

УДК 625.032.448

РИБКІН В.В., д.т.н., професор (ДНУЗТ)

ПАНЧЕНКО П.В., асистент (ДНУЗТ)

ТОКАРЄВ С.О., аспірант (ДНУЗТ)

## **Історичний аналіз теоретичних та експериментальних досліджень динаміки взаємодії колії, стрілочних переводів та рухомого складу**

Поява вивчення процесів взаємодії колії та рухомого складу бере свій початок з виникнення залізничної техніки та основних конструкцій цієї галузі. Саме дослідження таких процесів давало можливість розробляти та удосконалювати рухомий склад і конструкцію колії, встановлювати норми їх устрою, утримання і правила ремонту.

Стрілочний перевід - одна з найскладніших і відповідальніших конструкцій верхньої будови колії, яка, до того ж, працює в більш складних та різноманітних експлуатаційних умовах в порівнянні зі звичайною колією. Процеси взаємодії стрілочних переводів з рухомим складом спільні з динамічними процесами, які виникають в звичайній колії. Тому виникає необхідність дослідження розвитку наукових основ динаміки взаємодії колії (звичайної колії та стрілочних переводів) і рухомого складу.

Значний вклад в розвиток теоретичних та експериментальних досліджень взаємодії колії і рухомого складу внесли російські, вітчизняні та іноземні вчені.

А. А. Холодецький [1] в 1888 р. вперше розробив концепцію вписування екіпажів в криві, при цьому описав математичні рівняння для визначення бокових сил з постійною швидкістю.

Далі Н. П. Петров [2] розробив теорію сил інерції невіднесених мас, також ним були визначені напруження в рейках від колеса, що діють у вертикальній площині.

На початку ХХ століття А. М. Годицький - Цвірко [3] та Г. Мар'є [4] проводили дослідження вписування, з уточненням геометричних і кінематичних характеристик рухомого складу. Авторами було зроблено та узагальнено багатоваріантні дослідження, а також вперше систематично викладені питання взаємодії колії і рухомого складу.

К. П. Корольов [5] у 1950 році запропонував метод розрахунків вписування паровозів у криві з урахуванням пружних поперечних відтисків рейок. Для спрощення розрахунків на основі отриманих залежностей були побудовані графіки відтисків рейок і функцій рамних сил. Вплив коливань екіпажа та наявності нерівностей на колії замінювалася коефіцієнтом горизонтальної динаміки, значення якого визначалось емпіричним шляхом.

У 1955 році М. Ф. Веріго, О. П. Єршков [6] теоретично визначили значення модуля пружності колії. Був розроблений метод, заснований на теоретичних викладках та теорії ймовірностей. Треба відмітити, що були проведені розрахунки

для різноманітних вертикальних динамічних сил, що діють на рейки, з порівняльним аналізом досліджень впливу багатьох видів рухомого складу на різні конструкції колії. О. П. Єршковим проведені розрахунки, які дозволяють визначити кромочні напруження у подошві рейки від напружень при дії вертикальних сил. Але при визначенні модуля пружності використовувалися наближені формули. Не була визначена маса колії, що взаємодіє з рухомих складом, статистичні характеристики неперервних нерівностей колії.

У 1956 році Е. М. Бромберг, М. Ф. Веріго, В. Н. Данілов, М. А. Фрішман [7] досліджували вплив рухомого складу в кривих з перемінною кривизною колії де були враховані конусність бандажу та сили тертя на поверхні контакту гребеня колеса і рейки. На той час не можливо було урахувати всі умови, що впливають на взаємодію колії та рухомого складу, тому вище наведеними вченими не було враховано поперечне зміщення центру мас візків, що суттєво впливає на сили тиску гребня колеса на рейку.

Займаючись питаннями взаємодії рухомого складу з колією у 1956 вчений В. Б. Медель [8] ввів в розрахунки та дослідив вплив дотичних сил на поверхні кочення колеса, що пропорційні швидкостям повздовжніх зсувів коліс по рейкам. У зв'язку відсутності на той час ЕОМ, було не можливо вирішувати системи нелінійних диференціальних рівняння. Тому приведені рівняння були спрощеними і не в повній мірі могли описати динамічні процеси.

Розроблений Х. Хейманом [9] у 1957 році метод дозволяє графічно здійснювати розрахунки вписування в криві різних екіпажів, але цей метод був простий та недостатньо точний. На практиці доводилося користуватися іншими, більш точними методами.

У 1959 році О. П. Єршковим [10] були проведені результати впливу швидкості на непогашене прискорення. Досліджено вплив нерівностей колії в плані на непогашені прискорення. Приведені критерії встановлення допустимих швидкостей іноземних залізниць. Математична модель, яка використовувалась для визначення впливу рухомого складу на колію не враховувала довжину нерівності. Запропонована модель не описувала процес взаємодії колії і рухомого складу у повній мірі.

Вперше у Радянському союзі В. С. Шаройко [11] провів дослідження впливу величин доцентрового прискорення та її зміни у часі на організм людини. Це були одні з перших кроків визначення плавності руху поїздів. За результатами дослідів виявлено вплив прискорень, що діють на людину при довготривалій її дії. Але кількість людей, що брали участь у експерименті, була не обґрунтована. Пізніше, С. В. Амелін, М. П. Смірнов, В. Ф. Яковлев [12] провели дослідження плавності руху поїздів в межах стрілочного перевалу.

