

## Інфраструктура

## ОГЛЯД ТЕОРЕТИЧНИХ ПІДХОДІВ

УДК 625.143

*Даренський О. М., д-р техн. наук,  
Бєліков Е. А., інженер,  
Український державний університет  
залізничного транспорту,  
Тулей Ю. Л., інженер,  
Державна адміністрація залізничного  
транспорту України*

**АНАЛІЗ РОЗВИТКУ ТЕОРІЙ****РОЗРАХУНКІВ****ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ**

*Ключові слова:* верхня будова колії, експлуатаційні характеристики, розрахункова схема.

**Вступ та постановка проблеми**

Разом з будівництвом перших залізниць в кінці 19 століття беруть початок перші розрахунки взаємодії колеса рухомого складу на колії і на верхню будову колії для визначення оптимальних експлуатаційних характеристик. До теперішнього часу зміни у розрахунках тривають.

**Огляд існуючих публікацій**

В роботах професора Е. І. Даніленко [1], професора Г. М. Шахунянца [2], професорів С. В. Амеліна, Г. Е. Андрєєва [3] було зроблено висновок про те, що найбільш

прийнятна в даний час розрахункова схема при якій колія розглядається як конструкція у вигляді балок рейок, які спираються на суцільну пружну основу дає результати, які добре відповідають умовам магістрального транспорту. Однак дослідження [4] показали, що в особливих умовах експлуатації ці питання вимагають подальших досліджень.

**Метою статті** є аналіз літературних джерел з питань теорій взаємодії рухомого складу і колії, а також теорій розрахунків елементів верхньої будови колії на міцність і деформованість. На підставі такого аналізу можливо, використовуючи загальновідомі філософські закони, передбачити подальші напрями розвитку зазначених теорій.

Незважаючи на більш ніж півторастолітній досвід розрахунків сил взаємодії колії та рухомого складу і розрахунків колії на міцність і стійкість, вважати це питання

остаточно вирішеним не можна. По-перше, в особливих умовах експлуатації колії (колії незагального користування, колії метрополітенів) застосування традиційних розрахункових схем дає занижені результати [4]. По-друге, традиційні схеми розрахунків, наприклад [5] вплив бічних сил в кривих ділянках колії враховує коефіцієнтами, залежними від типу рухомого складу, радіуса кривої і швидкості руху. Відповідей на питання як ці сили змінюються в процесі руху, в процесі експлуатації колії цей метод не дає.

Тому аналіз розвитку теорій розрахунків залізничних колій та подальший розвиток існуючих теорій є, на наш погляд актуальним завданням.

**Основний матеріал дослідження**

У 1835 р. відомий інженер-колієник П. П. Мельников розглядав у своїх розрахунках рейки як розрізну балку на двох непружних опорах. В 1859 р. Д. І. Журавський, 1868 р. Г. Пуанкер, 1874 р. Ф. Энрольд перейшли до розрахунків рейки як нерозрізної балки, що лежить на багатьох непружних опорах. З 1888р Ф. Циммерман, А. А. Холодецький, В. Г. Бобільов, В. В. Григорьев здійснили перехід до розрахункової схеми рейки як балки, що лежить на багатьох пружних опорах. В 1895р. С. Н.Смирнов сформулював головні правила вписування екіпажів в криві.

На початку 20 століття даним питанням займалися 1903р. К. Ю. Цеглинський, 1910р. А. Е. Раєвський, 1913р. Х. Хейман, 1917р. Н. Т. Матюшин вони продовжили вирішення практичних завдань, пов'язаних з геометрією проходження кривих. У 1906р. Н. П. Петров сформулював теорію взаємодії колії і рухомого складу виконав розрахунок рейки як балки на пружній основі. В 1899р. А. Л. Васютинський, 1905р. С. П. Тимошенко, 1915 р. А. М. Годицкий-Цвірко ґрунтуючись на досліди і беручи розрахункову схему колії як балки що лежить на суцільній пружній основі суттєво вдосконалили розрахунки сил інерції необрессорених мас, дали оцінку впливу вібрації на ці сили. З 1926 р. С. П.Тимошенко розробив найбільш застосовну до теперішнього часу, теорію кручення рейки під дією горизонтальних поперечних сил яку

доповнили в 1931р. А. М. Годицкий-Цвірко, С. А. Степкин, 1941р. Г. М. Шахунянц, Д. Г. Голованов, 1938р. М. Л. Королев, 1950р. М. И. Кулагин, 1950р. Н. К. Снитко.

