

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертацію Лейбука Ярослава Сергійовича
*«ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ІНЕРЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОЛІЇ НА
ПРОЦЕСИ ВЗАЄМОДІЇ З РУХОМИМ СКЛАДОМ»*,
представленої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за
спеціальністю 05.22.06 – залізнична колія

Актуальність теми дисертації

Питання, що пов'язані із взаємодією залізничної колії та рухомого складу завжди привертали до себе увагу багатьох дослідників на протязі всього існування залізничного транспорту, як самостійної інфраструктурної складової. Ці багаторічні дослідження дозволили розробити достатньо велику кількість методик та методів, які дозволяють адекватно оцінювати напружений стан залізничної колії, встановлювати температурні умови її роботи та ще багато аспектів, що мають безпосередній вплив на один з основних показників роботи залізничного транспорту – безпеку руху. Різноманіття експлуатаційних умов, динамічний характер впливу рухомого складу на колію, неоднорідність фізико-механічних характеристик матеріалів свідчать про складність процесів взаємодії залізничної колії і рухомого складу. Тому при вивченні цього питання завжди виникала необхідність у вирішенні багатофакторних задач з великою кількістю невідомих. Крім того, необхідно також враховувати, що фактори впливу на процеси взаємодії є змінними у часі і просторі.

До одного з таких факторів можна віднести величину маси колії, яка безпосередньо приймає участь у коливальних процесах, під час взаємодії з рухомим складом, – приведену масу залізничної колії. Попередні дослідження, з даного питання в переважній більшості датуються другою половиною ХХ сторіччя, тому за об'єктивних причин результати цих досліджень не в повній мірі відповідають сучасним умовам експлуатації на магістральних залізницях України. Тому можна вважати, що обраний в даній роботі науковий напрямок є актуальним, особливо приймаючи до уваги перспективи підвищення швидкостей руху.

Також представлена робота пов'язана з виконанням науково-дослідних робіт в „Українському державному університеті залізничного транспорту у 2013–2021 рр., в яких дисертант приймав безпосередню участь.

Обґрунтованість наукових положень і достовірність отриманих результатів

Наукові положення, висновки і рекомендації, які сформульовані в дисертації, є в достатній мірі обґрунтованими і достовірними, що обумовлено коректністю постановки й розв'язання поставлених задач. Достовірність наукових результатів обумовлена використанням незалежних методів теоретичних та експериментальних досліджень, в тому числі основних положень теорії пружності, будівельної та теоретичної механіки, методів розрахунку залізничної колії на міцність та стійкість, що підтверджується узгодженістю між собою теоретичних та експериментальних даних досліджень.

Наукова новизна отриманих результатів

Наукова новизна, що визначає рівень кандидатської дисертації полягає у наступному:

1. В дисертації запропоновано величину приведеної маси залізничної колії визначати з урахуванням геометрії розповсюдження напружень (відповідних динамічних деформацій) у півпросторі залізничної колії, який залучений до взаємодії з рухомим складом.
2. Математичну модель по визначенню сил взаємодії рухомого складу і залізничної колії на дискретній підрейковій основі з нелінійними пружно-дисипативними характеристиками удосконалено за рахунок введення в модель інерційних характеристик колії.
3. Теоретичні підходи з визначення приведених мас баластного шару, земляного полотна і залізничної колії в цілому, також удосконалені і доповнені, що дозволило врахувати вплив окремих конструктивних параметрів залізничної колії та швидкостей руху на її приведену масу.

Практичне значення отриманих результатів дисертаційної роботи полягає у наступному:

- отримані в роботі результати дозволяють більш точно визначати напружений стан залізничної колії, зокрема при введенні в експлуатацію на магістральних залізницях України нових типів рухомого складу та конструкцій колії, а також створюють передумови для оцінки можливості підвищення швидкостей на діючих дільницях прискореного руху АТ «Укрзалізниця».

- результати дослідження використовуються в навчальному процесі Українського державного університету залізничного транспорту при підготовці фахівців освітнього рівня «магістр» спеціальності 273 «Залізничний транспорт» за освітньою програмою «Залізничні споруди та колійне господарство».