Розроблення узагальненого графоаналітичного методу вписування рухомого складу в криві ділянки колії зроблено у 1963 році О. П. Єршковим [13]. При розраху-

нках по цьому методу будуються графіки, що показують залежність направляючих, бічних і рамних сил від величини непогашеного поперечного прискорення. Ці залежності названі графіками - паспортами. Докладно досліджено питання статистичної оцінки відхилень розрахункових параметрів від їх номінальних значень, що дозволяє враховувати все різноманіття залежностей, що визначають рух екіпажа по кривій. У цьому же році О. П. Єршков [14] провів дослідження, що дозволили дати оцінку впливу жорсткості рейкових ниток на рівень і характер напружень у рейках, але це було зроблено лише для одного типу скріплення. При цьому був використано метод вимірювання нормальних згинальних напружень у трьох точках рейки. Даний метод дозволяє отримати величини вертикальних і бокових сил, що передаються рухомим складом на рейку.

У 1964 році В. А. Лазарян [15] написав працю в якій описані методи моделювання динаміки пасажирського та вантажного вагону. Вирішені диференційні рівняння коливань вагонів, але не досліджені питання горизонтальної динаміки.

У 1966 році О. П. Єршков [16] розробив узагальнений метод вписування залізничних екіпажів в кривих з визначенням поперечних сил, що виникають при цьому. Цей метод дозволяє проводити статистичний облік впливу поперечних сил, що виникають незакономірно і випадково через змінні параметри системи «рухомий склад - залізнична колія». Вирішується задача визна-

чення впливу радіусів кривих, підвищення, конструктивних особливостей рухомого складу на поперечні сили між колесом та рейкою. Цей метод дав можливість розробити нормативи та допуски на утримання колії, але ним не можливо дослідити якісний характер взаємодії рухомого складу та колії під час руху. Вирішена квазістатична задача.

Продовжуючи свої дослідження В. С. Шаройко та А. Е. Куравшвілі [17] у 1967 році визначили вплив прискорень у вертикальній площині на людину. Вертикальні прискорення змінювалися за амплітудою та частотою. Були надані рекомендації щодо величин допустимих прискорень та кількісний обсяг, що може виникати під час їзди та діяти на пасажира. За результатами роботи були запропоновані норми для оцінки якості ходу пасажирських вагонів, але проведення досліджень у стаціонарних умовах не могли у повній мірі відобразити реальні умови руху пасажирського вагону, а тільки їх імітували. Не було оцінено вплив горизонтальних та поздовжніх прискорень, що діють на людину.

Слід зауважити, що також велика увага вчених приділялась експериментальним дослідженням взаємодії колії та рухомого складу при русі по горизонтальним нерівностям колії. Одне із таких досліджень було проведено у 1967 році А. Ф. Логвином [18].

У фундаментальній праці 1967 році Ю. С. Ромен [19] запропонував математичну модель взаємодії вантажного вагону з колією будь-

якого обрису у плані. Розроблена математична модель дозволяє дослідити лише горизонтальну динаміку вантажного вагону та колії.

На підставі математичної моделі вантажного вагону з колією, яка була розроблена Ю. С. Роменом [19], вченою Н. Г. Чибізовою [20] проаналізовано вплив горизонтальних нерівностей в кривих ділянках колії. Виявлено вплив довжини та глибини нерівності колії в плані.

Дослідження з виявлення впливу ширини колії при різних радіусах були зроблені вченими Ю. С. Роменом, М. Ф. Веріго, В. О. Певзнером [21] у 1969 році. В цих дослідженнях використана плоска, а не просторова математична модель взаємодії колії та рухомого складу.

Аналіз впливу інерційних та пружньо - дисипативних характеристик системи рухомий склад - колія на їх силову взаємодію при вертикальній нерівності колії зробили вчені В. А. Лазарян, Р. Б. Грановський, В. Д. Данович, Р. С. Липовський [22] у 1970 році. Дослідження проводились за допомогою спрощеної схеми рухомого складу і тільки у вертикальній площині.

Аналіз впливу плавності кривих ділянок колії на комфортабельність їзди за результатами теоретичних і експериментальних досліджень зроблено у 1971 вченим В. Н. Лященко [23].

Займаючись питаннями комфортабельності їзди у 1971 В. С. Шаройко, А. С. Кисильов [24] експериментально довели, що дія прискорення на людину понад 3

м/с<sup>2</sup> при часовій дії до 3 секунд не визиває поганого впливу на людину, якщо вона знаходиться у сидячому положенні.

Одні з перших вчених, які навели систему диференціальних рівнянь, що дозволяють вирішити задачу просторової взаємодії колії і вантажного вагону. були В. А. Лазарян, М. Л. Коротенко, Р. С. Липовський, В. Д. Данович [25]. Одним із недоліків запропонованої математичної моделі було те, що не можливо точно оцінити вплив колеса на рейку у горизонтальній площині і маса колії, яка взаємодіє з колесом, приведена лише у вертикальній площині.

Слід відмітити, що у 1972 році А. А. Львов, Л. О. Грачьова [26] привели результати теоретичних та експериментальних досліджень динаміки рухомого складу з використанням спектральних функцій нерівностей колії. Вченими було досліджено вплив всього спектру вертикальних нерівностей. Математична модель динаміки рухомого складу і колії розглянута лише у вертикальній площині.

