничного транспорту
Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Беліков Едуард Анатолійович

УДК 625.143.51

ДИСЕРТАЦІЯ

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

05.22.06 – Залізнична колія

27 – Транспорт

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

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



Е.А.Беліков

Науковий керівник

Даренський Олександр Миколайович

доктор технічних наук,

професор

Харків – 2019

АНОТАЦІЯ

Беліков Е.А. – Особливості роботи проміжних скріплень типів ТРЕП та ТРЕП–Ш в умовах колій незагального користування. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.22.06 – залізнична колія (27 – транспорт). – Український державний університет залізничного транспорту, Харків, 2019.

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

Зміст дисертації. У вступі представлена загальна характеристика роботи, наведено актуальність, зв'язок з науковими темами, сформульовано мету та задачі досліджень, описано практичне значення роботи та наукова новизна.

У першому розділі виконано аналіз технічних та експлуатаційних характеристик колій незагального користування України. Наведено характеристики конструкцій верхньої будови колії залізниць незагального користування. Розглянуто особливості спеціального та спеціалізованого рухомого складу. Встановлено, що найбільш поширеною конструкцією верхньої будови колії залізниць незагального користування є ланкова колія на залізобетонних шпалах зі скріпленнями типу КБ. Зазначено, що цей тип скріплення, який понад 50 років тому був розроблений для умов колій магістральних залізниць, в багатьох випадках не відповідає умовам експлуатації залізниць незагального користування. Серед таких умов експлуатації слід вказати на високі осьові навантаження, підвищену жорсткість ресорних комплектів рухомого складу, наявність значної кількості кривих малих радіусів, великі ухили.

Аналіз сучасних вітчизняних та закордонних конструкцій проміжних скріплень, які проходять дослідно–експериментальні випробування на магістральних залізницях, показав, що основними тенденціями при конструюванні

сучасних скріплень є застосування пружних прикріплювачів (клем), відмова від різьбових сполучень, застосування сучасних полімерних та композитних матеріалів для виготовлення амортизуючих та електроізолюючих елементів.

Зроблено висновок, що найбільш перспективними для умов залізниць незагального користування є скріплення типів ТРЕП та ТРЕП–Ш. Ці скріплення є близькими між собою конструктивно, а їх елементи є взаємозамінними. Основна відмінність – наявність металевої підкладки у скріпленні ТРЕП–Ш, що буде справляти позитивний вплив на роботу підрейкової основи в умовах високих осьових навантажень.

Зазначено, що визначення особливостей роботи проміжних рейкових скріплень типів ТРЕП та ТРЕП–Ш для умов залізниць незагального користування є можливим тільки на підставі аналізу сил взаємодії між рухомим складом та колією й аналізу напруженого стану елементів підрейкової основи (скріплень, шпал, баласту) при застосуванні таких скріплень.

Аналіз існуючих теоретичних моделей визначення сил взаємодії рухомого складу і колії та розрахунків напруженого стану елементів колії показав, 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. Амеліним, М.П. Смирновим, М.А. Фрішманом, В.Ф. Яковлевим, С.П. Першиним, В.І. Ангелейком, О.Я. Коганом, Е.І. Даніленком.

Однак ряд вчених (професори В.Ф. Яковлев, 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 було зроблено висновок, що для визначення особливостей роботи скріплень 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 математичних моделей необхідно внести корегування, які дозволять враховувати роботу скріплень ТРЕП та ТРЕП–Ш в колії.

У другому розділі приведено результати досліджень впливу скріплень ТРЕП та ТРЕП–Ш на характеристики просторової жорсткості рейкових опор та зроблено прогнозну оцінку змін цих параметрів під час експлуатації колій. Такі дослідження були необхідні для внесення відповідних змін у математичну модель динамічної системи «екіпаж–рейкова колія».

Просторові жорсткості рейкових опор зі скріпленнями ТРЕП та ТРЕП–Ш представлені, як системи з послідовно і паралельно сполучених жорсткостей пружних елементів, які входять до складу цих опор: нашпальних і підрейкових прокладок; пружних клем; жорсткостей системи «шпала–баласт». В основу цих моделей було покладено концепцію багат шарової підрейкової основи, провідні положення якої були розроблені проф. Е.І. Даніленком.

На підставі цих моделей було визначено перелік характеристик пружних елементів і перелік залежностей їх змін під час експлуатації колій які потрібно було визначити експериментально.

Експериментальними дослідженнями, які були проведені в лабораторних умовах, було встановлено жорсткості пружних елементів скріплень 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 їх жорсткостей під час експлуатації. Це дозволило не тільки визначити просторові жорсткості скріплень ТРЕП та ТРЕП–Ш при вертикальному, горизонтальному поперечному навантаженні та крученні рейки але й спрогнозувати зміни цих параметрів під час експлуатації. Діапазони динамічних навантажень при випробуваннях прокладок були прийняті відповідними вертикальним навантаженням, які виникають при русі екіпажів з осьовими навантаженнями до 211 кН, до 265 кН, до 343 кН, до 460 кН на вісь. Встановлено що динамічна жорсткість прокладок зростає в 7–7.4 рази зі збільшенням інтервалів навантажень.

Випробування прокладок, що були в експлуатації показали, що після 8 років експлуатації в колії жорсткість прокладок зростає в середньому на 19–20 %. Для визначення жорсткості пружних клем КПТ скріплень ТРЕП та ТРЕП–Ш були проведені їх випробування із застосуванням обладнання, яке досить точно моделює роботу клем у колії.

Середнє значення жорсткості цих клем при вертикальних деформаціях становить 970 кН/м, за середнього квадратичного відхилення $0,02 \cdot 10^4$ кН/м.

Складові просторових жорсткостей системи «шпала–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 постілі залізобетонних шпал від величини по коліях тоннажу з урахуванням діапазонів навантажень.

Проведені експериментальні роботи в лабораторних умовах та в колії дозволили визначити просторові жорсткості скріплень ТРЕП та ТРЕП–Ш і жорсткості рейкових опор при застосуванні цих скріпленнях. Таким чином отримані дані дозволили виконувати чисельні дослідження сил взаємодії рухомого складу та колії залізниць незагального користування при застосуванні скріплень ТРЕП та ТРЕП–Ш.

У третьому розділі чисельними методами виконано дослідження сил дії на колію навантажень під час руху спеціальних і спеціалізованих вагонів при застосуванні скріплень ТРЕП та ТРЕП–Ш. Для порівняння отриманих результатів виконано також розрахунки сил дії на колію при застосуванні скріплень КБ в однакових умовах експлуатації.

В розрахунках сил дії було використано математичні моделі просторової динамічної системи «екіпаж–колія», в основу яких покладено концепцію дискретної підрейкової основи з нелінійними дисипативними пружними характеристиками рейкових опор при застосуванні скріплень ТРЕП та ТРЕП–Ш. Такий підхід дозволив враховувати додаткові динамічні сили, що викликані

нерівножосткістю підрейкової основи, відмінністю пружних і дисипативністю опор та їх нелінійністю. Для умов залізниць незагального користування величини таких додаткових сил можуть перевищувати 15 % від рівня статичних колісних навантажень.

Автором у розрахункову модель було внесено рівняння просторової жорсткості рейкових опор зі скріпленнями ТРЕП та ТРЕП–Ш при вертикальних та горизонтальних вигинах і крученні рейки. Таким чином, основна система диференціальних рівнянь просторової динамічної системи «екіпаж–колія» розв’язувалася в нелінійній постановці задачі.

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 та повзунами. Модель враховує ширину колісної пари, ширину колії, нахил рейок, конічність поверхні кочення та наявність вертикальних і горизонтальних нерівностей колії. Математична модель реалізована в сучасній системі математичного проектування *Mathcad*.

Для виявлення особливостей взаємодії рухомого складу і колії при застосуванні скріплень ТРЕП та ТРЕП–Ш, в порівнянні зі скріпленням КБ були виконані багатоваріантні розрахунки. Як розрахункові було взято напіввагони типу 12–1000, думпкари ВС–85 та 6–ВС–60, чавуновозну платформу вантажопідйомністю 75 т, шлаковоз з ємністю ковша 16,5 м³, чавуновози з ємністю ковша 50 та 140 т, та візок для виливниць І–120–5500.

Як змінні в розрахунках приймалися такі параметри рейкової колії:

- радіуси кругових кривих – 350–600 м;
- довжина вертикальних нерівностей – від 2–6 м;
- глибина вертикальних нерівностей – від 0,005 м до 0,006 м;
- довжина горизонтальних нерівностей – від 2–6 м;
- стріла вигину горизонтальних нерівностей від 0,005 м до 0,05 м;
- термін експлуатації колії – від 0 до 10 років.

Таким чином, були виконані розрахунки більш ніж 1540 варіантів взаємодії різних типів рухомого складу і колії з різними характеристиками.

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 конструкції проміжних скріплень. Коефіцієнт динамічності таких сил може досягати значень 1,2–1,3 а абсолютні значення колісних навантажень можуть перевищувати 300 кН.