Практичне впровадження результатів дисертаційної роботи підтверджується відповідними актами, які надано в додатках до дисертації.

5 Повнота викладу наукових положень, висновків і рекомендацій в опублікованих працях

Основні результати дисертаційних досліджень опубліковано у 12 наукових працях, з яких: 3 статті у виданнях інших держав, які входять до Організації економічного співробітництва та Європейського союзу, з яких 2 – індексуються в міжнародній наукометричній базі Scopus; 4 статті у виданнях, що входять до переліку фахових видань України та 5 праць апробаційного характеру. Результати дисертаційних досліджень доповідались і отримали схвалення на п'яти міжнародних науково-технічних конференціях, засіданні кафедри «Залізнична колія і транспортні споруди» (м. Харків, 23 листопада 2020 р.) та міжвузівському семінарі Українського державного університету залізничного транспорту щодо апробації результатів дисертаційних досліджень (18 лютого 2021 р.)

Наведений перелік публікацій та їх зміст відповідають темі дисертації і в достатньому обсязі відображають основні положення і наукові результати, що отримані в роботі.

6 Оцінка змісту дисертації і її завершеності

Дисертація є завершеною науковою роботою, яка виконана на актуальну тему, написана українською мовою, грамотно з послідовним викладенням матеріалу.

Представлена до захисту дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел із 138 найменувань на 14 сторінках, містить 153 сторінок основного тексту, 45 рисунків, 15 таблиць, 3 додатка.

Обсяг основного тексту, структура дисертації, порядок викладення та оформлення матеріалу у дисертації та авторефераті дисертації відповідає вимогам ДАК України.

Автореферат достатньою мірою відображає основні положення дисертації і вони є ідентичними за змістом.

У **вступі** обґрунтовано актуальність поставленого завдання, визначено мету і задачі досліджень, приведені основні наукові положення і результати, що винесені на захист, а також зазначено практичне значення результатів роботи, наведені дані про апробацію виконаної роботи й публікацію матеріалів досліджень.

Перший розділ присвячений аналізу розвитку теорії взаємодії залізничної колії з рухомим складом. Зроблені висновки про існування на теперішній час достатньо великої кількості моделей та засобів математичного моделювання роботи залізничної колії в різних умовах експлуатації.

Для вирішення поставлених в даному дослідженні задач, в якості альтернативи загальноприйнятій розрахунковій схемі залізничної колії у вигляді балки на суцільній пружній основі, автором пропонується використання просторової моделі колії, як балки, що спирається на окремі опори з нелінійними пружно-дисипативними характеристиками, яка була розроблена проф. О.М. Даренським для умов промислового залізничного транспорту. Зазначається про необхідність внесення змін та доповнень в цю просторову модель, виходячи із специфіки магістральних залізниць.

Такий вибір розрахункової моделі можна вважати можливим для виконання дисертаційної роботи. Але з поясненням автора щодо переваг

розрахункової моделі колії в вигляді балки, що спирається на окремі пружні опори, в порівнянні з розглядом балки нескінченної довжини на суцільній пружній основі не можна погодитися. Автор вказує, що до такої думки схиляється велика кількість дослідників, ми з цим незгодні. Посилання на застосування такої моделі колії проф. О.М. Даренським тут не зовсім правильне, бо в дисертації проф. Даренського вирішувалась інша задача – взаємодія колії та рухомого складу в умовах промислового транспорту, де є сенс розглядати підрейкові опори як такі, що є рівнопружними і мають нелінійні пружно-дисипативні характеристики. Але в дисертації, що розглядається вирішується задача процесів взаємодії колії і рухомого складу в умовах магістрального транспорту та з перспективою надання рекомендацій для підвищення швидкостей руху поїздів. (Задля справедливості зазначимо, що задачу порівняння розрахунків рейки як балки на окремих пружних опорах і рейки як балки нескінченної довжини, що укладена на суцільній пружній основі досконало вирішив видатний український вчений проф. С.П. Тимошенко ще в 1915 році в роботі «К вопросу о прочности рельсов»). На основі прикладів порівняльних розрахунків в даній роботі зроблено висновок про доцільність застосування методу розрахунків рейки як балки на суцільній пружній основі).