У другій половині 20 століття дослідженнями займалися видатні вчені. В. И. Ангелейко отримав рішення задачі при горизонтальному згині і крученні рейки застосовуючи також розрахункову схему рейки як балки на пружних опорах з урахуванням характеристик жорсткості проміжних рейкових скріплень. При розрахунках по черзі використовувалися схеми одно пролітної, три пролітної, п'яти пролітної балок на пружних опорах для послідовного наближення до необхідної точності рішення [6]. В 1951р. О. П. Ершков вирішуючи задачу про вигін і кручення рейки у використанні до балки на пружній основі, виконав аналіз можливості сумісного або роздільного розгляду деформацій горизонтального вигину і кручення. Як один з висновків в роботі наголошується, що сумісне і роздільне рішення дають близькі між собою і практично прийнятті результати.

В подальшому О. П. Ершков провів детальні дослідження характеристик просторової пружності рейкових ниток, необхідних для практичного вирішення задач про вигін і кручення рейки, як балки на пружній основі. Він вніс значний внесок в розробку теорії руху екіпажів в кривих ділянках колії, розробив узагальнений аналітичний метод визначення поперечних сил в кривих і методику визначення бічної дії на колію різних екіпажів графо-аналітичним способом за допомогою так званих графіків-паспортів [7]. Ще в 1948 р. О. П. Ершков вперше в практиці розрахунків колії теоретично визначив вірогідність поєднання різних динамічних чинників при визначенні сил, діючих на колію.

Ідеї академіка Н. П. Петрова про необхідність обліку характеру вірогідності динамічних навантажень, вперше реалізовані О. П. Ершковим, одержали глибокий і всебічний розвиток в роботах Е. М. Бромбера [8] і Г. М. Шахунянца [2]. Фундаментальне узагальнення і розвиток цього підходу в розрахунках динамічних навантажень було виконано М. Ф. Вериго [9].

Великий внесок у розвиток теорії взаємодії колії і рухомого складу зробили академік В.

А. Лазарян, професори С. В. Амелін, Н. А. Ковальов, С. М. Куценко, М. П. Смірнов, М. А. Фрішман, М. А. Чернишев, В. Ф. Яковлев.

На підставі виконаних досліджень були розроблені правила виробництва розрахунків колії на міцність, затверджені в 1954 році.

Професор Е. І. Даніленко і професор В. В. Рибкін розробили в 2004 році «Правила розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість» [10,11] для магістральних залізниць України, в яких загальні положення розрахунку колії як балки на суцільній пружній основі були збережені. В правилах використані нові підходи до визначення модулів пружності рейкової основи, приведені дані про жорсткість сучасних конструкцій проміжних рейкових скріплень і шпал в різних умовах. Принципово новими в «Правилах розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість» є розрахунки повздовжніх сил, діючих на колію з боку рухомого складу, розрахунки стійкості плітей безстикової колії.

Д.т.н., професор Е. І. Даніленко є провідним фахівцем в галузі залізничної колії і колійного господарства на Україні. Його наукові праці і теоретичні розробки визначили технічну політику магістральних залізниць України в сферах розробки сучасних конструкцій проміжних рейкових скріплень [12]. Наукові положення робіт [13], фундаментальна робота [14] є основою розрахунків, проектування, виготовлення і експлуатації стрілочних переводів як для магістральних залізниць, так і для промислового залізничного транспорту. Значний внесок вносить проф. Е. І. Даніленко в розвиток теорії взаємодії колії і рухомого складу. Професор Е. І. Даніленко є автором більше п'ятнадцяти галузевих нормативних документів.

Наукова школа кафедри колії Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту, яку створили академік В. А. Лазарян і професор М. А. Фрішман, бере найактивнішу участь в розробці основних положень і в створенні математичного забезпечення теорії взаємодії колії і рухомого складу. Слід відзначити роботи академіка В. А. Лазаряна, професора М. А. Фрішмана, професора В. В. Рибкіна, професора В. Д. Дановіча, І. А. Літіна, В. В.

Львівського, О. М. Патласова, В. Н. Понирко, М. П. Настечика.