За швидкості руху зазначених типів рухомого складу коефіцієнти динаміки можуть перевищувати значення 1,22 для чавуновоза 140 т.

Порівняння вертикальних сил взаємодії рухомого складу та колії при застосуванні скріплень КБ, ТРЕП та ТРЕП–Ш показало, що рівень вертикальних динамічних сил при застосуванні скріплень ТРЕП підвищується в середньому на 4–6 % в порівнянні зі скріпленнями КБ. При застосуванні скріплень ТРЕП–Ш рівень сил зменшується до 12 %.

Розрахунки горизонтальних поперечних сил показали що на їх рівень, окрім типів скріплень, впливають характеристики плану та терміни експлуатації колії.

У прямих ділянках, за наявності горизонтальних нерівностей, можуть виникати горизонтальні сили, що перевищують 8 кН для деяких типів вагонів. У кривих ділянках колії горизонтальні поперечні сили перевищують 100 кН. При застосуванні скріплень типу ТРЕП рівень горизонтальних поперечних сил підвищується в середньому на 7 % відносно рівня сил, які виникають при застосуванні скріплень КБ. При скріпленні ТРЕП–Ш рівень таких сил знижується до 17 %.

У розділі чотири були виконані дослідження напруженого – деформованого стану елементів підрейкової основи колії з використанням просторової моделі, яку було розроблено з використанням методів скінченних елементів (МСЕ). Модулювання рейок, підрейкових прокладок та пружних клем було проведено із застосуванням (СЕ) для розрахунків напруженого – деформованого стану для об'єктів з однорідного лінійного пружного матеріалу. До параметрів цих СЕ вводять модулі пружності, коефіцієнт Пуассона, густоти матеріалу для урахування його власної ваги. Моделювання контактів між рейками, прокладками,

ізолюючими вкладишами та анкерами виконувалось за допомогою двовузлових скінченних елементів односторонніх пружних зв'язків.

В моделі залізобетонних шпал, крім СЕ, які моделюють бетон, введено елементи, що моделюють роботу арматури в тому числі із зусиллям попереднього натягу. Моделі баластного шару склалися з СЕ, призначених для моделювання однобічної роботи цих матеріалів на стиснення, з урахуванням зсуву.

До розрахункових параметрів цих СЕ входять модуль деформації, коефіцієнт Пуассона, питома вага, питоме зчеплення та кут внутрішнього тертя.

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. У кривих ділянках колії напруження у клемах скріплень ТРЕП може досягати значення 1280 МПа, та при застосуванні скріплень ТРЕП Ш 1190 МПа при різних типах рухомого складу. Напруження в залізобетонних шпалах змінюється в межах від -12 МПа до $3,3$ МПа при скріпленнях ТРЕП. Застосування скріплень ТРЕП–Ш зменшують такі діапазон напруження до $-6,06$ та $1,81$ МПа. Еквівалентні напруження з урахуванням напружень попереднього натягнення можуть досягати $19,17$ МПа при скріпленнях 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 скріпленнях ТРЕП на несучу здатність. З урахуванням широкого вживання на коліях незагального користування щебеню зі слабких гірських порід або шлаків, такий рівень перевищує його несучу здатність. Тому для ділянок з осьовими навантаженнями більше 300 кН рекомендовано застосування скріплень ТРЕП–Ш та посилювання баластної призми укладанням геотекстилю або георешіток.

Порівняння результатів розрахунків зі значеннями допустимих напружень показали, що підрейкова основа зі скріпленнями ТРЕП є цілком працездатною при обертанні рухомого складу з осьовими навантаженнями до 300 кН в прямих та

кривих ділянках з радіусами не менше 350 м; при осьових навантаженнях 301–450 кН можливе використання скріплень ТРЕП–Ш за швидкості руху до 15 км/год; при осьових навантаженнях більше 450 кН застосування зазначених скріплень не рекомендоване.

У п'ятому розділі виконано аналіз експериментальних досліджень роботи колії незагального користування при застосуванні 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 були виконані електротензометричними методами із застосуванням мікропроцесорних аналого – цифрових перетворювачів і ноутбука для їх реєстрації у функції реального часу, 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 дозволяла вимірювати переміщення рейок та шпал із точністю 0,03 мм у функції реального часу з точністю 10^{-3} с.

Реєстрація результатів вимірювань силових параметрів і переміщень одним комп'ютером у функції реального часу дозволила 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 Ш–1–1 було замінено на шпали типу ША–Т зі скріпленнями ТРЕП.

Експериментальні роботи проводились під час руху спеціального потяга, 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 потяга поступово змінювалась 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 постелі шпали при її навантаженні. Крім того, були визначені із застосуванням метода Шлупфа горизонтальні поперечні сили.

Експериментальні роботи показали, що запропоновані моделі й методи розрахунків є адекватними реальним умовам роботи колії зі скріпленнями 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 верхній постелі шпали в межах 9,6 %.

Ключові слова: верхня будова колії незагального користування, проміжні скріплення ТРЕП та ТРЕП–Ш, жорсткість рейкових опор, взаємодія рухомого складу та колії.

ABSTRACT

Bielikov E. A. – Features of work of intermediate fastenings TREP and TREP–Sh in conditions for non–public railways. Qualifying scientific work on the rights of manuscripts.

Dissertation for the degree of a candidate of technical sciences (doctor of philosophy) in the specialty 05.22.06 – Rail–way Track (27 – Transport). Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv. 2019.

The dissertation is devoted to the experimental and theoretical study of the stressed–deformed condition of the sub–rail basis with intermediate rail fastenings of the types TREP and TREP–SH taking into account the forces of interaction between the special and specialized rolling stock on the railway track in the conditions of non–public railways.

The content of the dissertation. In the introduction substantiates the relevance of the topic under consideration. The purpose of research, object and tasks of researches are formulated. The methods of researches and scientific novelty of the received results are described.

In the **first section**, an analysis of the technical condition and performance characteristics of non–state railways in Ukraine. Features of the special and special rolling

stock are considered. It is established that the most widespread construction of the upper structure of the track for such railways is the railways track on reinforced concrete sleepers with fastenings of type KB. It was concluded that the construction of the said fastenings in most cases did not correspond to the conditions of exploitation of technological, special and specialized railways tracks of metallurgical enterprises. It is noted that this type of fastener, which was developed more than 50 years ago for main railways, in many cases does not meet the conditions of exploitation of non-public railways. Among such conditions of exploitation trace specify on high axial loads, increased stiffness spring sets rolling stock the presence of a significant number of curves of small radii, large deflection of the track.

The analysis of existing fastenings undergoing experimental tests on the research sites of main railways showed that the main tendencies in the design of such fastenings are the use of elastic terminals (elastic terminals), the renunciation of threaded joints, the use of modern polymeric and composite materials for absorbers and electrical insulating elements. It has been established that the most promising intermediate fasteners for these conditions of non-public railways are the railways fastening of the types of TREP and TREP-Sh, which are constructive and close together, and their elements are interchangeable. It was concluded that the definition of the features of the use of these fastenings at this stage is possible by the method of studying the forces of interaction between the rolling stock and the railroad or the special and specialized rolling stock, followed by the investigation of the stressed state of elements of the undercutting base when applying the types of TREP and TREP-Sh.

The analysis of the existing theoretical models for defining the vehicle track interaction forces and calculations of a stress state of the track elements demonstrated, that nowadays the most important calculation models and methods, are ones based on the general track design diagram, which considered the track as beams rested on the whole elastic foundation; the author believes that these models do not conform with the structure and operational conditions for non-public railways. The analysis of the existing theoretical models for defining the vehicle track interaction forces and calculations of a stress state of the track elements demonstrated, that nowadays the most important

calculation models and methods, are ones based on the general track design diagram, which considered the track as beams rested on the whole elastic foundation; the author believe that these models do not conform with the structure and operational conditions for non-public railways.

The mathematical model of the spatial vehicle track dynamic system was taken as theoretical and a design track diagram with rails rested on separate supports with non-linear elastic-dissipative characteristics was taken on the base of it.

Therefore, it was concluded that in order to determine the features of the TREP and TREP-SH fastening operation in the conditions of non-public railways, it is expedient to use a complex of mathematical models of the spatial dynamic system "crew-railways track", the bases of which were developed by Professor O.M. Darensky.

But the application of this model required some changes, thus, vrahovuyuchu force into ac-count the force of interaction railways trac vikristannyam kriplen ty types of TRIP and TREP-Sh.

In the **Second Chapter** the mathematical models to form the spatial rigidities of the rail supports with the fastenings TREP and TREP-Sh were developed, and the experimental elastic characteristics were experimentally established.

The laboratory research established the static and dynamic rigidities in the elastic elements of the fastenings which impacted the rail foundation at various stress ranges. The predictive estimate of changes in these parameters under track operation was conducted.

On the base of experimental research conducted on the tracks belonging to metallurgical and mining enterprises in Ukraine, the rigidities of the sleeper ballast system allowing for load ranges, structural peculiarities of the ballast prism and the tonnage along this section were defined.

