

**БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ, КОНСТРУКЦІЇ ТА СПОРУДИ**

---

---

УДК 625.143

**АНАЛІЗ РОЗВИТКУ ТЕОРІЙ РОЗРАХУНКІВ ЗАЛІЗНИЧНИХ КОЛІЙ**

Д-р техн. наук О.М. Даренський, старш. викл. Е.А. Беліков

**АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ ТЕОРИЙ РАСЧЕТОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПУТЕЙ**

Д-р техн. наук А.Н. Даренский, старш. преп. Э.А. Беликов

**ANALYSIS OF THE DEVELOPMENT OF THEORIES CALCULATIONS OF RAILWAY TRACKS**

Dr. of techn sciences A.N. Darenskiy, senior lecturer E.A. Byelikov

*У статті виконано аналіз наукового внеску відомих залізничних науковців у період з 1835 року до теперішнього часу, які поповнили розвиток розрахунків взаємодії колеса рухомого складу на колію та на верхню будову колії для визначення оптимальних експлуатаційних характеристик.*

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

*В статье выполнен анализ научного вклада известных железнодорожных ученых в развитие расчетов взаимодействия колеса подвижного состава на железнодорожные пути и на верхнее строение пути для определения оптимальных эксплуатационных характеристик в период с 1835 года до настоящего времени.*

**Ключевые слова:** *верхнее строение пути, эксплуатационные характеристики, расчетная схема.*

*In this paper the analysis of scientific contribution, known Railways governmental scientists, in the development of calculations of the interaction of the wheels of the rolling stock on the railway track and track structure to determine the optimum operating characteristics in the period from 1835 to the present.*

*It is concluded that the most common currently is the General design scheme of the way in the form of a beam-rail constant cross section, which relies on a continuous elastic Foundation. This diagram assumes the constancy of the elastic and dissipative characteristics of this reason. According to some authors, these assumptions are unfathomably idealized path and its technical condition.*

*For conditions of non-public roads of the developed model and methods, which are based on the spatial scheme of the way in the form of beams-rails based on discrete elastic-dissipative supports sleepers. These models and methods allow in contrast to the known to consider not only the discreteness of Pirani rails on sleepers, but also the nonlinearity of the elastic-dissipative characteristics of the rail supports, and the differences of these characteristics for each foot.*

**Keywords:** *track structure, performance, design scheme.*

**Вступ.** 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.

**Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями.** Виконати бібліографічний аналіз доступних літературних джерел, які констатують розрахунки взаємодії колеса рухомого складу та колії для визначення її оптимальних експлуатаційних характеристик.

**Основна частина дослідження.** 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. У 1835 р. відомий інженер-шляховик П.П. Мельников розглядав у своїх розрахунках рейки як розрізну балку на двох непружних опорах. У 1859 р. Д.И. Журавський, 1868 р. Г. Пуанкер, 1874 р. Ф. Енрольд перейшли до розрахунків рейки як нерозрізної балки, що лежить на багатьох непружних опорах. З 1888 р. Ф. Циммерман, А.А. Холодецький, В.Г. Бобилев, В.В. Григор'єв здійснили перехід до розрахункової схеми рейки як балки, що лежить на багатьох пружних опорах. У 1895 р. С.Н. Смирнов сформулював головні правила вписування екіпажів у криві.

На початку 20 століття даним питанням займалися: 1903 р. – К.Ю. Цеглинський, 1910 р. – А.Е. Раєвський, 1913 р. – Х. Хейман, 1917 р. – Н.Т. Матюшин. Вони продовжили вирішення практичних завдань, пов'язаних з геометрією проходження кривих. У 1906 р. Н.П. Петров сформулював теорію взаємодії колії і рухомого складу, виконав розрахунок рейки як балки на пружній основі. В 1899 р. А.Л. Васютинський, 1905 р. – С.П. Тимошенко, 1915 р. – А.М. Годицький-Цвірко, спираючись на досліди і беручи розрахункову схему колії як балки, що лежить на суцільній пружній основі, суттєво вдосконалили розрахунки сил інерції необресорених 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 1931 р. А.М. Годицький-Цвірко, С.А. Степкин, 1941 р. – Г.М. Шахунянц, Д.Г. Голованов, 1938 р. – М.Л. Королєв, 1950 р. – М.И. Кулагин, Н.К. Снитко.