У другому розділі наведено результати адаптації для умов залізниць загального користування просторової математичної моделі «екіпаж–колія» проф. О.М. Даренського. Увесь комплекс змін та доповнень умовно можна розподілити на дві категорії.

Перша – включала до себе конструкційні особливості пасажирських електропоїздів EJ675 («Skoda»), HRCS2 («Hyundai Rotem»), ЕКр-1 (ПАО «КВСЗ»), які експлуатуються на ділянках прискореного руху АТ «Укрзалізниця». Однією з ключових особливостей цих типів рухомого складу, яку було враховано в роботі, була наявність двохступеневого ресорного підвішування. Як базову, було прийнято схему чотиривісного екіпажа з урахуванням кінетичних та силових зв'язків між його елементами, зокрема реакцій комплектів першого та другого ступенів ресорного підвішування. Кузов і частини візка вважаються твердими тілами. Вертикальні силові й кінематичні зв'язки підсистем «екіпаж» і «колія» подані з урахуванням одностороннього

зв'язку колеса і рейки, пружної й дисипативних реакцій колії. Враховано можливість руху по колії коліс, що мають дисбаланс, нерівномірність прокату та повзуни і створюють ударні сили у стиках. Розрахункова схема приведена на рис. 2 автореферату та рис. 2.11 в дисертації.

До другої умовної категорії доповнень, які було внесено автором, можна віднести спробу врахування приведеної маси залізничної колії в процесі формування силової взаємодії з рухомим складом. Для цього в роботі розглянуто вимушені коливання залізничної колії по довжині у відповідний момент часу під дією зовнішнього вертикального навантаження, що змінюється по гармонійному закону. Отримане автором рішення диференційного рівняння вертикальних переміщень рейки, враховує не тільки пружні (геометричні) характеристики підрейкових опор, а також і масу залізничної колії, яка бере участь у процесі вимушених коливань під дією зовнішніх навантажень, що приведено на стор. 7 автореферату і стор. 91 дисертації.

В третьому розділі автором сформовано теоретичні підходи для визначення приведеної маси залізничної колії, проведені теоретичні розрахунки цієї величини та наведено результати експериментальної перевірки отриманих результатів.

Для створення теоретичних передумов для визначення приведеної маси залізничної колії в роботі було використано основні положення математичної моделі напружено-деформованого стану залізничної колії, яка була розроблена проф. Д.М. Курганом, на основі динамічної задачі теорії пружності. Одним із ключових положень якої є визначення геометрії поширення напружень (і відповідних деформацій) у півпросторі залізничної колії від дії коліс рухомого складу. Розроблений та внесений автором в математичну модель відповідний розрахунковий модуль, дозволив визначати приведені до точки контакту з колесом маси рейкошпальної решітки та підшпальної основи.

Це дало змогу отримати обчислювальний апарат та провести теоретичні розрахунки для різних співвідношень фізико-механічних характеристик підшпальної основи та конструктивних складових верхньої будови колії. Результати цих розрахунків показали, що для залізничної колії з рейками типу

Р65 на залізобетонних шпалах, в залежності від значень інших характеристик, величина приведеної маси знаходиться в межах 1100÷1500 кг.

В якості висновку в роботі вказано, що отримані теоретичні результати було перевірено в рамках експериментальних робіт, які проводились на діючих ділянках колії регіональної філії «Південна залізниця» АТ «Укрзалізниця». Задовільна збіжність (розбіжність до 8%) результатів експериментальних досліджень засвідчила адекватність запропонованих в роботі підходів по визначенню приведеної маси залізничної колії.