Thus, the information obtained on the base of the research allowed producing some needed changes in the mathematical model of the dynamic vehicle track system.

Multivariant numerical calculations have investigated the forces of interaction of special and specialized rolling stock, and the railway track in the conditions of non use routes. The mathematical model of the spatial dynamical system "crew-path" has allowed

to take into account additional dynamic forces that are caused by the unevenness of the sub-rail base, the difference between the elastic and dissipative characteristics of the supports and their nonlinearity. In the calculation model, the equations of the spatial stiffness of the rail supports with the intermediate rail fastenings of the types TREP and TREP-SH at vertical and horizontal bends and torsion of the railroad were added.

The model takes into account the elastic-dissipative forces that arise at the point of contact of the wheel and the rail, the additional dynamic forces that are caused by the wheel imbalance, the uneven wear of the rolling surface, the presence of sliders. The model takes into account the width of the wheel pair, the width of the track, the inclination of the rails, the finiteness of the surface of rolling wheels, the presence of vertical and horizontal roughness of the path. The proposed mathematical model is implemented in the modern mathematical modeling system Mathcad.

In the **Third Chapter** the multi-choice calculation was fulfilled to reveal peculiarities of the vehicle track interaction with the fastenings TREP and TREP-Sh or KB. Eight types of rolling stock with axial loads in a range of 200–450 kN were considered so that to cover a wider range of operational conditions. The calculations were made for straight sections and curves with radii from 350 to 600 m. Besides, tracks with vertical and horizontal irregularities were also studied. Thus, calculations for more than 1,500 interaction variants were made.

The vertical and horizontal forces from intermediate fastenings, irregular elastic track, track operational life, combination of irregular layout and profile were analyzed. It was established that while applying the fastening TREP the level of spatial dynamic forces was similar to that on the track with the KB fastenings. And the level of forces decreased by 8–12 % when the fastenings TREP-Sh were applied.

The further research was aimed at defining the mode of deformation of the rail foundation with models designed with finite element methods. Models of rails, elastic clamps, pads, bottom layers, reinforced-concrete sleepers and ballast were developed. The mode of deformation for these elements was calculated; the calculation was based on the interaction forces which demonstrated that the rail foundation with the fastening

TREP was workable for the rolling stock of axle loads up to 300 kN along straight sections and for curves of radii 350 m and more.

The fastenings TREP–Sh are recommended for sections with rolling stock capacity of up to 450 kN.

In the **Fourth Chapter** the adequacy of the proposed models and the methods of calculations were verified by comparing the calculation and experimental data. Experiments were carried out on the section of the non–public railway, consisting of straight and curved sections with a radius of 460 m. According to the study, there is a specially formed train consisting of the locomotive TGM–4, two flat cars 13–401 and two dump trucks BK–85. Wagon cars and dump trucks were loaded with bitstones to carriages. The speed of the train changed from 3 to 33 km/h. During testing, modern microprocessor and digital technologies, as well as a laptop for storing and further processing information were used. During the experiment, the vertical and horizontal forces, which act on the sleepers and the stresses that appear on the top bed of the sleepers, were measured. In addition, horizontal transverse forces were measured using the Schlumpf method. In order to exclude the influence of the strains and vibrations of the ballast and the earthen cloth on the measurements of the movement of the elements of the path, a video–digital system was used that allows measuring the movements of the rails and sleepers with an accuracy of 0.03 mm in real time with an accuracy of 10^{-3} s. Compared the results of calculations and experiments; they showed that the developed models and methods were adequate to the actual operating conditions of the TREP rail. The difference did not exceed 9.6%.

The **Fifth Chapter** the adequacy of the proposed models and the methods of calculations were verified by comparing the calculation and experimental data. Experiments were carried out on the section of the non–public railway, consisting of straight and curved sections with a radius of 460 m. According to the study, there is a specially formed train consisting of the locomotive TGM–4, two flat cars 13–401 and two dump trucks BK–85. Wagon cars and dump trucks were loaded with bitstones to carriages. The speed of the train changed from 3 to 33 km / h. During testing, modern microprocessor and digital technologies, as well as a laptop for storing and further

processing information were used. During the experiment, the vertical and horizontal forces, which act on the sleepers and the stresses that appear on the top bed of the sleepers, were measured. In addition, horizontal transverse forces were measured using the Schlumpf method. In order to exclude the influence of the strains and vibrations of the ballast and the earthen cloth on the measurements of the movement of the elements of the path, a video–digital system was used that allows measuring the movements of the rails and sleepers with an accuracy of 0.03 mm in real time with an accuracy of 10^{-3} s. Compared the results of calculations and experiments; they showed that the developed models and methods were adequate to the actual operating conditions of the TREP rail. Differences in the determination of horizontally transverse forces are within the limits of 8.5%, when determining the forces acting on the sleepers in the boundaries of 9.4%, when determining the stresses on the upper bed sleepers in the boundaries of 9.6%.

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

Список публікацій здобувача:

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.

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.

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.

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.

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.

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.

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

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.

ЗМІСТ

Анотація	2
Вступ	21
Розділ 1 Аналіз технічних та експлуатаційних умов роботи залізничних колій незагального користування	25
Норми проектування колій незагального користування	25
Типи і конструкції верхньої будови колії	27
Аналіз розвитку теорій розрахунків колії	42
Перспективні конструкції проміжних скріплень для умов промислового залізничного транспорту	47
Висновки й завдання досліджень	54
Розділ 2 Просторові жорсткості рейкових опор при залізобетонних шпалах і перспективних проміжних скріпленнях	57
Жорсткість рейкових опор при застосуванні проміжних скріплень типу ТРЕП, ТРЕП–Ш	57
Просторова жорсткість проміжних скріплення ТРЕП	58
Вертикальна жорсткість проміжних скріплення ТРЕП	58
Горизонтальна поперечна жорсткість проміжного скріплення ТРЕП	61
Жорсткість скріплення ТРЕП при крученні рейки	63
Просторова жорсткість проміжного скріплення типу ТРЕП–Ш	65
Вертикальна жорсткість вузла проміжного скріплення ТРЕП–Ш	65
Горизонтальна поперечна жорсткість проміжного скріплення ТРЕП–Ш	67
Жорсткість проміжного скріплення ТРЕП–Ш при крученні рейки	69
Експериментальне визначення жорсткості проміжних скріплень ТРЕП та ТРЕП–Ш	72

	18
Пружні характеристики пружних прокладок	72
Жорсткість металевих упорів при бічних переміщеннях рейок	80
Жорсткість пружних металевих клем	82
Складові вертикальної та горизонтальної поперечної жорсткостей рейкових опор, яка залежить від переміщень шпал	83
Просторова жорсткість рейкових проміжних скріплень ТРЕП та ТРЕП–Ш, жорсткість рейкових опор та її зміни під час експлуатації	91
Висновки за розділом	93
Розділ 3 Чисельні дослідження взаємодії колії й рухомого складу при застосуванні проміжних скріплень ТРЕП та ТРЕП–Ш	94
Теоретичні основи чисельних досліджень	94
Розрахункова схема підсистеми «екіпаж»	95
Вертикальні силові й кінематичні зв'язки підсистем «екіпаж» і «колія»	99
Силові й кінематичні зв'язки підсистеми «екіпаж і колія» в горизонтальній площині	101
Приведена вертикальна жорсткість рейкової нитки	104
Приведена горизонтальна жорсткість рейкової нитки	108
Алгоритм і програма розрахунків математичної моделі динамічної системи «екіпаж–колія»	112
Аналіз розрахунків сил взаємодії колії та рухомого складу при застосуванні проміжного скріплень ТРЕП та ТРЕП–Ш	116
Висновки за розділом	130
Розділ 4 Чисельні та експериментальні дослідження напруженого стану елементів підрейкової основи при застосуванні скріплень ТРЕП та ТРЕП–Ш в умовах залізниць незагального користування	132
Загальні положення та допущення розрахунків	132

Моделювання елементів підрейкової основи методом скінченних елементів	134
Висновки за розділом	148
Розділ 5 Експериментальні дослідження роботи колії при застосуванні проміжних скріплень ТРЕП	149
Мета та завдання експериментальних досліджень	149
Визначення зусиль і переміщень елементів колії	149
Результати експериментальних досліджень роботи залізобетонних шпал ША–Т в умовах колій незагального користування	154
Висновки за розділом	160
Загальні висновки	162
Список використаних джерел	165
Додаток А. Технічні характеристики екіпажів і колії	186
А.1 Технічні характеристики екіпажів і колії, прийняті в розрахунках	186
А.2 Технічні характеристики екіпажів і колії, прийняті в розрахунках	189
Додаток Б. Результати розрахунків сил взаємодії	190
Б.1 Результати розрахунків сил взаємодії спеціального та спеціалізованого рухомого складу та колії, що має горизонтальні геометричні нерівності плану та профілю (початок 40 м). Епюра – 1840, шпали – залізобетонні, початок перехідної кривої – 15 м, довжина перехідної кривої – 15 м	190
Б.2 Результати розрахунків сил взаємодії рухомого складу й колії, що має горизонтальні геометричні нерівності (початок 40 м). Епюра – 1840, шпали – залізобетонні, початок перехідної кривої – 15 м, довжина перехідної кривої – 15 м	194
Додаток В. Результати розрахунків сил взаємодії	196
В.1 Результати розрахунків сил взаємодії спеціального та	