Фундаментальне узагальнення і розвиток ймовірно-статистичного підходу до визначення навантажень в елементах колії, виконане М. Ф. Вериго та поширене і глибоке дослідження задач взаємодії колії і рухомого складу методами статистичної динаміки і теорії випадкових функцій, проведене професором О. Я. Коганом [15], були вставлені в основу програмного пакету «Взаємодія екіпажа і колії при просторових коливаннях рухомого складу» (ВЕІК), виконаний у ВНДІЗТі. В основі програмного пакету лежить математична модель, в якій просторові коливання екіпажа розкладені на дві незалежні групи, - вертикальні і горизонтальні. Результати розрахунків по кожній з груп коливань об'єднуються з використанням принципу суперпозиції. Колія в пакеті ВЕІК розглядається як балка, що лежить на суцільній пружній основі, яка має постійну по довжині колії масу, жорсткість і демпфуванням, приведеним до нейтральної вісі рейки.

При дослідженнях коливань у вертикальній площині система екіпаж-колія вважається повністю лінійною і для її аналізу застосовується апарат спектральної теорії випадкових процесів.

Зіставлення результатів чисельних розрахунків з даними експериментів показали, що програмний пакет ВЕІК дає хорошу збіжність результатів для рухомого складу (чотиривісні локомотиви, вантажні і пасажирські вагони) і для умов, характерних для магістральних доріг – відносно невеликі осьові навантаження, високі швидкості руху, криві великих радіусів.

Слід зазначити, що програмний пакет ВЕІК створювався у 80-х роках ХХ століття, коли можливості ЕОМ і їх програмного забезпечення не дозволяли в чисельному вигляді вирішувати велику кількість диференціальних рівнянь 2-3 порядків. Тому порівняльно прості рівняння, закладені в алгоритми програм пакету ВЕІК, зажадали надзвичайно складні математичні викладення для їх отримання. Одна з перших версій пакету ВЕІК була реалізована на мові Фортран IV для ЕОМ серії ЕС.

Розробка програмного пакету «ВЕІК», теоретичні розробки, встановлені в його

основу, дозволили вирішувати широкий круг задач взаємодії колії і рухомого складу, напружено-деформованого стану, як елементів верхньої будови колії, так і земляного полотна.

Значним кроком в розвитку теорії взаємодії колії і рухомого складу є розробка імітаційної моделі руху чотиривісних екіпажів по кривих ділянках колії, яка була створена вченими МПТа і ВНІЗТу під керівництвом професора М.Ф. Вериго [16]. Як розрахункова була прийнята плоска горизонтальна схема чотиривісного вагону, що є системою абсолютно твердих тел. Між елементами системи існують лінійні і нелінійні зв'язки, залежні від відносних переміщень і їх швидкостей і прискорень. Колія розглядається як балка нескінченної довжини на пружній основі, що має в горизонтальній площині жорсткість і демпфування.

Кажучи про взаємодію колії і рухомого складу в кривих, професор М.Ф.Вериго особливо підкреслював, що використання методів квазістатичного вписування з використанням для цього поняття «поліус повороту екіпажа» (метод Цеглінського) було вимушеною необхідністю. Тільки розгляд екіпажа як системи із значної кількістю елементів, зв'язаних між собою кінематично нелінійними зв'язками, що вимагає складання системи з 15-20 диференціальних рівнянь з обов'язковим включенням в алгоритм елементів логіки, здатний адекватно відповідати натуральним процесам. Програма розрахунків [17] була складена на мові Фортран IV для персональних комп'ютерів ІВМ 386/387. Її використання дозволило виявляти цілий ряд чинників, що впливають на характер динаміки вагонів в кривих [18].

Таким чином, в дослідженнях взаємодії колії і рухомого складу, розрахунках напружено-деформованого стану колії застосовується основна розрахункова схема рейки як балки на пружній основі. Це викликано, перш за все, зручністю і простотою рішень. Наприклад, для вирішення задачі про вимушені або власні коливання колії в одній площині достатньо зіставити одне диференціальне рівняння четвертого ступеню, яке розв'язується аналітично тим або іншим способом, іноді із застосуванням апарату спектральної теорії випадкових чисел.

Безумовно, цей підхід був обумовлений в першу чергу відсутністю достатньо могутніх обчислювальних засобів і відповідального програмного забезпечення для чисельного вирішення великої кількості диференціальних рівнянь в нелінійній підставці. Як відзначив професор М. Ф. Веріго [18], саме такий підхід необхідний для опису процесів динаміки колії і екіпажів.