Досліджували питання відступів в утриманні вантажних вагонів та залізничної колії П. С. Анісімов, М. Ф. Веріго, Л. О. Грачьова, А. А. Львов, В. О. Певзнер, Ю. С. Ромен, В. Е. Ніколаєв, Б. С. Шинкарев, В. Н. Філіппов [27] у 1976 році. Вище згадані вчені провели теоретичні дослідження з урахуванням зношених ходових частин вантажного вагону по колії з її відступами. За результатами досліджень було рекомендовано ввести оцінку кривизни нерівності в зале-

жності від радіуса кривих. Математична модель, яка використовувалась під час розрахунків, була розроблена Ю. С. Роменом [19] і описувала лише горизонтальну динаміку рухомого складу.

Викладення теоретичних та експериментальних методів дослідження динаміки вагонів було зроблено С. В. Вершинським, В. Н. Даніловим, І. І. Челноковим [28] у 1978 році. Вченими були досліджені питання безпеки, комфорту руху вагону та визначення величин динамічних сил, але не було приведено просторову математичну модель вантажного та пасажирського вагонів при взаємодії з колією.

Слід зауважити також вчених - колійників В. В. Рибкіна, А. П. Трякіна, В. А. Маковського, А. В. Рабиновича [29] що склали у 1978 році диференційні рівняння коливань руху екіпажів по колії з детермінованими нерівностями. Система рівнянь описувала коливання рухомого складу тільки у вертикальній площині.

Одні з небагатьох вчених, що досліджували вплив рухомого складу на колію зі швидкістю руху до 200 км/год були А. А. Львов, Г. Г. Желнін, А. М. Березовський, А. Н. Захаров, І. І. Вучетич, А. М. Тейтель, Ю. С. Ромен, Б. С. Завт, О. П. Єршков, В. Я. Карцев, А. А. Соколовський, Н. Л. Степанова, А. М. Бржезовський [30]. Вченими було встановлено вплив горизонтальних нерівностей колії при різних радіусах на рамну силу, але не приведені місця розташування датчиків на колії, що вимірюють сили. Також

за результатами досліджень неможливо встановити вплив нерівностей колії на динамічні сили між колесом та рейкою.

Як відомо, що проведення розрахунків взаємодії колії і рухомого складу не можливі без знання механічної частини вагонів. Тому у 1980 році Л. А. Шадуром [31] були приведені конструктивні особливості вагонів з їх теоретичними розрахунками. Основним недоліком вище наведеної наукової праці є відсутність розрахунків впливу нерівностей колії на динаміку вагонів.

Розробленням математичної моделі вантажного вагону, що описує просторові коливання, займалися у 1981 році М. М. Соколов, В. Д. Хусидов, Ю. Г. Мінкін [32]. Авторами було враховано реальні обриси профілю колеса, сили тертя у клиновому гаснику коливань та сили, що виникають на ковзунах вагону. Залізнична колія моделюється у математичній моделі, як безінерційна балка, що має постійну безкінечно велику жорсткість.

Дослідженнями процесів взаємодії колії та рухомого складу при високих швидкостях вирішували Є. П. Блохін, Л. А. Манашкін [33], розглядаючи динаміка вагону лише у повздовжній площині.

Досліджуючи вплив геометричних нерівностей колії на напружено деформований стан верхньої та нижньої будови колії, а також конструктивні особливості колії, як інженерної конструкції М. А. Фрішман [34] у 1983 році привів результати досліджень швидкісного вагону лабораторії при швидкостях руху до 250 км/год.

М. А. Фрішман привів математичну також математичну модель рухомого складу, що може бути використана лише для оцінки комфорту їзди пасажирів.

Вирішення задач автоколивачів рухомого складу пов'язано з вченими Ю. В. Дьоміним, Л. А. Длугачем, М. Л. Коротенко, О. М. Марковою [35]. Цими вченими були приведені основні положення теорії стійкості А. М. Ляпунова, обґрунтовані спрощення математичних моделей динаміки залізничних екіпажів, а також приведені результати теоретичних та експериментальних досліджень. Під час вирішення задач автоколивачів рухомого складу не було враховано вплив кута гребеня на силову взаємодію між колесом та рейкою.

У 1985 році були викладені усі основні теоретичні та експериментальні дослідження динаміки колії та рухомого складу [36], що були зроблені під час життя В. А. Лазаряна. У приведених математичних моделях взаємодії рухомого складу, колія моделюється як пряма ділянка, але на рухомий склад діє непогашене прискорення. Це не дає можливість оцінити вплив реальної геометрії колії на процеси динаміки взаємодії колії і рухомого складу.

Фундаментальна праця в якій узагальнені різні методи дослідження динаміки колії і рухомого складу, як єдиної системи, була опублікована у 1986 році М. Ф. Веріго та А. Я. Коганом [37]. Окрім викладення математичних моделей взаємодії колії і рухомого складу вченими були описані конс-

труктивні особливості колії і різних одиниць рухомого складу, що дає можливість складання математичних моделей будь яких рухомих одиниць.

Вирішення задач та дослідженнями динаміки вантажного та пасажирського вагону в кривих ділянках колії займався М. О. Радченко [38] у 1988 році. М. О. Радченко дослідив вплив двоточкового контакту колеса та рейки. У приведених математичних моделях вантажного та пасажирського вагонів, колія моделюється як пряма ділянка, а на рухомий склад діє непогашене прискорення від геометрії кривих ділянок колії та підвищення рейкової нитки.