спеціалізованого рухомого складу та колій незагального користування	196
В.2 Результати розрахунків сил взаємодії спеціального та спеціалізованого рухомого складу й колії, що має горизонтальні геометричні нерівності плану та профілю (початок 40 м). Епюра –1840, шпали – залізобетонні, початок перехідної кривої – 30 м, довжина перехідної кривої – 50 м	197
Додаток Г. Результати розрахунків сил взаємодії	209
Г.1 Результати розрахунків сил взаємодії спеціального та спеціалізованого рухомого складу та колій незагального користування	209
Г.2 Результати розрахунків сил взаємодії спеціального та спеціалізованого рухомого складу й колії, що має горизонтальні геометричні нерівності плану та профілю (початок 40 м). Епюра – 1840, шпали – залізобетонні, початок перехідної кривої – 30 м, довжина перехідної кривої – 50 м	210
Додаток Д. Акти впровадження та патенти України на корисну модель	227
Додаток Е. Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації	233

ВСТУП

Актуальність теми. Колії незагального користування є складовою частиною транспортної системи України. Вантажонапруженість колій незагального користування може сягати до 40 млн т бруто/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 різбових 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 негайного користування – метод скінченних елементів.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблено практичні рекомендації щодо використання проміжних рейкових скріплень типів ТРЕП та ТРЕП–Ш в умовах колій негайного 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 негайного 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.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДБН В.2.3–19–2008. Залізничні колії 1520 мм. Норми проектування (укр).– Чинний від 2008–08–01. Київ: *Міністерство регіонального розвитку та будівництва України*. 2008. 168 с.
2. СНиП:2.05.07–91*. Промышленный транспорт. Чинний від 1992–07–01. Москва: *Проектный научно–исследовательский институт промышленности транспорта (Промтрансниипроект)*, 1992. 68 с.
3. СНиП:32.01.95. Железные дороги колеи 1520 мм. Москва: *Стройиздат*, 1987. 72 с.
4. Правила технічної експлуатації міжгалузевого промислового залізничного транспорту України. Чинний від 2009–10–01. Київ: *Міністерства транспорту та зв'язку України*. 2009. 65 с.
5. ЦП–0150. Технічні вказівки з використання старопридатних матеріалів верхньої будови колії на залізницях України. Чинний 2006–03–24. Київ: *Держ. адмін. залізн. транспорту України*, 2006.– 56 с.
6. Яковлев В. Ф. Специальные конструкции пути промышленных железных дорог. *Ленинград: ЛИИЖТ*, 1981. – 43 с. – (монографія)
7. Железнодорожные пути металлургических заводов/ М. А. Фришман та інші. Москва: *Металлургия*, 1975. – 272 с.
8. Железнодорожный путь и станции промышленных предприятий / В. И. Ангелейко та інші. Киев: *Вища школа*, 1988. – 320 с. (учебник для ВУЗов)
9. Содержание и ремонт железнодорожных путей в черной металлургии / А. Н. Перцев та інші. Москва: *Металлургия*, 1986.– 228 с. (учебное пособие)
10. Путь и путевое хозяйство промышленных железных дорог./ В. Ф. Яковлев та інші. Москва: 1990.– 341с. (уч. пособие)
11. Бидер А. В., А. В. Глазов, В. П. Нетусов Анализ находящихся в эксплуатации железобетонных шпал. Москва: *Промтранспорт*, 1974– 130 с.
12. Вагоны. Конструкция, теория и расчет / под ред. Л. А. Шадура. Москва: *Транспорт*, 1973– 439 с. (учебник)

13. П.В. Шевченко, А. П. Горбенко. Вагоны промышленного железнодорожного транспорта. Киев.: *Вища школа*, 1980.– 224 с.
14. Вагоны СССР [каталог–справочник К7–68]. М.: *НИИИнф–ш*, 1969.–176 с.
15. Вагоны СССР [каталог–справочник 18–8–74]. М.: *НИИИнф.*, 1975.–198 с.
16. Вагоны СССР [каталог–справочник 2–6–84]. М.: *НИИИнф.*, 1985.–212 с.
17. Дерибаса А. Т. Промышленный транспорт. М.: *Тр–рт*, 1974.– 559 с.
18. Скиба И. Ф. Вагоны. М.: *Транспорт*, 1979.– 302 с. (*мон.*)
19. Даренський О. М. Розвиток теоретичних основ і методів дослідження: дисертація д.т.н: 05.22.06/УкрДАЗТ.Харків, – 2012. 550 с.
20. Холодецкий А. А. Исследование влияния внешних сил на верхнее строение железнодорожного пути. Киев: *Тип. Литогр. И.Н. Кушнеров и Ко*–1896.– №12.– С.507–517, 1897.–№ 1.– С.8–22, №2.– С.66–76, №3.–С.124–131, №4.– С.183–193. (*Журнал инженер*)
21. Смирнов С. Н. Курс подвижного состава и тяги. С–Петербург: *Институт инженеров путей сообщения*, 1895. – 439 с. (*монография*)
22. Цеглинский К. Ю. Железнодорожный путь в кривых. Москва:1903.– 155 с. (*монография*).
23. Инженерный совет / Журнал комиссии подвижного состава, тяги и мастерских. Москва:1910.–№8.– С.12–24; № 26.– С.34–45,1911; № 11.– С.64–85.
24. Хейман Х. Графическое определение центра трения. *Organ f.d.F.* 1913.– №6.– С.22–31; №7.– С.17–29; №9.– С.45–58.
25. Матюшин Н. Т. Динамические напряжения железнодорожного пути в кривых. Москва:1917.– 127 с. (*монография*)
26. Петров Н. П. Влияние поступательной скорости на напряжения в рельсе. С–Петербург: *Записки РГО, книга 2–я*. 1903.– 89 с. (*монография*)
27. Петров Н. П. Постепенное развитие и современное состояние вопроса о напряжениях, вызываемых в рельсе вертикальными силами. С–Петербург: *Железнодорожное дело*.– 1904.–№5.–С.43–51.

28. Петров Н. П. Напряжения в рельсах от изгибов в вертикальной плоскости и вероятность определения этих напряжений опытами. С–Петербург: 1906.– 107 с. (монография)
29. Петров Н. П. Напряжения в рельсах от вертикальных давлений катящихся колес. Влияние скорости и неправильного вида колес. С–Петербург: 1907.– 120 с. (монография).
30. Петров Н. П. К вопросу о прочности рельс. С–Петербург: 1912.– 84 с. (монография).
31. Васютынский А. Л. Наблюдения над упругими деформациями железнодорожного пути. *Сборник института инженеров путей сообщения*. С–Петербург: 1899.– 130 с.
32. Тимошенко С. П. К вопросу о вибрации рельсов. Известия электротехнического института. Москва: 1905–т.ХІІІ,– С.21–37.
33. Тимошенко С. П. О динамических напряжениях в рельсах. *Вестник инженера*. Москва: 1915.–№4.– С.22–32.
34. Гордыцкий–Цвирко А. М. О динамических расчетах верхнего строения пути. *Журнал МПС*. Москва: 1905.–№1.– 20 с.
35. Method of analysis of statical and Dinamical stresses in Rail. S.P.Timoshenko. Congress for applicd Mechanis Zurich, 1926–26p., Proccedings of the 2 nd International.
36. Гордыцкий–Цвирко А. М. Взаимодействие пути и подвижного состава железных дорог. Москва: *Гострансиздат*, 1931.– 215с.(монография)
37. Степкин С. А. О местных напряжениях в рельсах при кручении. *Сборник трудов ЛИИЖТ*. Ленинград: 1937.–№127.– С.47–69.
38. Шахунянц Г. М. Расчеты элементов верхнего строения пути на прочность. Москва: *МИИТ*,1939.– 154 с. (учебник)
39. Голованов Д. Г. Работы рельсов в кривых. Л.: ЛИИЖТ,1941.– 86 с. (мон.)
40. Королев К. П. Вписывание паровозов в кривые участки пути. *Труды ЦНИИ*. Москва: 1950.–№ 37.– С.47–76.

41. Снитко Н. К. Расчет рельса на горизонтальные силы с учетом скручивания методом начальных параметров. *Информационный бюллетень Военно-транспортной академии*. 1950.– №26.– С.54–88.

42. Ангелейко В. И. О предпосылках для разработки наставления по расчету верхнего строения пути. *Техника железных дорог*.– 1949.– №6.– С.12–24.

43. Ангелейко В. И. К вопросу о влиянии поперечных горизонтальных сил на напряжения в рельсе. Харьков: ХИИТ, 1953.– 131 с.

44. Ангелейко В. И. О влиянии поперечных горизонтальных сил на напряжения в рельсе. Харьков: *Труды ХИИТ, Трансжелдориздат*.– 1956.–№26. – С.112–142.