Більшість дослідників виказує думку, що одержані результати дають цілком хорошу збіжність з даними експериментів для умов магістральних залізниць.

Проте ще 1939 р. професор Г. М. Шахуняц, аналізуючи результати розрахунків, які були одержані С. А. Степкіним при розрахунках рейки як балки на пружній основі при його крученні, відзначив, що одержані в цій роботі дані є явно перебільшеними відносно даних експериментів. Г. М. Шахуняц зробив припущення про те, що причиною виявилось вживання саме такої розрахункової схеми.

Проф. Ю. Д. Волошко в роботі [19] виконав статистичний розрахунок рейки як балки на пружних опорах, жорсткість яких має статистичний характер. На підставі розрахунків встановлено, що зміна жорсткостей опор і відстаней між ними, може викликати збільшення згинаючих моментів в рейках на 12%, а навантажень на шпалах – до 29%.

Проф. В. В. Рибкін і інж. В. І. Клімов [20] ввели в статичний розрахунок рейки, як балки на дискретних опорах, нелінійність їх жорсткості.

Автори роботи [20] на підставі даних порівняльних розрахунків на дію статичних навантажень зробили висновок про те, що максимальний згинаючий момент і найбільше прогинання балки на нелінійних опорах більше, ніж на суцільній пружній основі, відповідно на 12.3 і 29.3 %. Істотно розрізняється і форма вигину таких балок.

Можна припустити, і ці припущення підтверджуються проведеними рядом авторів дослідженнями, що в умовах промислового транспорту недоліки розрахункової схеми рейки як балки на пружній основі виявляються набагато більшою мірою. На думку професора С. П. Першина «при збереженні традиційної багато опорної конструкції колії неминуче повернення до дискретних моделей. Тим, паче, що

витіснення дискретної основи безперервним було викликано обчислювальними труднощами» [17].

Визначені вище факти, а також дані інших робіт, спонукають вчених знов звертатися до розрахунків колії на дискретних опорах [21,22,23]. Слід зазначити оригінальне рішення задачі розрахунку колії як стрижньової системи з урахуванням нерівнопружності основи опор – стрижнів, виконане Л. В. Клименко.

Професор В. Ф. Яковлев, який є найбільшим фахівцем в галузі залізничної колії для промислових підприємств, кажучи про застосовність розрахункової схеми рейки як балки на пружній основі для умов промтранспорту підкреслював, що такі розрахунки «мають високий ступінь ідеалізації силових чинників, конструктивного оформлення колії і її технічного стану. З цієї причини, наприклад, виключається можливість рішення задач при нерівнопружній підрейкової основі».

Проф. В. Ф. Яковлев, проф. М. С. Нікеров, к.т.н. І. І. Семенов розробили розрахункову схему рейко-шпальної решітки як просторової стержневої системи. Основними елементами цієї схеми є стержні-рейки, що спираються на окремо стоячи стержні-шпали. Елементи решітки (рейки і шпали) знаходяться в різних рівнях. З'єднання рейок з шпалами, забезпечуване проміжними скріпленнями замінено дією просторових пружних зв'язків, кількість яких рівна шести - три реактивні сили і три реактивні моменти. Стержні-шпали спираються на основу, яка наділена пружними властивостями в трьох напрямках. Передбачається двобічний пружний зв'язок шпал з основою. Пружні характеристики баластної основи не залежать від деформацій шпал.

Для розрахунків напружено-деформованого стану системи під дією довільно орієнтованого статичного навантаження використаний метод сил в матричному формулюванні для стержневих систем.

Подальшим розвитком методу розрахунку колії як просторової системи на дію довільно орієнтованих статичних навантажень є варіаційний метод розрахунку, який розробив К. Д. Бєлих [24]. Розрахунок зусиль в елементах верхньої будови колії виконується з

використанням варіаційного методу Лагранжа.