У другій половині ХХ століття дослідженнями займалися видатні вчені. В.И. Ангелейко отримав розв'язання 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 однопрогонової, трипрогонової, п'ятипрогонової балок на пружних опорах для послідовного наближення

до необхідної точності рішення [1]. В 1951 р. О.П. Єршков, 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 у роботі наголошується, що сумісне і роздільне рішення дають близькі між собою і практично прийнятті результати.

В подальшому О.П. Єршков провів детальні дослідження характеристик просторової пружності рейкових ниток, необхідних для практичного розв'язання задач про вигін і кручення рейки як балки на пружній основі. Він зробив значний внесок у розробку теорії руху екіпажів у кривих ділянках колії, розробив узагальнений аналітичний метод визначення поперечних сил в кривих і методику визначення бічної дії на колію різних екіпажів графоаналітичним способом за допомогою так званих графіків-паспортів [3]. Ще 1948 р. О.П. Єршков вперше в практиці розрахунків колії теоретично визначив вірогідність поєднання різних динамічних чинників при визначенні сил, що діють на колію.

Ідеї академіка Н.П. Петрова про необхідність урахування характеру вірогідності динамічних навантажень, вперше реалізовані О.П. Єршовим, одержали глибокий і всесторонній розвиток в роботах Е.М. Бромбера і Г.М. Шахунянца [4,5]. Фундаментальне узагальнення і розвиток цього підходу в розрахунках динамічних навантажень було виконано М.Ф. Веріго [6].

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. Смирнов М.А. Фрішман, М.А. Чернишев, В.Ф. Яковлев.

На підставі виконаних досліджень були розроблені Правила виробництва розрахунків колії на міцність, затверджені 1954 р.

Професори Е.І. Даниленко і В.В. Рибкін розробили 2004 р. «Правила розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість» [5] для магістральних залізниць України, в яких загальні положення розрахунку колії як балки на суцільній пружній основі були збережені. В правилах використано нові підходи до визначення модулів пружності рейкової основи, подано 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 подовжніх сил, що діють на колію з боку рухомого складу, розрахунки стійкості плітей безстикової колії.

Д-р техн. наук, професор Е.І. Даниленко є провідним фахівцем у галузі залізничної колії і колійного господарства на Україні. Його наукові праці і теоретичні розробки визначили технічну політику магістральних залізниць України у сферах розробки сучасних конструкцій проміжних рейкових скріплень [8]. Наукові положення робіт [9], фундаментальна робота [10] покладені в основу розрахунків, проектування, виготовлення і експлуатації стрілочних переводів як для магістральних залізниць, так і для промислового залізничного транспорту. Значний внесок робить проф. Е.І. Даниленко в розвиток теорії взаємодії колії і рухомого складу. Професор Е.І. Даниленко 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 створенні математичного забезпечення теорії взаємодії колії і рухомого складу. Слід відзначити роботи академіка В.А. Лазаряна, професорів М.А. Фрішмана, В.В. Рибкіна, В.Д. Дановіча, І.А. Літіна, В.В. Львівського, О.М. Патласова, В.Н. Понирко, Н.П. Настечика.

Фундаментальне узагальнення і розвиток ймовірно-статистичного підходу до визначення навантажень в елементах колії, виконане М.Ф. Вериго [8], і глибоке дослідження задач взаємодії колії і рухомого складу методами статистичної динаміки і теорії випадкових функцій, проведене професором О.Я. Коганом [11], були покладені в основу програмного пакета «Взаємодія екіпажа і колії при просторових коливаннях рухомого складу» (ВЕІК), виконаного у ВНДІЗТі. В основі програмного пакета 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 демпфування, приведені до нейтральної осі 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 залізниць – 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 розв'язувати велику кількість диференціальних рівнянь 2-3 порядків. Тому порівняльно прості рівняння, закладені в алгоритми програм пакета ВЕІК, зажадали надзвичайно складних математичних викладень для їх отримання. Одна з перших версій пакета ВЕІК була реалізована мовою Фортран IV для ЕОМ серії ЄС.

Розробка програмного пакета «ВЕІК», теоретичні розробки, покладені в його основу, дозволили вирішувати широке коло 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 МІИТ і ВНДИЖТ під керівництвом професора М.Ф. Вериго [12]. Як розрахункова була прийнята плоска горизонтальна схема чотиривісного вагона, що є системою абсолютно твердих тіл. 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 кількості 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 [12] була складена мовою Фортран IV для персональних комп'ютерів IBM 386/387. Її використання дозволило виявляти цілий ряд чинників, що впливають на характер динаміки вагонів у кривих [13].