Даний розділ є практично ключовим в дисертаційній роботі, так як включає теоретичну частину з визначення величини шуканої приведеної маси m_{np} залізничної колії, та експериментальної частини з вимірювання вертикальних прискорень в елементах залізничної колії на ділянках регіональної філії «Південна залізниця» АТ «Укрзалізниця».

В якості результатів розрахунків автором приводяться значення величини приведеної маси в межах 11-15 кН для умов магістральних залізниць, та конкретно для колії з рейками Р65 на залізобетонних шпалах з епурою укладання 1840 шп/км при скріпленнях КПП-5: приведена маса залізничної колії отримана 12,74 кН. Також наведені залежності зміни величини m_{np} при зміні фізико-геометричних характеристик елементів колії.

В якості зауважень по даному розділу відзначимо наступне:

1. Для розрахунків в математичних моделях прийнято вказувати розмірність величини приведеної маси колії як розподіленої величини (див., наприклад книгу професорів М.Ф. Вериги та А.Я. Когана «Взаимодействие пути и подвижного состава» (стор. 83)). Наприклад: $m_{np}=1,179 - 1,255$ кг/см (для Р65, з/б шпали). Тобто виконані розрахунки автора дисертації підтвердили дані, що приведені в книзі.

2. Можна вважати як недолік дисертаційної роботи, ту обставину, що експериментальні роботи з вимірювання вертикальних прискорень в елементах колії виконані: по-перше, не під поїздами, а шляхом моделювання зовнішнього динамічного поїзного навантаження за допомогою штучного джерела коливаний; по-друге, вимірювання прискорень виконувалось тільки безпосередньо на рейках, інші конструкції колії не були задіяні в експериментах.

В четвертому розділі автор наводить результати розрахунків вертикальних сил взаємодії залізничної колії та електропоїздів Екр1, HRCS2 та EJ675. Для досягнення поставленої мети даного дослідження при проведенні розрахунків вихідні дані було розбито на дві групи: без урахування приведеної маси та із урахуванням цього параметру, інші дані були повністю ідентичними. Проведені розрахунки дозволили автору заключити, що для обраних рухомих одиниць в діапазоні швидкостей від 100 до 160 км/год за умови врахування приведеної маси залізничної колії величина вертикальних сил зменшується. Мінімальне зменшення для всього діапазону швидкостей зафіксоване для електропоїзда HRCS2 (4-12%), максимальне – для Екр1 (7-17%). Таким чином робиться висновок, про те, що, дійсно, приведена маса залізничної колії чине вплив на рівень вертикальних сил взаємодії залізничної колії та рухомого складу в експлуатаційних умовах магістральних залізниць України.

Загальні висновки що наведені в дисертації стисло та у повній мірі відображають отримані наукові положення дисертаційної роботи. Теоретичні та експериментальні дослідження, проведені в роботі, на думку автора роботи певною мірою дозволили доповнити та розширити уявлення про процеси взаємодії залізничної колії та рухомого складу на залізницях загального користування України. Це дозволило вирішити актуальну науково-технічну задачу по встановленню впливу приведеної маси колії на рівень сил взаємодії залізничної колії і рухомого складу у вертикальній площині в експлуатаційних умовах магістральних залізниць.

Впровадження результатів роботи підтверджено відповідними актами від філії «Проектно-вишукувальний інститут залізничного транспорту» АТ «Укрзалізниця», служби колії регіональної філії «Південна залізниця», Харківським відділенням, Українського державного університету залізничного транспорту.

7 Зауваження щодо змісту та оформлення дисертації і автореферату

1. Зауваження до змісту до конкретних розділів дисертації вказані в відгуку саме в розгляді цих конкретних розділів.

2. З назви дисертації можна зробити висновок, що в роботі розглянуто вплив на процеси взаємодії з рухомим складом, хоча б декілька інерційних характеристик залізничної колії. Але в дійсності в дисертації розглядається тільки одна інерційна характеристика – приведена маса залізничної колії. Чомусь автор ніде не вказує, що в процесі взаємодії беруть участь також інші інерційні характеристики колії, крім приведеної маси колії.