У 1988 році В. К. Гарг та Р. В. Дуккіпаті [39] привели характеристики нерівностей колії в плані та профілі на залізницях США. Вище згаданими вченими були описані просторові математичні моделі динаміки рухомого складу, але залізнична колія математично описана, як безінерційна балка з безкінечно великою жорсткістю. Крива колії моделюється введенням кривизни колії, а не реальним геометричним положенням.

Динамічна оцінка відступів в утриманні колії була зроблена Н. Ф. Мітіним, О. П. Єршковим [40] у 1989 році. Авторами приведено історичний розвиток нормативів утримання колії та їх ступені відступів. Приведені основні критерії, що лягли в основу розроблення нормативів та допусків утримання колії. Динамічна оцінка відступів в утриманні колії робиться лише для вантажного рухомого складу.

Теоретичні та експериментальні методи дослідження динаміки вагонів з визначенням безпеки та комфорту руху вагону, а також динамічних сил системи «рухомий склад-залізнична колія» у 1991 році були зроблені С. В. Вершинським, В. Н. Даниловим, В. Д. Хусідовим [41]. Цими вченими були приведені чисельні методи вирішення систем диференціальних рівнянь, які використовуються в електронних обчислювальних машинах.

Основні положення описуючі коливання та стійкість колії в вертикальній та горизонтальній площинах під дією рухомих динамічних навантажень у 1997 році були зроблені А. Я. Коганом [42].

Г. Г. Желнін [43] використовує математичну модель, яка базується на системі диференціальних рівнянь Ю. С. Романа. Особливим внеском автор при моделюванні взаємодії є зміна бокової жорсткості колії по довжині стрілочного переводу. На основі своїх досліджень [44-45] автор проаналізував зміну бокової жорсткості колії в межах бокового напрямку.

Розробленням аналітичних рівняння, що дають змогу оцінити стійкість колеса проти вкочування на рейку, займався В. С. Лисюк [46]. Але запропоновані рівняння не дають можливість дослідити процес вкочування.

Одними із перших вчених в Україні, що займалися проблемами прискореного та швидкісного руху поїздів були вчені М. Б. Курган та Д. М. Курган [47]. Ними були запропоновані нормативи утримання колії в плані та вказано, що потріб-

но зробити більш жорсткі норми утримання колії в плані для забезпечення швидкостей руху понад 140 км/год. Теоретичні розрахунки, для визначення запропонованих нормативів, проводилися за результатами математичного моделювання де не використовувалась просторова модель пасажирського вагону.

Детальна математична модель взаємодії колії і пасажирського вагону на візках КВЗ-ЦНП була приведена у 2001 році В. В. Хусідовим, А. А. Хохловим, Г. И. Петровим, В. Д. Хусідовим [48]. Положення колії на відміну від попередніх математичних моделей задавалось реальною геометрією, але сама колія моделювалася, як абсолютно тверда балка.

Теоретичні та експериментальні дослідження динаміки локомотивів при швидкостях руху до 350 км/год були викладені В. М. Кондрашовим [49] у 2001 році. Показано, що відступи колії в плані третього та четвертого ступенів дуже погано впливають на рухомий склад із підвищенням швидкості руху. Враховано форми поперечного перерізу коліс та математично описані двохточковий контакт та забіг колісної пари відносно рейки. Колія у вертикальній площині представлена як абсолютно жорстка безінерційна балка.

Проблемами безпеки руху поїздів займався Е. М. Сокол [50]. Вченим у 2002 році було викладено аналітичні умови сходу з рейок рухомого складу при вкочуванні гребеня колеса на головку рейки. Рухомий склад в описані процесу сходу колеса з рейки не моделюється.

ся в повному обсязі. Система «рухомий склад - залізнична колія» моделюється у вигляді диференційних рівнянь руху однієї колісної пари по колії.

У 2002 році Є. П. Блохін, О. М. Пшінько, М. Л. Коротенко, О. Г. Рейдемейстер [51] привели диференційні рівняння руху колісної пари по колії. На підставі розрахунків було отримано довжину вкочування колеса на рейку. Рухомий склад не моделюється в повному обсязі. Приведено диференційну систему рівнянь руху однієї колісної пари по колії.

Проблеми методики моделювання рухомого складу були розглянуті С. В. Мямліним [52] у 2002 році. Запропонований метод дає можливість автоматичного отримати системи диференційних рівнянь за допомогою програмного забезпечення C++. С. В. Мямлін використовує гіпотезу о малості кутових переміщень рухомого складу.

Дослідження проблем повздожньої динаміки поїзда при різних режимах ведення поїзду та різних швидкостях руху були приведені П. Т. Гребенюком [53] у 2003 році. Динаміка вагону розглядається лише у повздожній площині, що не дає можливість визначити вплив рухомого складу на колію.

Основні види випробувань вагонів: лабораторні та стендові, статичні, динамічні (ходові), по впливу на залізничну колію, випробування на удар між вагонами, вібраційні наведені у 2004 році П. С. Анісімовим [54]. На підставі викладень можливо проводити експериментальні дослідження динамі-

ки рухомого складу і визначати його вплив на колію.

Основні математичні залежності, що дозволяють розрахувати залізничну колію на міцність та стійкість в Україні були отримані у 2005 році вченими Е. І. Даніленком, В. В. Рибкіним [55]. Методи дозволяють визначити вплив всього спектру рухомого складу на колію з урахуванням теорії ймовірностей та математичної статистики. Але даний підхід не дає можливість дослідити динаміку руху вагонів та колії а також вплив нерівностей колії на комфорт їзди пасажирів.