Таким чином, в дослідженнях взаємодії колії і рухомого складу, розрахунках напружено-деформованого стану колії застосовується як основна розрахункова схема рейки як балки на пружній основі. Це викликано, перш за все, зручністю і простотою розв'язань. Наприклад, для розв'язання задачі про вимушені або власні коливання колії в одній площині достатньо зіставити одне диференціальне рівняння четвертого ступеня, 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 відповідного програмного забезпечення для чисельного розв'язання великої кількості диференціальних рівнянь в нелінійній підстановці. Як відзначив професор М.Ф. Веріго [13], саме такий підхід необхідний для опису процесів динаміки колії і екіпажів.

Більшість дослідників висловлюють 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. Степкинним при розрахунках рейки як балки на пружній основі при її крученні, відзначив, що одержані в цій роботі дані є явно перебільшеними відносно даних експериментів. Г.М. Шахуняц зробив припущення про те, що причиною виявилось застосування саме такої розрахункової схеми.

Професор Ю.Д. Волошко в роботі [14] 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 згинальних моментів у рейках на 12 %, а навантажень на шпалах – до 29 %.

Професор В.В. Рибкін і інженер В.І. Клімов [15] ввели в статичний розрахунок рейки як балки на дискретних опорах нелінійність їх жорсткості.

Автори роботи [15] на підставі даних порівняльних розрахунків на дію статичних навантажень зробили висновок про те, що максимальний згинальний 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 багатоопорної конструкції колії неминуче повернення до дискретних моделей. Тим паче, що витіснення дискретної основи безперервним було викликано обчислювальними труднощами» [16].

Визначені вище факти, а також дані інших робіт спонукають вчених знов звертатися до розрахунків колії на дискретних опорах [15,16]. Слід відзначити оригінальне розв'язання задачі розрахунку колії як стрижньової системи з урахуванням нерівнопружності основи опор – стрижнів, виконане Л.В. Клименко.

Професор В.Ф. Яковлев, який є найбільшим фахівцем у 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 розв'язання задач при нерівнопружній підрейковій основі».

Професори В.Ф. Яковлев, М.С. Нікерев, канд. техн. наук. І.І. Семенов розробили розрахункову схему рейко-шпальної решітки як просторової стержневої системи. Основними елементами цієї схеми є стержні-рейки, що спираються на стержні-шпали, які стоять окремо. 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 двосторонній 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. Белих [17]. 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 ЛІИЖТі 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 у порівнянні із значеннями, одержаними в результаті розрахунків за теорією Герца-Беляєва. Напружений стан і контактнo-втомна витривалість рейок істотно залежать також від змін геометричних контурів колеса і рейок в процесі їх зносу.

В роботі [18] 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 [18] 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 [20], застосовуючи загальну розрахункову схему та моделі і методи, які запропоновані в роботі [18], визначила напружений стан баласту та земляного полотна колій незагального користування.

**Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку.** Таким чином, можливо вважати перспективним застосування для подальших досліджень загальноорозрахункової схеми колії у вигляді балок на дисипативних опорах з нелінійними пружно-дисипативними характеристиками.