45. Ангелейко В. И. Вывод основных уравнений для расчета рельса в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Харьков: *ХИИТ*,1958.– 38 с. (монография)

46. Ершков О. П. Изгиб и кручение рельса под действием горизонтальных поперечных сил. *ЦНИИ МПС*.– 1951.– 26 с. (автореферат диссертация на соискание ученой степени к.т.н.)

47. Ершков О.П. Характеристики пространственной упругости рельсовой нити. *Труды ВНИИЖТ*.–М.:*Трансж–издат*.– 1960.–№192.– С.59–101.

48. Ершков О. П. Установление коэффициентов, учитывающих боковой изгиб и кручение рельсов. *Труды ЦНИИ*.– М.: *Трансж–здат*.–1955.–№97.– С.31–59.

49. Ершков О. П. Расчет рельса на действие боковых сил в кривых. *Труды ВНИИЖТ*.– М.: *Трансжелдориздат*.– 1960. №192.– С.59–101.

50. Ершков О. П. Определение боковых давлений вагонов на путь в кривых / О. П. Ершков // *Вестник ВНИИЖТа*,– 1961.– №8.– С.14–22.

51. Ершков О. П. Построение графиков удельных характеристик и графиков паспортов вписывания железнодорожных экипажей (теоретическая часть). *Труды ЦНИИ*.– М.: *Трансжелдориздат*.– 1963.– №268.–215с.

52. Ершков О. П. Расчет поперечных горизонтальных сил в кривых. *Труды ВНИИЖТ*.– М.: *Транспорт*.– 1966.–№301.

53. Петров Н. П. Влияние поступательной скорости на напряжения в рельсе. *Записки РТО*, книга 2-я. С-Петербург: 1903.– 89 с. (монография)
54. Петров Н. П. Напряжения в рельсах от вертикальных давлений катящихся колес. Влияние скорости и неправильного вида колес. С-Петербург: 1907.– 120 с. (монография)
55. Петров Н. П. К вопросу о прочности рельс. С-Петербург: 1912.– 84 с. (монография)
56. М. Бромберг, М. Ф. Вериги, В. Н. Данилов Взаимодействие пути и подвижного состава: навч. посіб / под ред. М.А.Фришмана. Москва: *Трансжелдориздат.*–1956.–280 с.
57. Шахунянец Г. М. Устройство железнодорожного пути, т. III. Москва: *Трансжелдориздат*, 1944.– 420 с. (монография)
58. Шахунянец Г. М. Расчеты верхнего строения пути. Москва: *Трансжелдориздат*, 1951.– 264 с. (монография)
59. Шахунянец Г. М. Железнодорожный путь. Москва: *Транспорт*, 1987.– 479 с. (монография)
60. Вериги М. Ф. Определение динамического модуля пути. *Техника железных дорог.*– 1949.– №12.– С.23–24.
61. Вериги М. Ф. О сопротивлении движению колеса по рельсу, обусловленному рассеянием энергии в железнодорожном пути. *Техника железных дорог.*– 1950.– № 8.– С.13–15.
62. Вериги М. Ф. Метод определения массы пути и сил трения в его основании, взаимодействующих с движущимся по рельсу колесом. *Техника железных дорог.*– 1951.– №6.– С.17–18.
63. Вериги М. Ф. Вертикальные силы, действующие на путь при прохождении подвижного состава. *Труды ВНИИЖТ.*– М.:*Трансжелдориздат.*– 1955.– №97.– С.25–288.
64. Е. І. Даніленко, В. В. Рибкін Правила розрахунків залізничної колії на міцність в стійкість. Київ: *Транспорт України.*– 2006.– 168 с.

65. Е. І. Даніленко, М. Д. Костюк, О. М. Жученко Сучасні рейкові пружні скріплення і особливості вимог до вітчизняних скріплень на залізобетонних шпалах. *Залізничний транспорт України*. Київ: 2002.–№6.– С.3–12.

66. Е. І. Даніленко, М. Д. Костюк, О. М. Жученко Вибір раціональних параметрів пружності для вітчизняних скріплень на залізобетонних шпалах. *Збірник наукових праць КУЕТТ, «Трансп–тні системи і технології»*. К.:КУЕТТ: – 2003.–№1–2.– С.4–17.

67. Даніленко Е. І. Дослідження проміжних рейкових скріплень для залізобетонних шпал на витривалість при впливі циклічного навантаження . *Збірник наукових праць КУЕТТ, серія “Транспортні сис. і тех.”*. К.:КУЕТТ:– 2005.–С.26–38.

68. Даніленко Е. І. Забезпечення поперечної стійкості колії проти розпирання при сучасних конструкціях проміжних рейкових скріплень. *Збірник наукових праць ДЕУТ, серія “Техніка, технології”*. К.:КУЕТТ:– 2008.–№12.– С.40–41.

69. Неровности на крестовинах Р65 1/11 с непрерывной поверхностью катания и обоснование норм износа / Э. И. Даниленко та інші, за ред. Э. И. Даниленко. *Межвузовский сборник научных трудов*. Днепропетровск: ДИИТ,– 1995,–№6,– С.63–75.

70. Е. І. Даніленко, В. М. Молчанов Сучасний підхід до визначення сил взаємодії колії та рухомого складу в зоні стрілочного перевodu. *Вістник Дніпроп. Нац. Унів. залізничного транспорта*. Д.: 2003.– №2.– С.6–10.

71. Е. І. Даніленко, В. Д. Бойко, В. Г. Вербицький Графоаналітичний метод визначення динамічних сил взаємодії в зоні нерівностей на хрестовинах з залізобетонними брусами на основі аналізу їх параметрів. *Збірник тез доповідей 3–ої Науково–практичної конференції КУЕТТ, “Техніка, технол.”*– К.: КУЕТТ:– 2005, 6 с.

72. Е. І. Даніленко, В. Г. Бойко Вертикальні нерівності на хрестовинах у зоні перекочування за різних умов експлуатації. *“Проблеми та перспективи розвитку транспортних: техніка, технологія, економіка і управління”*. *Тези доповідей 2–ої науково–практичної конференції КУЕТТ*,– К.:КУЕТТ– 2004.– 24 с.

73. Э. И. Даниленко, С. Д. Тараненко, А. П. Кутах Стрелочные переводы железных дорог Украины (Технология производства, эксплуатации в пути, расчета и проектирования). К.: Киевский институт инженеров железнодорожного транспорта.– 2001.– 296 с.

74. Дослідження повздовжньої стійкості рейкошпальної решітки при різних конструкціях проміжного рейкового скріплення / Е.І. Даніленко та інші, за ред. Е.І. Даніленко. *Збірник тез доповідей 2-ої науково-практичної конф. КУЕТТ.*– К.: КУЕТТ– 2004.– 34 с.

75. Э. И. Даниленко, В. О. Демченко, В. Г. Вербицкий. Анализ влияния профиля поверхности катания на устойчивость движения колесной пары. *“Проблеми та перспективи розвитку транспортних: техніка, технологія, економіка і управління”.* Тези доповідей 2-ої науково-практичної конференції КУЕТТ.– К.: КУЕТТ– 2004.– 24 с.

76. Даниленко Э. И. Об оптимизации размерных соотношений в паре “колесо-рельс”. *Залізн. Транс. України.*– 2006.– №6.– С.58–59.

77. Даниленко Э. И. О разработке новой редакции “Правил инженерных расчетов пути на прочность, устойчивость и долговечность для железных дорог Украины”. *“ Проблеми та перспективи розвитку транспортних технологій: техніка, технологія, економіка і управління”.* Тези доповідей 2-ої науково-практичної конференції КУЕТТ.– .:КУЕТТ– 2004.– 30 с.

78. Влияние осевой нагрузки вагонов на динамические показатели напряженно-деформированного состояния элементов пути. В. В. Рыбкин та інші під ред. В. В. Рыбкина. *Труды ДИИТа*–1990.–№278/31– С.9–15.

79. Инженерний розрахунок залізничної колії на міцність. В.В. Рибкін та інші під ред. В.В. Рибкін. *Залізничний транспорт України.*– 2005.– №2.– С.40– 44.

80. В. В. Рыбкин, Н. П. Сысын Методика экспериментального определения вертикальной упругости пути под фактически действующими динамическими нагрузками от подвижного состава. *Тезисы 65 Международной научно-практической конференции “Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта”* – Днепропетровск.: КУЕТТ.2005.– №2,– 183 с.

81. Теоритичні дослідження впливу пружності проміжних рейкових скріплень на деформативну роботу колії. В. В. Рибкін та інші. *Тези XVI Міжнародної науково–практичної конференції “Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту”*, – Дніпроп. – 2006,–№1.– 188 с.

82. В.В.Рыбкин, А.М.Патласов Математическая модель отказа рельсов по усталостным дефектам. *Труды ДИИТа*– 1990.– №278/31– С.52–58.

83. Рыбкин В. В. Влияние изменения спектра осевых нагрузок на усталостную прочность рельсов. *Труды ДИИТа*– 1991.– №282/32.– С.4–10.