Оскільки локомотиви впливають на колію більш суттєво чим вагони, тобто динамічні та статичні сили, що виникають в колії є найбільшими, тому проблеми впливу на колію локомотивів завжди є актуальними. У 2005 році М. А. Ібрагімов, В. І. Кисильов, В. А. Рамлов, А. В. Скалін [56] розглядали питання непросторової динаміки локомотивів.

Подальший розвиток дослідження руху рейкових екіпажів за допомогою математичного моделювання набули в роботі В. В. Говорухи [57] у 2006 році.

У 2006 році В. І. Колесніковим, В. Б. Воробйовим, В. В. Шаповаловим, М. Б. Шубом [58] були визначені величини дисипативних сил колії, що впливають на зниження рівня дії рухомого складу на колію, зменшення зносу колії, збільшення тягових властивостей локомотивів, зниження рівня шуму та вібрації при русі рухомого складу при високих швидкостях руху. Даний підхід



не дозволяє дослідити динаміку рухомого складу в повному обсязі.

Під час математичного моделювання динаміки рухомого складу та колії дуже важливо точно описати силову взаємодію між тілами. Тому у 2007 році Л. А. Манашкін, С. В. Мямлін, В. И. Приходько [59] проаналізували та привели математичні моделі пристроїв гасіння коливань рухомого складу з наведенням їх конструктивних схем. Запропоновані рівняння дозволяють описувати взаємодію елементів рухомого складу між собою під час руху, що дозволяє вирішувати задачі динаміки колії і рухомого складу.

Фундаментальна праця за весь період незалежності України у напрямку залізничної колії була зроблена Е. І. Даніленко [60] у 2010 році. Приведені результати експериментальних та теоретичних досліджень вітчизняних та закордонних вчених, що займалися проблемами взаємодії колії та рухомого складу, приведено основні конструктивні вимоги до утримання та проектування залізничної колії.

Серед закордонних вчених, які зробили істотний внесок в теорію і експериментальне вивчення питань взаємодії колії і рухомого складу протягом всієї історії розвитку цієї науки, слід назвати Є. Вінклера, Г. Циммермана, Г. Герца, Ф. Бірмана, Е. Фраймана, Сен-Венана, Марьє, Тальботома, Мітчела, К. Мацубару, А. Тіля, Н. Балуха, М. Балух та ін. [61-65].

Питаннями взаємодії колеса та рейки у їх контакті займався у 1926 році Ф. Картер [66]. Ним було ви-

значено, що при коченні колеса по рейці відбувається так зване пружне ковзання (пружне зрушення, псевдоковзання, крип) за рахунок пружних деформацій матеріалу колеса й рейки.

У 1966 році Д. Калкер [67] установив, що, крім прослизань коліс, має місце також вертіння (спин - взаємний поворот колеса й рейки щодо осі, нормальної до площини контакту).

Дуже важлива праця у напрямку визначення комфорту їзди пасажирів була зроблена у 1957 році Шперлінгом [68]. Шперлінг запропонував критерії комфорту їзди пасажирів та увів коефіцієнт для оцінки плавності ходу.

Серед закордонних вчених, ще слід назвати Вікенса, К. Есвелда, К. Кноте, К. Попа, А. А. Шабану, К. Е. Заазаа, Х. Шигуяму [69-73], які займалися та продовжують займатися теоретичними та експериментальними проблемами динаміки рухомого складу та колії.

## Висновки

За аналізом наведеного матеріалу можна зробити наступні висновки:

1. Основні напрямки досліджень, проведених за останні 40-50 років у дослідженнях динаміки взаємодії колії, стрілочних переводів та рухомого складу - це натурний експеримент, аналітичні методи дослідження, методи фізичного моделювання, методи, засновані на чисельному інтегруванні диференціальних рівнянь.

2. Для подальших більш точних досліджень процесів динаміки колії, стрілочних переводів та рухомого складу потрібно врахувати досвід та недоліки вище наведених наукових робіт.

### Список літератури

1. Холодецкий А. А. Исследование влияния внешних сил на верхнее строение железнодорожного пути [Текст] / А. А. Холодецкий // Инженер – 1896. – №12. – с. 507 – 517.

2. Петров Н. П. Напряжения в рельсах от вертикальных давлений катящихся колес. Влияние скорости и неправильного вида колес [Текст]: / Монография / Н. П. Петров – С.-Петербург, 1907. – 120 с.

3. Годыцкий-Цвирко А. М. Взаимодействие пути и подвижного состава железных дорог [Текст] / А. М. Годыцкий-Цвирко – М.: Гострансиздат, 1931. – 215 с.

4. Марье Г. Взаимодействие пути и подвижного состава [Текст] / Г. Марье. – М.: Госжелдориздат, 1933. – 336 с.

5. Королев К.П. Вписывание паровозов в кривые участки пути [Текст]/ К.П. Королев // Труды Всесоюз. науч. исслед. ин-та ж.-д. трансп. – М.: Трансжелдориздат. – 1950. – Вып.37.– 224 с.

6. Вериго М. Ф. Взаимодействие пути и подвижного состава и вопросы расчетов пути [Текст]/ М. Ф. Вериго, А. Х. Ветченко, О. П. Ершков, С. Н. Попов, Б. Д. Хейстер // Труды Всесоюз. науч. исслед. ин-та ж.-д. трансп. – М.: Трансжелдориздат. –1955. – Вып.97. – 412 с.