*Список використаних джерел*

1. Ангелейко, В.И. Вывод основных уравнений для расчета рельса в горизонтальной и вертикальной плоскостях [Текст]: монография / В.И. Ангелейко. – Харьков: ХИИТ, 1958. – 38 с.
2. Шахунянц, Г.М. Железнодорожный путь [Текст]: монография / Г.М. Шахунянц. – М.: Транспорт, 1987. – 479 с.
3. Вериго, М.Ф. Определение динамического модуля пути [Текст] / М.Ф. Вериго // Техника железных дорог. - 1949. - № 12. – С. 23-24.
4. Правила розрахунків залізничної колії на міцність та стійкість [Текст] / Е.І. Даниленко, В.В. Рибкін. – К.: Транспорт України, 2006. – 168 с.
5. Даниленко, Е.І. Дослідження проміжних рейкових скріплень для залізобетонних шпал на витривалість при впливі циклічного навантаження [Текст] / Е.І. Даниленко // Зб. наук. пр. КУЕТТ. Сер. Транспортні системи і технології. – К.: КУЕТТ, 2005. – С. 26-38.
6. Даниленко, Е.І. Забезпечення поперечної стійкості колії проти розпирання при сучасних конструкціях проміжних рейкових скріплень [Текст] / Е.І. Даниленко // Зб. наук. пр. ДЕГУТ. Сер. Техніка, технології. –2008. - № 12. - С. 40-41.
7. Железнодорожный путь и станции промышленных предприятий [Текст]: учебник / В.И. Ангелейко, В.К. Дмитриев, А.Н. Перцев, Л.М. Чуб. – К., 1988. – 320 с.
8. Даниленко, Е.І. Дослідження повздовжньої стійкості рейко-шпальної решітки при різних конструкціях проміжного рейкового скріплення [Текст] / Е.І. Даниленко, М.Д. Костюк, Т.Т. Даниленко, В.М. Твердохлеб // Зб. тез доповідей 2-ї наук. – практик. конференції КУЕТТ. – К.: КУЕТТ, 2004. - С. 34.
9. Поньрко, В.Н. Оценки статистических характеристик приведенной массы пути [Текст] / В.Н. Поньрко, Н.А. Пономаренко // Труды ДИИТа. – Днепропетровск: ДИИТ, 1979. – Вып. 204/21. – С. 117-122.
10. Расчеты железнодорожного пути на вертикальную динамическую нагрузку [Текст] / под ред. А.Я. Когана // Тр. ВНИИЖТ. – 1973. - № 502. – 80 с.
11. Коган, А.Я. Влияние конструкции и состояния пути на устойчивость колеса [Текст] / А.Я. Коган, Г.И. Матусовский // Вестник ВНИИЖТ. – 1982. - № 8. – С. 42-44.
12. Першин, С.П. Вертикальная жесткость пути и его надежность [Текст] / С.П. Першин // Путь и путевое хозяйство. – 1996. - № 8. – С. 8-10.
13. Керр, А. Новые уравнения для реакции пути на шпалах в поперечной плоскости [Текст] / А. Керр, А. Заремски // Железные дороги мира. - 1987. - № 10. - С. 52-58.
14. Яковлев, В.Ф. Исследование сил взаимодействия колеса и рельса с учетом нелинейных односторонних связей и переменных масс [Текст] / В.Ф. Яковлев, И.И. Семенов // Тр. ЛИИЖТ. - 1964. - № 238. - С. 46-95.
15. Яковлев, В.Ф. Расчет рельсо-шпальной решетки железнодорожного пути как пространственной системы [Текст] / В.Ф. Яковлев, И.И. Семенов, Н.С. Никеров // Тр. ЛИИЖТ. - 1969. - № 296. - С. 3-15.
16. Яковлев, В.Ф. Исследование упруго-динамических характеристик пути и определение динамических вертикальных сил в крестовине [Текст] / В.Ф. Яковлев, И.И. Семенов // Тр. ЛИИЖТ. - 1967. - № 222. - С. 17-29.
17. Смирнов, М.П. Напряжения в зоне перехода головки в шейку рельса при действии боковой силы [Текст] / М.П. Смирнов // Тр. ЛИИЖТ. - 1968. - № 280. - С. 49-62.
18. Даренський, О.М. Теоретичні та експериментальні дослідження роботи залізничних колій промислового транспорту [Текст]: монографія / О.М. Даренський. – Харків: УкрДАЗТ, 2011. – 204 с.

19. Вітольберг, В.Г. Прогнозування роботи залізобетонних шпал типу СБ 3-0 в умовах залізничних колій незагального користування [Текст]: автореф. дис... канд. техн. наук. – Харків: УкрДАЗТ, 2013. – 21 с.

20. Бугаєць, Н.В. Підвищення несучої здатності рейко-шпальної основи залізничних колій незагального користування [Текст]: автореф. дис... канд. техн. наук. – Харків: УкрДАЗТ, 2014. – 21 с.

---

Даренський Олександр Миколайович, д-р техн. наук, професор кафедри колії та колійного господарства Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. 730-19-89.

Беліков Едуард Анатолійович, старший викладач секції кафедри колії та колійного господарства Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. 730-10-60.

Darenskiy Alexander Nikolaevich, dr. of tech. sciences, professor of the department «Road and trakacilities» Ukraine State University of Railway Transport. Tel. 730-19-89.

Byelikov Eduard Anatolyevich, senior lecturer section of the Department «Roadandtrakacilities» Ukraine State University of Railway Transport. Tel. 730-10-67.

Наукова праця здана до друку 06.07.2015 року