84. В. В. Рибкін, М. А. Арбузов Вимірювання нейтральної температури рейкової пліті безстикової колії. *Вістник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.*– 2005.–№2.– С.78–80.

85. В. В. Рибкін, М. А. Арбузов Порівняльний аналіз методів контролю за повздовжніми напруженнями в рейкових плітях безстикової колії. *Вістник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.*– 2007.№17.– С.107–109.

86. В. В. Рибкін, М. П. Сисин, О. С. Набоченко Моделювання роботи безстикової колії у поперечному напрямку під дією повздовжніх температурних сил. *Збірник наукових праць УкрДАЗТ* – 2008.–№91.– С.33–43.

87. В. В. Рибкін, В. А. Лисак Особливості математичної моделі при розрахунку стійкості безстикової колії. *Тезиси 69 Международной научно–практической конференции “Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта”*.– Днепропетровск.: КУЕТТ.2009,– №2.– 159 с.

88. В. В. Рибкін, В. А. Лисак Розробка математичної моделі для розрахунку стійкості безстикової колії чисельними методами. *Тезиси 70 Международной научно–практической конференции. “Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта”*. – Днепропетровск.: КУЕТТ, 2010.– №5,– С.191–192.

89. Н. В. Иволча, В. И. Климов Об инерционных свойствах пути при движении по нему постоянной силы. *Тр. ДИИТа.*–1975.–№167/16.–С.73–81.
90. Р. С. Липовский, В. Д. Данович Определение динамических параметров пути по экспериментальным частотным характеристикам. *Труды ДИИТа.*–1979.–№207/21.– С.70–77.
91. В. Н. Поньрко, Н. А. Пономаренко Оценки статистических характеристик приведенной массы пути. *Труды ДИИТа.*– 1979.– №204/21.– С.117–122.
92. Иволга Н. В. Запаздывание максимального прогиба рельса от точки приложения нагрузки как результат проявления неупругих сопротивлений пути. *Труды ДИИТа.*– 1982.– №223/24.– С.82–86.
93. Поньрко В. Н. К вопросу определения приведенной массы пути при нелинейной жесткости пути. *Тр. ДИИТа.*–1982.–№223/24.–С.86–92.
94. В. И. Климов, В. В. Рыбкин Статический расчет пути как балки на опорах с нелинейной жесткостью. *Тр. ДИИТ.*–1984.–№235/26.–С.3–8.
95. В. В. Рыбкин, А. К. Васильев Динамические вертикальные силы, действующие на рельс в зоне крестовины. *Труды ДИИТа*– 1982.–№223/24.– С.69–74.
96. Рыбкин В.В. Моделирование сил трения в расчетах пути / В. В. Рыбкин, В. Н. Недашковский// *Труды ДИИТа* – 1989.– №268/30– С.56–61.
97. В. В. Львовский, М. А. Фришман Математическая модель подрельсового основания для исследований взаимодействия пути и подвижного состава. *Труды ДИИТа.*– 1977.– №188/18.– С.69–81.
98. В. М. Львовский, Н. П. Настечин Колебания балки лежащей на двухслойном неравножестком основании, под. действием сосредоточенных подвижных грузов. *Труды ДИИТа.*– 1977.– №188/18.– С.44–48.
99. Шульман З. А. Исследование силового воздействия движущейся вертикальной нагрузки на путь. *Труды ДИИТа.*– 1980.– №209/22.–С.54–68.
100. В. Д. Данович, В. Н. Поньрко Колебания рельса как балки бесконечной длины, лежащей на упругом основании, с учетом неупругих сопротивлений. *Труды ДИИТа.*– 1984.– №235/26.– С.59–65.

101. Вериго М. Ф. Расчет напряжений в балластном слое и на основной площадке земляного полотна. *Труды ВНИИЖТ.* – М.: *Трансжелдориздат.*–1955.– №97.– С.326–353.

102. Вериго М. Ф. Основные принципиальные положения разработки новых правил расчета железнодорожного пути на прочность с использованием ЭВМ. *Труды ВНИИЖТ.*– М.–1967.– №343.– С.106–150.

103. Коган А. Я. Колебания рельса при движении по нему переменной нагрузки. *Вестник ВНИИЖТ.*– 1968.–№1.– С.7–12.

104. Коган А. Я. Вертикальные динамические силы, действующие на путь. *Труды ЦИИТ МПС.*– М.:*Транспорт.*– 1969.– 206 с.

105. Расчеты железнодорожного пути на вертикальную динамическую нагрузку / под ред. А. Я. Когана. – *Труды ВНИИЖТ.*–1973.– №502.– 80 с.

106. М. Ф. Вериго, А. Я. Коган Взаимодействие пути и подвижного состава. М.: *Транспорт.*– 1986.– 599 с.

107. Коган А. Я. Динамика пути и его взаимодействие с подвижным составом. М.: *Транспорт.*– 1997.– 326 с. (*монография*)

108. А. Я. Коган, Г. И. Матусовский Влияние конструкции и состояния пути на устойчивость колеса. *Вестник ВНИИЖТ.*– 1982.–№8.– С.42–44.

109. А. Я. Коган, В. М. Гаврилов Математическая модель расчета контактно–усталостной долговечности рельсов. *Вестник ВНИИЖТ.*– 1983.– №2.– С.46–48.

110. А. Я. Коган, А. А. Верхоткин Исследование спектральных характеристик нестационарных процессов в верхнем строении пути. *Вестник ВНИИЖТ.*– 1984.– №с.– С.45–48.

111. Определение поперечных сил, действующих на вагоны в случае возникновения в поезде значительных продольных сил / Е. Н. Блохин та інші под ред. Е. Н. Блохин. *ВНИИЖТ.*–1987.– № 6.С.34–36.

112. А.Я.Коган, М.А.Левинзон Метод решения задачи определения параметров вписывания в круговую кривую грузового вагона, сжатого продольными силами в поезде. *Тр. НИИЖТ.*–Новосибирск,–1988.–С.83–87.

113. А. Я. Коган, А. А. Львов, М. А. Левинзон Характеристики подвижного состава и спектральных неровностей пути для скоростей до 350 км/ч. *Вестник ВНИИЖТ.*– 1991.– №3.– С.10–14.
114. А. Я. Коган, Ю. Л. Пейч Расчет нестационарного напряженно–деформированного состояния элементов конструкции пути в зоне стыка рельсов. *Вестник ВНИИЖТ.*– 2002.– №с.– С.31–39.
115. А. Я. Коган, И. В. Полищук Об основных параметрах, определяющих устойчивое движение экипажей. *Вест. ВНИИЖТ.*–2005.–№2.– С.4–6.
116. Коган А. Я. Некоторые особенности воздействия на путь подвижной нагрузки. *Вестник ВНИИЖТ.*– 2005.– №3.– С.16–19.
117. А. Я. Коган, Э. Д. Загитов Определение относительной скорости неупругого скольжения колеса по рельсу. *Вестник ВНИИЖТ.*–2006.– №6.–С.19–21.
118. А. Я. Коган, Е. В. Филатов Определение сил продольного трения скольжения в контакте колесо–рельс на базе программного комплекса “ВЭИП”. *Проблемы путевого хозяйства Восточной Сибири. Сборник научных трудов ИрГУПС*– Иркутск, вып.2.– 2004. С.19–29.
119. Вериго М.Ф. Динамика вагонов. –М.:ВЗИИТ,1971.–175с. (конс. лекц.)
120. М. М. Соколов, В. Д. Хусилов, В. Д. Минкин Динамическое нагружение вагонов. М.: Транспорт.– 1981.– 207 с.
121. В. Д. Хусидов, Г. И. Петров.–. Разработка математического и программного обеспечения расчетов движения четырехосного и восьмиосного вагонов в кривых. М.: *МИИТ.*– 1991.– 46 с.
122. Вериго М. Ф. Взаимодействие пути и подвижного состава в кривых малого радиуса и борьба с боковым износом рельсов и гребней колёс. М.: *ПКТБ ЦП МПС.*– 1997.– 207 с.
123. Волошко Ю. Д. Расчет рельса как балки на дискретных упругих опорах со случайными характеристиками. *Труды ДИИТ.*– 1977–№196/19.– С.93–98.
124. Першин С. П. Вертикальная жесткость пути и его надежность. *Путь и путевое хозяйство.*– 1996.– №8.– С.8–10.