7. Бромберг Е. М. Взаимодействие пути и подвижного состава [Текст] / Е. М. Бромберг, М. Ф. Вериго, В. Н. Данилов, М. А. Фришман // М., Трансжелдориздат, 1956. – 280 с.

8. Медель В. Б. Взаимодействие электровоза и пути [Текст] / В. Б. Медель. – М.: Трансжелдориздат, 1956. – 335 с.

9. Хейман Х. Направление рельсовых экипажей рельсовой колеи [Текст] / Х Хейман. –М.: Трансжелдориздат, 1957. – 415 с.

10. Ершков О. П. Вопросы подготовки железнодорожного пути к высоким скоростям движения [Текст] / О.П. Ершков // Труды Всесоюз. науч. исслед. ин-та ж.-д. трансп. – М.: Трансжелдориздат, 1959. – Вып.176. – 124 с.

11. Шаройко В. С. Исследование по вопросу установления допускаемых величин непогашенных центробежных ускорений на железных дорогах [Текст] / В. С. Шаройко // Информационное сообщение № 2. – Л., 1959. – 35 с.

12. Амелин С. В. Вопросы взаимодействия пути и подвижного состава в пределах стрелочных переводов [Текст] / С. В. Амелин, М. П. Смирнов, В. Ф. Яковлев // Труды ЛИИЖТа. – Л., 1962. – № 188. – с. 63-105.

13. Ершков О. П. Построение графиков удельных характеристик и графиков-паспортов вписывания ж.д. экипажей в кривые (теоретические основы) [Текст]/ О. П. Ершков // Труды Всесоюз. науч. исслед. ин-та ж.-д. трансп. – М.: Трансжелдориздат. – 1963. – Вып.268. – 126 с.

14. Ершков О. П. Исследование жесткости железнодорожного пути и ее влияние на работу рельсов в кривых участках [Текст] / О. П. Ершков // Труды Всесоюз. науч. исслед. ин-та ж.-д. трансп.– М.: Трансжелдориздат, 1963. – Вып.264. – с. 39 – 98.

15. Лазарян В. А. Динамика вагонов [Текст] / В. А. Лазарян – М.: Транспорт, 1964. - 256 с.

16. Ершков О. П. Расчеты поперечных горизонтальных сил в кривых / О. П. Ершков // Труды Всесоюз. науч. исслед. ин-та ж.-д. трансп.– М.: Транспорт. –1966. – Вып.301. – 235 с.

17. Шаройко В. С. Исследования по определению допустимых величин колебаний в пассажирских вагонах [Текст] / В. С. Шаройко, А.Е. Курашвили // Исследование напряженного состояния рельсов и элементов стрелочных переводов: сб.тр. ЛИИЖТа.– Л.,: Транспорт. – 1967. – Вып.260. – с. 139–150.

18. Логвин А. Ф. Экспериментальные исследования характера взаимодействия пути и подвижного состава, обусловленного горизонтальными неровностями [Текст] // Исследования взаимодействия пути и подвижного состава: сб.тр. ДИИТа – Днепропетровск. – 1967. – Вып.78. – с. 46–52.

19. Ромен Ю. С. О нелинейных колебаниях железнодорожного экипажа в кривых произвольного очертания [Текст] / Ромен Ю. С. // Межвуз. сб. науч. Трудов ВНИЖТа. – 1967. - Вып. 347. – с 5-26.

20. Чибизова Н. Г. Исследования на АВМ воздействия грузового полувагона на путь в кривых с не-

ровностями в плане [Текст] //Межвуз. сб. науч. Трудов ВНИЖТа. – 1967. - Вып. 347. – с 38-53.

21. Ромен Ю. С. Влияние зазора в колее на величину боковых сил при взаимодействии пути и подвижного состава. [Текст] / Ю. С. Ромен, М. Ф. Вериго, В. О. Певзнер // Сб. науч. тр. ЦНИИ МПС. - М., 1969. – № 385. – с. 95-106.

22. Лазарян, В. А. Вынужденные колебания четырехосного вагона, движущегося по инерционному пути [Текст] / В. А. Лазарян, Р. Б. Грановский, В. Д. Данович, Р. С. Липовский // Труды ДИИТа. - 1970. - № 117. - с. 3–15.

23. Лященко В. Н. Оценка плавности кривых участков пути в плане [Текст] / В. Н. Лященко // Вопросы прочности и эксплуатации железнодорожного пути: сб. тр. ХИИТа.– М.: Транспорт. – 1971. – Вып.117. – С.11–15.

24. Шаройко В. С. О допускаемых значениях горизонтальных ускорений при кратковременном их воздействии [Текст] / В. С. Шаройко, А. С. Киселев // Исследование движения экипажей на боковой путь: сб.тр. ЛИИЖТа. — Л.,: Транспорт. – 1971. – Вып.323. – с. 28–39.

25. Лазарян В. А. Дифференциальные уравнения пространственных колебаний четырехосного грузового вагона при движении по инерционному пути, рассматриваемому как дискретная система [Текст] / В. А. Лазарян, М. Л. Коротенко, Р. С. Липовский, В. Д. Данович // Труды ДИИТа. - 1972. - № 138. - с. 3–16.