Слід особливо підкреслити внесок професора В. Ф. Яковлева у розвиток теорії розрахунку контактних напруг Герца – Беляєва. Дослідженнями виконаними в ЛІЗТі на електротензометричних моделях рейкових ниток, встановлено, що залежно від місця розташування контактних майданчиків щодо зони бічної викружки головки рейки, вертикальні напруги можуть збільшуватися в 2.0-2.15 рази, горизонтальні поперечні в 3.0-3.2 рази, горизонтальні подовжні – в 4-6 разів в порівнянні із значеннями, одержаними в результаті розрахунків по теорії Герца-Беляєва. Напружений стан і контактено-втомна витривалість рейок істотно залежать також від змін геометричних контурів колеса і рейок в процесі їх зносу.

В роботі [4] для умов колій промислових залізниць були розроблені моделі та методи досліджень сил взаємодії рухомого складу і колій, а також розрахунків напружено-деформованого стану залізничної колії зі застосуванням просторової розрахункової схеми колії у вигляді балок-рейок, які сприяють на пружно дисипативні опори – шпали з нелінійними характеристиками.

Удосконалена модель та метод визначення просторових пружно-динамічних характеристик дискретних рейкових опор з урахуванням умов і термінів їх експлуатації, в залежності від рівня діючих сил. Обґрунтовано і розроблено комплекс математичних моделей просторової динамічної системи «екіпаж-колія» з урахуванням особливих характеристик спеціального і спеціалізованого рухомого складу на промисловому транспорті. Розроблено функціональні моделі елементів верхньої будови колії – рейок, елементів скріплень, шпал, баласту на основі використання методу кінцевих елементів (МКЕ) та узагальнено метод синтезу моделей елементів верхньої будови колії МКЕ на основі формування модульної концепції моделювання. Запропоновано підходи до визначення критичних станів колії промислових залізниць, при яких можлива відмова у системі «екіпаж-рейкова колія».

В. Г. Вітольберг [25] вирішив науково-технічну проблему прогнозування ресурсів роботи перспективних та ефективних шпал

типу СБ 3-0 в коліях незагального користування. Для визначення об'ємного напруженого стану шпал СБ 3-0 в умовах колій незагального користування розроблені функціональні моделі цих шпал, елементів скріплень КПП-5 та баласту на основі використання методу скінчених елементів.

Н. В. Бугаєць [26], застосовуючи загальну розрахункову схему та моделі і методи, які запропоновані в роботі [18], визначила напружений стан баласту та земляного полотна колій незагального користування.

#### Висновки

Таким чином, можливо вважати перспективним застосування для подальших досліджень роботи колії в особливих умовах експлуатації її загальну розрахункову схему у вигляді балок на дисипативних опорах з нелінійними пружно-дисипативними характеристиками.

#### Література

1. Даніленко Е. І. Залізнична колія/ Улаштування, проектування розрахунки, взаємодія з рухомим складом / Підручник для вищих навчальних закладів (у 2х томах) / Е. І. Даніленко. – Київ, Імпрес, 2010. – Том 2 – 456 с.
2. Шахунянц Г. М. Железнодорожный путь : монография / Г. М. Шахунянц. – М. : Транспорт, 1987. – 479 с.
3. Амелин С. В. Устройство и эксплуатация пути: Учебник для вузов ж.-д. трансп. – М.: Транспорт, 1986. – 238 с.
4. Даренський О. М. Теоретичні та експериментальні дослідження роботи залізничних колій промислового транспорту: монографія / О. М. Даренський // Харків : УкрДАЗТ, 2011. – 204 с.
5. Даніленко Е. І. Правила розрахунків залізничної колії на міцність в стійкість / Е. І. Даніленко, В. В. Рибкін. – Київ: Транспорт України. – 2006. – 168 с.
6. Ангелейко В. И. Вывод основных уравнений для расчета рельса в горизонтальной и вертикальной плоскостях / монография / В. И. Ангелейко. – Харьков : ХИИТ, 1958. – 38 с.
7. Ершков О. П. Построение графиков удельных характеристик и графиков паспортов вписывания железнодорожных экипажей (теоретическая часть) / О. П. Ершков // Труды ЦНИИ. – М. : Трансжелдориздат. – 1963. – № 268. – 215 с.