125. Клименко Л. В. Расчет пути с учетом неравноупругости подрельсового основания. *Путь и путевое хозяйство.*– 2005.– №6.– С.34–35.
126. А. Керр, А. Зарембски Новые уравнения для реакции пути на шпалах в поперечной плоскости. *Железные дороги мира.*– 1987.– №10.– С.52–58.
127. В. Ф. Яковлев, И. И. Семенов Исследование сил взаимодействия колеса и рельса с учетом нелинейных односторонних связей и переменных масс. *Труды ЛИИЖТ.*– 1964.– №238.– С.46–95.
128. В. Ф. Яковлев, И. И. Семенов Исследование упруго–динамических характеристик пути и определение динамических вертикальных сил в крестовине. *Труды ЛИИЖТ.*– 1967.–№222.–С.17–29.
129. В. Ф. Яковлев, И. И. Семенов, Н. С. Никеров Расчет рельсошпальной решетки железнодорожного пути как пространственной системы. *Труды ЛИИЖТ.*– 1969.– №296.– С.3–15.
130. Никеров Н. С. К вопросу о пространственной работе рельсошпальной решетки. *Труды ЛИИЖТ.* – 1969.– №296.– С.15–29.
131. К. Д. Белых, П. П. Гонтаровский Вариационный метод расчета рельса как пространственной конструкции верхнего строения пути. *Труды ДИИТ.*– 1972.– №138.– С.129–138.
132. Белых К. Д. К вопросу расчета рельса по методу предельных состояний на базе пространственной расчетной схемы в условиях промтранспорта. *Труды ДИИТ.*– 1975.– №167/16.– С.113–119.
133. К. Д. Белых, М. К. Уманов, Г. Н. Малышко О нагрузках от колёс при расчете железнодорожного пути. *Металлургическая и горнорудная промышленность.*– 1976.№5.– С.78– 79.
134. К. Д. Белых. Теория расчета и исследование напряженно–деформированного состояния железнодорожного пути на металлургических заводах. Ленинград: ЛИИЖТ,1979.41с., *автореферат диссертация на соискание ученой степени д. т. наук.*
135. Яковлев В. Ф. Измерение деформаций и напряжений деталей машин. М.: Машгаз,1963.– 192 с. (*монография*)

136. Яковлев В. Ф. Исследование контактных напряжений в элементах колеса и рельса при действии вертикальных и касательных сил. *Труды ЛИИЖТ.*– №187.– С.3– 89.

137. Яковлев В. Ф. О применимости теории Герца–Беляева к расчету контактных напряжений в боковых выкружках головки рельса и гребня колеса. *Труды ЛИИЖТ.*– 1963.– №210.– С.121–123.

138. В. Ф. Яковлев, И. А. Кудрявцев Влияние схемы приложения нагрузок на контактную выносливость рельсов. *Вест. ВНИИЖТ.*– 1977.–№1.– С.33–36.

139. Смирнов М. П. Напряжения в зоне перехода головки в шейку рельса при действии боковой силы. *Тр.ЛИИЖТ.*–1968.– №280.– С.49–62.

140. Даренський О. М. Теоретичні та експериментальні дослідження роботи залізничних колій промислового транспорту. – Харків: УкрДАЗТ, 2011.– 204с. (монографія)

142. В. И. Англеико, А. Н. Даренский, Ю. Т. Ерофеев Определение возможностей укладки бесстыкового пути на уклонах более 30‰ на путях предприятий Минчермета СССР . Отчеты о НИР N ГРО 1870087056 . *ХИИТ*, Харьков,1990– 90с.

143. О. М. Даренський, Н. В. Бугаєць Оцінка впливу на колію поздовжніх сил, які виникають в поїзді в умовах промислового транспорту. *Збірник наукових праць УкрДАЗТ.*– 2006–№72.– С.119–124.

144. О. М. Даренський, Н. В. Бугаєць Експериментальне визначення коефіцієнтів постілі шпал в умовах промислового залізничного транспорту. *Збірник наукових праць УкрДАЗТ.*– 2011.– №127.– С.34–36.

145. Даренський О. М. Умови контактування коліс і рейок в горизонтальній площині. Силкові і кінематичні зв'язки екіпажа і колії. *Зб.наук. праць УкрДАЗТ.*– 2010.– №113.– С.171–177.

146. О. М. Даренський, В. Г. Вітольберг Експериментальне визначення пружних характеристик прокладок проміжних скріплень КБ. *Зб.наук. праць УкрДАЗТ.*– 2007.– №87.– С.172 – 178.

147. О. М. Даренський, В. Г. Вітольберг Експериментальне визначення пружних характеристик елементів проміжного скріплення КПП –5. *ДонНІИЖТ Збірник наукових праць.* – 2008. – №13. – с.139–143.

148. Визначення сил опіру поперечному переміщенню залізобетонних шпал у баласті. О. М. Даренський та інші. *Зб.наук.праць УкрДАЗТ.* – 2008. – №91. – С.89–96.

149. О. М. Даренський, В. Г. Вітольберг Сопротивление промежуточных скреплений КБ и КПП–5 перемещениям рельсов в продольной плоскости. *ДонНІИЖТ Збірник наукових праць.* – 2008. – №14. – С.142 – 152.

150. О. М. Даренський, В. Г. Вітольберг Экспериментальное определение сопротивлений скреплений КБ и КПП–5 перемещениям рельсов в продольной плоскости. *ДонНІИЖТ Збірник наукових праць.* – 2008. – №15. – С.112 – 124.

151. О. М. Даренський, В. Г. Вітольберг Метод оценки надежности противоугольных систем. *Державний економіко–технологічний університет транспорту.* – 2009. – №14. – С.35 – 40.

152. О. М. Даренський, В. Г. Вітольберг, Н. В. Бугаєць Результати експериментальних робіт по визначенню сил опору залізобетонних шпал продольним переміщенням. *ДонНІИЖТ Зб.наук.пр.* 2009. – №17. – с.157 – 171.

153. О. М. Даренський, Н. В. Бугаєць, В. Г. Вітольберг Визначення приведеної вертикальної жорсткості рейкової нитки при використанні розрахункової схеми як балки на пружних опорах з випадковими характеристиками. *Зб.наук.праць УкрДУЗТ.* – 2010, №115 – с.151–161.

154. Вітольберг В. Г. Особливості опору залізобетонних шпал СБ 3–0 поздовжнім зсувам на коліях промислових залізниць. *Вісник Східноукраїнського національного університету ім.В.Даля.* – 2012. – №4(175). – С.53–58.

155. Darenskiy 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. 4, *ТЕКА*–Vol.12. –, с.36–40.

156. О. М. Даренський, Н. В. Бугаєць, В. Г. Вітольберг Розрахунок рейки як балки на пружних опорах під дією рухомого навантаження. *ДІТ, тези доповідей.*– 2010.– №14.– С.171.

157. О. М. Даренський, Н. В. Бугаєць Оцінка рівня впливу на колію поздовжніх сил, які виникають в поїзді в умовах промислового транспорту. *Збірник наукових праць УкрДАЗТ.*– 2006 – №72.– С.119 –124.

158. Бугаєць Н. В. Результати експериментальних робіт з визначення напружень у баластному шарі і на основній площадці земляного полотна в умовах промислового залізничного транспорту. *Зб.наук.праць УкрДАЗТ №119*, 2010р.

160. Бугаец Н. В. Экспериментальные исследования виброускорений основной площадки земляного полотна в условиях промышленного транспорта. *Сб.научных трудов, SWorld (РИНЦ SCIENCE INDEX).*– Том№3. – 2013. – С.77 – 81.

161. Бугаєць Н. В. Вплив експлуатаційних характеристик промислових залізниць на змінення коефіцієнта постілі шпал. *Вісник Східноукраїнського національного університету ім.В.Даля.*–2012.–№9(180)Ч.2–С.254–257.

162. Даренский А. Н., Клименко А.В. Моделирование взаимодействия пути и подвижного состава при дискретном подрельсовом основании в зоне рельсовых стыков. *Інформаційно–керуючі системи на залізничному транспорті*, №4, 2013, с.15 – 22.

163. Клименко А.В. Особенности расчетов взаимодействия пути и подвижного состава в зоне рельсовых стыков при дискретном подрельсовом основании. *Вісник Східно–українського національного університету імені Володимира Даля*, №9 (198) Луганськ, 2013.

164. Ржевский В. В. Открытые горные работы: В 2т.. – М.: Недра, 1985.–т.1 – 510с.2 – 550 с. (*монографія*)

165. Л.И. Иванова, Н. И. Карпущенко/Экспериментальные исследования перемещений элементов рельсошпальной решетки под поездной нагрузкой. *Труды НИИЖТ*–1971 №129.–С.61–67.