26. Львов А. А. Современные методы исследования динамики вагонов [Текст] / А. А. Львов, Л. О. Грачева // Тр. ЦНИИ МПС. – 1972. – № 457. – 160 с.
27. Вериго М. Ф. Динамические силы на подвижном составе и в пути [Текст] / М. Ф. Вериго, Л. О. Грачев // Тр. ВНИИЖТа – 1976. – № 549. – 93 с.
28. Вершинский С. В. Динамика вагона [Текст] / С. В. Вершинский, В. Н. Данилов, И. И. Челноков – М.: Транспорт, 1978. – 352 с.
29. Уравнения пространственных колебаний при движении экипажа по пути с детерминированными неровностями [Текст] / Рыбкин В. В., Трякин А. П., Маковский В. А. и др. // Исследования взаимодействия пути и подвижного состава. Межв. сб. трудов. – Днепропетровск. – 1978. – с. 97-110.
30. Параметры подвешивания электропоезда ЭР200 и результаты динамических (ходовых) и по воздействию на путь испытаний [Текст] / А. А. Львов, Г. Г. Желнин, А. М. Березовский и др. // Тр. ВНИИЖТа. – 1978. – № 592 – с. 4 - 80.
31. Шадур Л. А. Вагоны. Конструкция, теория и расчет. [Текст] / Л. А. Шадур – М.: Транспорт, 1980. – 440 с.
32. Соколов М. М. Динамическая нагруженность вагона [Текст] / М. М. Соколов, В. Д. Хусидов, Ю. Г. Минкин – М.: Транспорт, 1981. – 207 с.
33. Блохин Е. П. Динамика поезда [Текст] / Е. П. Блохин, Л. А. Манашкин. – М.: Транспорт, 1982. – 222 с.
34. Фришман М. А. Как работает путь под поездами [Текст] / М. А. Фришман – М.: Транспорт, 1983. – 168 с.
35. Автоколебания и устойчивость движения рельсовых экипажей [Текст] / Ю. В. Демин, Л. А. Длугач, М. Л. Коротенко, О. М. Маркова. – Киев: Наукова думка, 1984. – 160 с.
36. Лазарян В. А. Динамика транспортных средств. [Текст]: Избр. тр. / В. А. Лазарян – К.: Наук. думка, 1985. – 528 с.
37. Вериго М. Ф. Взаимодействие пути и подвижного состава [Текст] / М. Ф. Вериго, А. Я. Коган. – М.: Транспорт, 1986. – 560 с.
38. Радченко Н. А. Криволинейное движение рельсовых транспортных средств [Текст] / Н. А. Радченко – К.: Наукова думка. – 1988. – 216 с.
39. Гарг В. К. Динамика подвижного состава [Текст] / В. К. Гарг, Р. В. Дуккипати – М.: Транспорт, 1988. – 392 с.
40. Ершков О. П. Динамическая оценка отступлений в содержании железнодорожного пути и ее дальнейшее совершенствование [Текст] / О. П. Ершков, Н. Ф. Митин. – М.: Транспорт. – 1989. – с. 44.
41. Вершинский С. В. Динамика вагонов: Учебник для вузов ж.-д. Транспорта [Текст] / С. В. Вершинский, В. Н. Данилов, В. Д. Хусидов – М.: Транспорт, 1991. – 360 с.
42. Коган А. Я. Динамика пути и его взаимодействие с подвижным составом [Текст] / А. Я. Коган. – М.: Транспорт, 1997. – 326 с.
43. Желнин, Г. Г. Допустимые скорости движения на боковое на-

правление стрелочного перевода с учетом его фактического состояния. Автореферат дисертації д.т.н. [Текст] / Г. Г. Желнин. М.: ВНИИЖТ, 1992, 45 с.

44. Желнин, Г. Г. Установление допускаемых скоростей движения по стрелочным переводам с учетом отступлений от норм содержания в профиле и плане [Текст] / Г. Г. Желнин, А. П. Татуревич, С. И. Решетилов // Вопросы взаимодействия пути и подвижного состава; Межвуз. сб. научн. тр. - Днепропетровск: ДИИТ, 1990. - С. 97-101.

45. Желнин, Г. Г. Экспериментальная оценка неровностей пути в плане в зоне стрелочных переводов [Текст] / Г. Г. Желнин, А. П. Татуревич, С. И. Решетилов // Вопросы взаимодействия пути и подвижного состава; Межвуз. сб. научн. тр. - Днепропетровск: ДИИТ, 1991. - С. 25-33.

46. Лысюк В. С. Причины и механизм схода колес с рельса. Проблема износа колес и рельсов. [Текст] / В. С. Лысюк. - М.: Транспорт, 1997. - 188 с.

47. Курган Н. Б. О нормах содержания кривых на участках скоростного движения [Текст] / Н. Б. Курган, Д. Н. Курган // Залізничний транспорт України. -1999. - №4. - С.7-9.

48. Хусидов В. В. Динамика пассажирского вагона и пути модернизации тележки КВЗ-ЦНИИ [Текст] / В. В. Хусидов, А. А. Хохлов, Г. И. Петров, В. Д. Хусидов // - М.: МИИТ, 2001. - 162 с.

49. Кондрашов В. М. Единые принципы исследования динамики

железнодорожных экипажей в теории и эксперименте [Текст] / В. М. Кондрашов // - М.: Интекст, 2001. - 190 с.

50. Сокол Э. Н. Сходы с рельсов и столкновения подвижного состава. - (Судебная экспертиза. Элементы теории и практики) [Текст]: Монография / Э. Н. Сокол. -К.: Транспорт України, 2002. - 364 с.

51. Блохин Е. П. О запасе устойчивости колеса против схода с рельса [Текст] / Е. П. Блохин, А. Н. Пшинько, М. Л. Коротенко и др. // Залізничний транспорт України. - К., 2002. №2. - С. 22-24.