8. Бромберг Е. М. Взаимодействие пути и подвижного состава / Е. М. Бромберг, М. Ф. Вериго, В. Н. Данилов / под ред. М. А. Фришмана. – М. : Трансжелдориздат. – 1956. – 280 с.
9. Вериго М. Ф. Определение динамического модуля пути / М. Ф. Вериго // Техника железных дорог. – 1949. – №12. – С. 23-24.
10. Даниленко Е. І. Дослідження проміжних рейкових скріплень для залізобетонних шпал на витривалість при впливі циклічного навантаження / Е. І. Даниленко // Збірник наукових праць КУЕТТ, серія «Транспортні системи і технології». – Київ : КУЕТТ: – 2005. – С. 26-38.
11. Даниленко Е. І. Забезпечення поперечної стійкості колії проти розпирання при сучасних конструкціях проміжних рейкових скріплень / Е. І. Даниленко // Збірник наукових праць ДЕТУТ, серія «Техніка, технології». – 2008. – № 12. – С. 40-41.
12. Даниленко Е. І. Забезпечення поперечної стійкості колії проти розпирання при сучасних конструкціях проміжних рейкових скріплень / Е. І. Даниленко // Збірник наукових праць ДЕТУТ, серія «Техніка, технології». – 2008. – № 12. – С. 40-41.
13. Даниленко Э. И. Неровности на крестовинах Р65 1/11 с непрерывной поверхностью катания и обоснование норм износа / Э. И. Даниленко, В. И. Абросимов, А. Н. Трофимов, Г. В. Агафонов, Л. Н. Фролов // Межвузовский сборник научных трудов. – Днепропетровск : ДИИТ, – 1985. – № 6. – С. 63-75.
14. Даниленко Э. И. Стрелочные переводы железных дорог Украины (Технология производства, эксплуатации в пути, расчета и проектирования) / Э. И. Даниленко, С. Д. Тараненко, А. П. Кутах. – Киев : Киевский институт инженеров железнодорожного транспорта. – 2001. – С. 296.
15. Коган А.Я. Влияние конструкции и состояния пути на устойчивость колеса / А. Я. Коган, Г. И. Матусовский // Вестник ВНИИЖТ. – 1982. – №8. – С. 42-44.
16. Вериго М. Ф. Взаимодействие пути и подвижного состава в кривых малого радиуса и борьба с боковым износом рельсов и гребней колёс / М. Ф. Вериго. – М. : ПКТЬ ЦП МПС. – 1997. – 207 с.
17. Першин С. П. Вертикальная жесткость пути и его надежность / С. П. Першин // Путь и путевое хозяйство. – 1996. – №8. – С. 8-10.
18. Керр А. Новые уравнения для реакции пути на шпалах в поперечной плоскости / А. Керр, А. Зарембски / Железные дороги мира. – 1987. – №10. – С. 52-58.
19. Волошко Ю. Д. Расчет рельса как балки на дискретных упругих опорах со случайными характеристиками / Ю. Д. Волошко // Труды ДИИТ. – 1977. – № 196/19. – С. 93-98.
20. Климов В. И. Статический расчет пути как балки на опорах с нелинейной жесткостью / В. И. Климов, В. В. Рыбкин // Труды ДИИТ. – 1984. – № 235/26. – С. 3-8.
21. Яковлев В. Ф. Исследование сил взаимодействия колеса и рельса с учетом нелинейных односторонних связей и переменных масс / В. Ф. Яковлев, И. И. Семенов // Труды ЛИИЖТ. – 1964. – № 238. – С. 46-95.
22. Яковлев В. Ф. Расчет рельсошпальной решетки железнодорожного пути как пространственной системы / В. Ф. Яковлев, И. И. Семенов, Н. С. Никеров // Труды ЛИИЖТ. – 1969. – № 296. – С. 3-15.
23. Бельх К. Д. Теория расчета и исследование напряженно-деформированного состояния железнодорожного пути на металлургических заводах : автореферат диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / К. Д. Бельх. – Л.: ЛИИЖТ. – 1979. – 41 с.
24. Бельх К. Д. Вариационный метод расчета рельса как пространственной конструкции верхнего строения пути / К. Д. Бельх, П. П. Гонтаровский // Труды ДИИТ. – 1972. – №138. – С.129-138.
25. Вітольберг В. Г. Прогнозування роботи залізобетонних шпал типу СБ 3-0 в умовах залізничних колій незагального користування / В. Г. Вітольберг // автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук // Видавництво УкрДАЗТу. – 2013. – 21с.
26. Бугаєць Н. В. Підвищення несучої здатності рейко-шпальної основи залізничних колій незагального користування / Н. В. Бугаєць / автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук // Видавництво УкрДАЗТу. – 2014. – 21