3. Автор вказує, що за основу прийнята просторова модель «екіпаж-колія» проф. О.М. Даренського для умов колій незагального користування. Зрозуміло, що для цільного сприйняття наводиться повний математичний опис моделі, однак було б бажано більш чітко відокремити зміни, внесені безпосередньо автором роботи, а також вказати можливості та особливості застосування прийнятої розрахункової моделі для умов магістрального транспорту.

4. В якості розрахункових екіпажів в роботі обрано електропоїзди EJ675, NRCS2 та EKp1. Відомо, що до їх складу входять моторні та немоторні вагони. Яким чином в роботі було враховано відмінності в конструкції візків цих двох типів вагонів?

5. На стор. 102 автор зазначає: «... в даній математичній моделі підсистеми «колія» приведені до точки контакту коліс і рейок вертикальна жорсткість колії і вертикальний коефіцієнт дисипації є величинами змінними в часі, різними для кожного колеса екіпажу, залежними не тільки від технічних характеристик колії і рухомого складу, *термінів експлуатації колії*, але і від положення кожного колеса щодо рейкових опор...». Потребує пояснення, як безпосередньо при проведенні розрахунків були враховані вказані характеристики, наприклад «терміни експлуатації колії»?

6. Оскільки експериментальне підтвердження приведеної маси залізничної колії здійснювалось на підставі вимірювання прискорень в елементах залізничної колії, і як зазначається самим автором, розподіл максимальних значень підпорядковуються нормальному закону розподілу, не зовсім коректно приводити результати лише по середньому значенню без урахування

максимально (мінімально) імовірних. Тим більше, що в роботі отримані величини середньоквадратичних відхилень цієї випадкової величини.

7. Для повноти уявлення потрібно було провести окремі розрахунки величин вертикальних сил з урахуванням наявності нерівностей у вертикальній площині у випадках можливих відхилень від норм утримання рейкової колії, які можуть виникати в процесі експлуатації та чинити вплив на рівень сил взаємодії.

8. Хоча отримані в роботі результати розрахунків вертикальних сил не викликають сумнівів, все ж таки доцільно було б провести додаткові експериментальні роботи по вимірюванню цих величин під дією реального рухомого складу для аналогічних діапазонів швидкостей.

9. В загальних висновках автор, маючи на увазі приведену масу залізничної колії, зазначає: «Врахування цієї інерційної характеристики дозволяє точніше (на 4-17%) розраховувати величину вертикальних сил взаємодії залізничної колії і рухомого складу при швидкостях руху 100-160 км/год.». Як вже зазначалося вище, при проведенні відповідних розрахунків було використано лише середні значення, а не імовірно можливий діапазон, тому говорити про підвищення точності на 4-17% не зовсім вірно. З урахуванням імовірнісного підходу ці значення можуть відрізнитися як в менший, так і в більший бік. Скоріше за все мова може йти не про точність розрахунків, а про розширення уявлень про процеси взаємодії та врахування більш широкого кола факторів, що на них впливають.

Висновок

Дисертаційна робота Лейбука Ярослава Сергійовича на тему «Дослідження впливу інерційних характеристик колії на процеси взаємодії з рухомим складом» є самостійною і завершеною науковою працею, в якій отримані нові науково-обґрунтовані результати, що у сукупності вирішують поставлене завдання. Висловлені зауваження в цілому не знижують достатньо високого наукового рівня дисертації.

Дисертаційна робота відповідає вимогам Департаменту атестації кадрів Міністерства освіти і науки України щодо дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата наук, а її автор, Лейбук Ярослав Сергійович, заслуговує на

присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.06 – залізнична колія.

Офіційний опонент:

Завідувач кафедри

«Залізнична колія та колійне господарство»

Державного університету

інфраструктури та технологій (м. Київ)

д.т.н., професор, Заслужений діяч

науки і техніки України

Е.І. Даніленко

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФРАСТРУКТУРИ ТА ТЕХНОЛОГІЙ
Підпис: *Е.І. Даніленко*
Засвідчує: *Ст. інст. ВК Назар Н.О. Консвек*