166. Взамен ГОСТ 252–75. Резина. Метод определения относительного гистерезиса и полезной упругости при растяжении. Введ. 01.01.77 до 01.01.87–М.: *Изд–во стандартов*, 1976.–5с.
167. Взамен ГОСТ 11053–75. Резина. Метод определения условно–равновесного модуля. Введ.01.01.78 до 01.01.88– М.:*Изд–во стандартов*, 1976.– 3с.
168. Даренский А. Н. Результаты лабораторных испытаний скрепления типа КБ. *ЦНИИТЭИ МПС.*– 1983.№2145.– С.11.
169. Ю. Д. Волошко, А. М. Микитенко Рельсовый путь с блочными железобетонными опорами. М.:Транспорт, 1980.– 176 с.
170. Купцов В. В. Современные конструкции и параметры промежуточных рельсовых скреплений для железобетонных шпал. Повышение надежности работы верхнего строения пути.М., 2000.– С.100 –129.
171. В. И. Дырда, А. В. Мазнецова, Т. Е. Твердохлеб Расчет силовых резинотехнических изделий, используемых в горном машиностроении. М.: *ЦНИИТ Энефтехим*,1991. – 64 с.
172. В. И. Дырда, Е. Ф. Чижик Резиновые детали в машиностроении. Днепропетровск: *Полиграфист*, 2000. – 584 с.
173. Карпущенко Н. И. Надежность связей рельсов с основание. М.: Транспорт, 1986.–150с. (*монография*)
174. Н. И. Карпущенко Н. И. Антонов Совершенствование рельсовых скреплений.. – Новосибирск: *Изд–во СГУСа*, 2003.– 300с.
175. Ю. Н. Ладыгин, Ю. М. Стойда Лабораторные испытания рельсовых скреплений. *Путь и путевое хозяйство.* – 2005.– №12.– С.8 –12.
176. «Розробка теорії та методів оптимізації несучих конструкцій транспортних споруд», 2008-2010 р ДР № 6110U002127
177. «Розробка теоретичних основ та експериментальні дослідження впливу струмів на бетон та розчин бетонних, залізобетонних та кам'яних конструкцій», 2010 р ДР № 0110U002128

178. «Розробка єдиного технологічного процесу роботи під'їзної колії ЗАТ «Донецьксталь» - металургійний завод» та станції Донецьк ДП Донецька залізниця 2010 р ДР № 0108U003761).

179. Васютынский А. А. Наблюдения над временными деформациями верхнего строения пути на Варшаво–Венской железной дороге. *Труды XV съезда инженеров сл. пути.*– М.: 1858. С .–12 – 17.

180. Стецкевич И. Р. Об опытах над устойчивостью верхнего строения пути при проходе поездов. *Протоколы XII совмещенного съезда инженеров службы пути русских железных дорог.*– М.:1894. – С.– 65 – 72.

181. Варызгин Е. С. Расчет сопротивления поперечному сдвигу по торцам шпал. *Вестник ВНИИЖТ.* 1970.– №8.– С.35 – 37.

182. В. И. Новикович, В. В. Ершов Определение сопротивления рельсо–шпальной решетки перемещениям поперек оси пути. *Вестник ВНИИЖТ.*– 1982.– №8.– С.48 – 50.

183. М. С. Боченков, В. А. Грищенко Определение стыковых и погонных сопротивлений температурным деформациям рельсовых плетей. *Железнодорожный путь на грузонапряженных участках* . Новосибирск: 1976. С.51 – 56.

184. В. Ф. Яковлев, И. И. Семенов, В. И. Абросимов Определение расчетных параметров пути в вертикальной и горизонтальной плоскостях с помощью вибромашины. *Труды ЛИИЖТа,*– Л.:ЛИИЖТ.–1971.–выпуск 326.– С.66 – 85.

185. Влияние эксплуатации и работ по содержанию бесстыкового пути на поперечное сопротивление балластного слоя / *Бюллетень технико–экономической информации / ЦНИИТЭИ МПС.*– М., 1972 №3.– С.55 – 58.

186. Кудрявцев Н. Н. Исследование динамики необрессоренных масс вагонов. М.:*Труды ВНИИЖТ.*–1965 – №287, – 168с.

187. Исследование неровностей колесных пар пассажирских вагонов / М.: *Труды ВНИИЖТ.* – 1979 – №608, –118 с.

188. Феодосьев В. И. Сопротивление материалов. учебник для вузов–9–е изд., перераб.– М.: Наука,–1996 – 512с.
189. Н. П. Бусленко, Ю. А. Шрейдер. Метод статических испытаний (Монте–Карло). М.: ГИФМЛ, 1961. – 216 с.
190. Даренский А. Н. Результаты определения пространственных неупругих сопротивлений железнодорожного пути деформациям для условий промышленного транспорта. ИКСЗТ.– 2010. – №6. – С. 78 – 82с.
191. Исследование работ железобетонных шпал на промышленном железнодорожном транспорте. под. ред. Б. А. Евдокимова. сб.трудов. М.: *Стройиздат*,1982 – 132 с.
192. Золотарский А. Ф. Железобетонные шпалы для рельсового пути : Золотарский А. Ф и др под ред. А. Ф. Золотарского. – М.: *Транспорт*, 1980. – 270с.
193. А. С. Городецкий, И. Д. Евзеров Компьютерные модели конструкций. Киев: *Факт*, 2005. – 343 с.
194. С. Ф. Клованич, Д. И. Безушко Метод конечных элементов в нелинейных расчетах пространственных железобетонных конструкций. ОНМУ, 2009. – 89 с.
195. Зенкевич О. К. Метод конечных элементов в технике.М.: *МИР*,1975.– 541 с.
196. А. С. Городецкий Метод конечных элементов в проектировании транспортных сооружений. А. С. Городецкий и др. М.: *Транспорт*, 1981. –142 с.
197. Шайдуров В. В. Многосеточные методы конечных элементов. – М.: *Наука*, 1989. – 349 с.
198. Программный комплекс“ ЛИРА – Windows” III1 – 8 / –К. : *НИИАС*, 1997. – 254 с.
199. Программный комплекс для расчета и проектирования конструкций ЛИРА версия 9.0: Книга1. Основные теоретические и расчетные положения /–К.: *НИИАС*, 2002.– 147с. (*руководство пользователя*)
200. Программный комплекс для расчета и проектирования конструкций ЛИРА версия 9.0:Книга 2.Путеводитель /– К.: *НИИАС*, 2002. – 189с. (*руководство пользователя*)

201. Программный комплекс для расчета и проектирования конструкций ЛИРА версия 9.0: Книга 3. Примеры расчета и проектирования / – К.:НИИАС, 2002. – 99с. (*руководство пользователя*)
202. Фадеева Г. Д., Паршина К. С., Родина Е. В. Железнодорожные шпалы: настоящее и будущее // Молодой ученый. — 2013. — №6. — С. 161-163.
203. В. Ф. Яковлев, Н. А. Шашков, Е. П. Дукин Исследования напряженного состояния верхнего строения пути от воздействия слитковозных платформ. *Труды ЛИИЖТ.* – 1973. – №360. – С.69 – 75.
204. Даниленко Э. И. Влияние вертикальной нагрузки при измерении горизонтальных сил в пути / Э. И. Даниленко и др. *Вестник ВНИИЖТ*, М.: 1979. – Вып. I. – С.41 – 44.
205. О. М. Даренський, Н. В. Бугаєць, В. Г. Вітольберг Відеоцифрова система елементів вимірювання переміщень залізничного шляху. *Зб.наук.праць УкрДАЗТ.* – 2009. – №109 – с.222 – 231.
206. Членов М. Т. Длинные рельсы. – М.: Трансжелд., 1950. – 203 с. (*монография*)
207. Коган А. Я. Продольные силы в железнодорожном пути. *Тр. ВНИИЖТ*, вып. 332, – М.: *Транспорт*, 1967 – 166 с.
208. Львовский В. В., Фришман М. А. Математическая модель подрельсового основания для исследования взаимодействия пути и подвижного состава // Исследования взаимодействия пути и подвижного состава: Сб. научн. тр. *Днепропетр. ин-т инж. ж.-д. трансп.*, вып. 188/18. – Днепропетровск: ДИИТ. – 1977. – С. 69–74.
209. Новосельцев В.П., Новосельцев П.В., Гордеева А.А. Влияние продольной жесткости рельсового пути на проскальзывание колесной пары локомотива по рельсу // *Мир Транспорта*. 2013. № 4 (38) С. 34-38.
210. Новосельцев В.П., Новосельцев П.В., Гордеева А.А. Исследование напряженно-деформированного состояния бесстыкового рельсового пути под действием осевой силы // *Современные технологии. Системный анализ. Моделирование*. 2014. № 4 (44). С. 69-73.

211. Клинов С. И. Метод определения погонного сопротивления по характеру продольных перемещений в бесстыковой рельсовой плети. *ТР МИИТ*: вып. 318:– М., 1969.– С.136 – 144.

212. М. А. Фришман, Л. Я. Воробейчик, Р. С. Липовской Экспериментальные определения жесткостей и неупругих сопротивлений пути. *Вестник ЦНИИ МПС.* – 1970.– №8.– С.31 – 35.

213. Даренский А.Н. Результаты экспериментальных исследований работы железнодорожного пути промышленного транспорта. *Збірник наукових праць УкрДАЗТ* – 2011. – №125. – С.39 – 45.

214. 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.

215. 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.

216. Даренський О.М., Беліков Е.А. Аналіз розвитку теорій розрахунків залізничних колій. *Зб. наук. праць УкрДУЗТ.* Харків, УкрДУЗТ. 2015. Вип. 154. С. 149–155.

217. Беліков Е.А. Жорсткість скріплень ТРЕП–Ш та ТРЕП при крученні рейки. *Зб. наук. праць УкрДУЗТ.* Харків, УкрДУЗТ. 2016. Вип. 162. С. 81–86.

218. 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.

219. 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.

220. 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

221. Патент на корисну модель №70477. 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.

222. 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.