52. Мямлін С. В. Моделирование динамики рельсовых экипажей. [Текст] / С. В. Мямлін -Д.: Новая идеология, 2002. - 240 с.

53. Гребенюк П. Т. Продольная динамика поезда: труды ВНИИЖТа [Текст] / П. Т. Гребенюк -М.: Интекст, 2003. - 95 с.

54. Анисимов П. С. Испытание вагонов [Текст]: Монография. / П. С. Анисимов. - М.: Маршрут, 2004. - 197 с.

55. Даніленко Е.І. Правила розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість [Текст]: ЦП/0117 / Е.І. Даніленко, В.В. Рибкін. - К.:Транспорт України, 2005. - 140с.

56. Ибрагимов М. А. Динамика локомотивов: Учебное пособие [Текст] / М. А Ибрагимов, В. И. Киселев, В. А. Рамлов и др./ - М.: РГОТУПС, 2005. - 128 с.

57. Говоруха В. В. Моделирование движения рельсовых экипажей [Текст] / В. В. Говоруха - Киев: Наук. Думка, 2006. - 460 с.

58. Колесников В. И. Улучшение взаимодействия пути и подвижного состава [Текст] : Монография. / В. И. Колесников, В. Б. Воробьев, В. В. Шаповалов, М. Б. Шуб – М.: Маршрут, 2006. – 365 с.

59. Манашкин Л. А. Гасители колебаний и амортизаторы ударов рельсовых экипажей (математические модели) [Текст]: Монография / Л. А. Манашкин, С. В. Мямлин, В. И. Приходько. – Днепропетровск: АРТ-ПРЕСС, 2007. – 196 с.

60. Даніленко Е. І. Залізнична колія [Текст]. /Улаштування, проектування і розрахунки, взаємодія з рухомим складом/ Підручник для вищих навчальних закладів (у 2-х томах). Київ, Інпрес, 2010. – Том 1 - 528 с., Том 2 -456 с.

61. Мацубара К. Методы укладки и выправки пути на прямых и кривых участках и обеспечение безопасности движения поездов с высокими скоростями (120 км/ч и более) [Текст] / К. Мацубара // Ежемесячный Бюл. Международной ассоциации железнодорожных конгрессов. – 1961. – № 12. – С. 1–64.

62. Тиль А. Методы укладки и выправки пути на прямых и кривых участках пути и обеспечение безопасности движения поездов с высокими скоростями (120 км/ч и более) [Текст] / А. Тиль // Ежемесячный Бюл. Международной ассоциации железнодорожных конгрессов. – 1962, – № 5. – С. 14–74.

63. Тиль А. Методы укладки и выправки пути на прямых и кривых участках пути и обеспечение безопасности движения поездов с высокими скоростями (120 км/ч и более)

[Текст] / А. Тиль // Ежемесячный Бюл. Международной ассоциации железнодорожных конгрессов. – 1962, – № 5. – С. 14–74.

64. Taylor C. [Текст] // Railway Gazette International. – 2001, № 10. – P. 671–674.

65. Baluch Maria. Dobor wartosci parametrow kinematycznych w projektowaniu modernizacji linii kolejowych [Текст] / Maria Baluch // Centrum NaukowoTechniczne Kolejnictwa. Problemy Kolejnictwa. Zeszyt 119. – Warszawa. – 1995.

66. Garter F.W. On the Action of a Locomotive Driving Wheel [Текст] // Proc. Royal Soc. – 1926. – Ser. A. – Vol. 112. – P. 151–157.

67. Kalker J.J. Rolling With Slip and Spin in the Presence of Dry Friction [Текст] // Wear. – Vol. 9. – 1966. – P. 20–38.

68. Sperling E., Betzholt C. Contribution to the Evaluation of Comfortable Running of Railway Vehicles [Текст] // Monthly Bull. of the International Association. – 1957. – Vol. 34. – P. 672–678.

69. Wickens A.H. The Dynamics of Railway Vehicles on Straight Track : Fundamental Considerations of Lateral Stability [Текст] // Proc. JME, London. – 1966. – Vol. 180, part 3F. – P. 29–44.

70. Esveld C. Modern railway track [Текст] / Esveld C// Koninklijke van de Garde BV - 2001. – P. 653.

71. Popp Karl System Dynamics and Long-Term Behaviour of Railway Vehicles, Track and subgrade [Текст] / Karl Popp and Werner Schiehlen. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg – 2003. – P. 488.

72. Knothe Klaus Gleisdynamik [Текст] / Knothe Klaus. – Berlin – 2001. – P. 221.

73. Ahmed A. Shabana Railroad vehicle dynamics. A Computational Approach [Текст] / Ahmed A. Shabana, Khaled E. Zaazaа, Hiroyuki Sugiyama. – Taylor & Francis Group – 2008. – P. 343.

### **Анотації**

Викладено основні теоретичні та експериментальні положення по дослідженням взаємодії рухомого складу, колії та стрілочних переводів. Проаналізовано основні ідеї з їх критичним аналізом.

---

Описаны основные теоретические и экспериментальные положения по исследованию взаимодействия подвижного состава, пути и стрелочных переводов. Проанализированы основные с их критическим анализом.

---

There are described theoretical and experimental positions on research of interaction of a rolling stock, a track and switches. The basic ideas are analysed and new regulations about improvement of the theory of researches of the given problematics are offered.