

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

**на дисертаційну роботу Мірошникової Марії Володимирівни
«Підвищення енергоефективності холодильного обладнання пасажирських
вагонів удосконаленням очищення внутрішніх поверхонь апаратів і
трубопроводів»**, поданої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних
наук зі спеціальності 05.22.07 – Рухомий склад залізниць та тяга поїздів.

На рецензію надано текст дисертації загальним обсягом 142 сторінки та автореферат дисертації обсягом 20 сторінок. Дисертація складається з анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків, чотирьох додатків, переліку використаних джерел з 127 найменувань.

Актуальність обраної теми. Дисертаційну роботу Мірошникової М.В. присвячено вирішенню актуального наукового завдання - підвищення енергоефективності холодильного обладнання пасажирських вагонів.

Найбільшої актуальності питання розвитку залізничних пасажирських перевезень набуває у зв'язку з необхідністю підвищення якості послуг, що в свою чергу збільшить кількість користувачів залізничного транспорту. Одним із найважливіших завдань при цьому є створення комфортних мікрокліматичних умов у вагонах.

Цілком слушно автор даної роботи вважає перспективним широке впровадження у пасажирських вагонах нових та вдосконалення існуючих систем кондиціонування повітря (СКП), що призначені для подачі й обробки свіжого повітря, його знезаражування.

Незважаючи на те, що основна вимога до СКП пасажирських вагонів – це стабільність підтримки заданих параметрів мікроклімату у вагоні незалежно від метеорологічних умов зовнішнього середовища, важливими характеристиками їх роботи є також забезпечення надійності та енергоефективність функціонування, мінімізація витрат при технічному обслуговуванні і ремонті.

Наукові доробки щодо процесів очищення внутрішніх поверхонь трубопроводів та холодильного обладнання СКП від залишків мінеральних олій

та забруднень при заміні альтернативних холодоагентів потребують значного доповнення.

Використання фундаментальних гідродинамічних закономірностей, удосконалення методології розрахунку систем кондиціонування повітря пасажирських вагонів з використанням сучасних методів оптимізації, що їх продемонстровано в дисертаційному дослідженні, є важливою складовою подальшого розвитку транспортної галузі.

Таким чином, дисертаційна робота Мірошникової М.В., що спрямована на вирішення важливої для залізничної галузі та науки України науково-технічної задачі підвищення енергоефективності холодильного обладнання пасажирських вагонів за рахунок удосконалення очищення внутрішніх поверхонь апаратів і трубопроводів, безперечно, є актуальною.

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій.

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій базується на ретельному відношенні до досліджуваних явищ та процесів та прагненні урахувати всі складові багатогранних та складних гідродинамічних процесів. Виконані дослідження дозволили оцінити вплив властивостей течії електромагнітної рідини на характеристики очищення внутрішніх поверхонь апаратів і трубопроводів холодильних машин пасажирських вагонів від залишків мінеральної оливи. Отримані численні розрахункові залежності для визначення гідравлічного опору електромагнітної рідини, що дозволяють оцінити ступінь впливу параметрів течії на ефективність очищення внутрішніх поверхонь апаратів і трубопроводів СКП пасажирського вагону.

З метою прогнозування можливості взаємозаміни альтернативних холодоагентів у СКП пасажирських вагонів, побудовано математичні моделі процесів очищення поверхонь апаратів і трубопроводів холодильних машин від залишків мінеральної оливи.

Технічний рівень дослідницького стенду, якість викладеної методики випробовувань, що передбачає проведення експериментів, коректність обробки отриманих результатів дослідів, рівень статистичного оцінювання та перевірки

апроксимаційних залежностей на адекватність за загальноприйнятими процедурами дозволяє зробити висновок щодо обґрунтованості основних положень дисертації. При отриманні положень, які базуються на результатах теоретичних досліджень, використано системний підхід до визначення закономірностей досліджуваних процесів (зокрема, декомпозиції та синтезі), сучасний апарат математичного моделювання гідродинамічних явищ (зокрема, пов'язаних з процесами очищення поверхонь апаратів і трубопроводів холодильних машин пасажирських вагонів від залишків мінеральної оливи), вдало адаптованого до потреб вирішуваних питань, та при перевірці, зіставленні та уточненні отриманих теоретичних закономірностей.

Достовірність положень, висновків і рекомендацій дисертаційної роботи забезпечується використанням перевірених класичних рівнянь гідродинаміки: руху, енергії та нерозривності, а також широкий спектр реологічних рівнянь, що дістали в ході роботи ретельної перевірки та відповідного уточнення. Розробка математичних моделей руху електропровідної рідини виконувалася чисельними методами із використанням сучасної комп'ютерної техніки та програмного забезпечення.

Достовірність експериментальної частини досліджень забезпечено використанням методики порівняння результатів експериментів з результатами чисельного моделювання.

Достовірність результатів дослідження підтверджено також задовільним збігом результатів теоретичних та експериментальних досліджень.

Таким чином, є всі підстави стверджувати, що наукові положення, висновки та рекомендації, викладені в роботі, є обґрунтованими та достовірними.

Новизна наукових результатів. Новизна отриманих результатів полягає у наступному:

- удосконалено процедуру очищення внутрішніх поверхонь апаратів і трубопроводів холодильних машин пасажирських вагонів від залишків мінеральної оливи.

- за результатами теоретичних досліджень отримали подальший розвиток математичні моделі процесів очищення поверхонь апаратів і трубопроводів холодильних машин від залишків мінеральної оливи.

- отримано залежності для оцінки впливу параметрів течії на ефективність очищення внутрішніх поверхонь апаратів і трубопроводів СКП пасажирського вагону.

Методи дослідження. При проведенні досліджень використовувалися методи загальної та магнітної гідродинаміки, чисельні методи із використанням сучасної комп'ютерної техніки та програмного забезпечення, комп'ютерне моделювання, PIV-метод велосіметрії.

Практична значимість отриманих результатів. Запропоновані критерії, методи та моделі використані на підприємстві «Державний науково-дослідний, проектно-конструкторський і проектний інститут вугільної промисловості» ДП «УкрНДІпроект» м.Київ та впроваджені в навчальний процес Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, що підтверджується актами про впровадження результатів дисертації, та також можуть бути застосовані на інших підприємствах залізничної галузі України. Використання результатів досліджень є доцільним також у проектно-конструкторських та технологічних інститутах при проектуванні нових та модернізації існуючих систем кондиціонування повітря пасажирських вагонів.

Оцінка змісту дисертації. Науковий рівень дисертації відповідає вимогам, що висуваються до дисертацій на здобуття наукового ступеню кандидата технічних наук. Назва дисертації адекватно відображає її зміст.

Розподіл матеріалу по розділах вдалий, по кожному розділу сформульовані висновки. Робота будується навколо основної мети підвищення енергоефективності холодильного обладнання пасажирських вагонів удосконаленням очищення внутрішніх поверхонь апаратів і трубопроводів.

Автореферат написаний стисло, діловою українською мовою з дотриманням наукового стилю викладення результатів проведеного дослідження

згідно з поставлених вимог і в повній мірі відображає зміст та структуру дисертації.

У першому розділі роботи проведено аналіз сучасного стану проблеми, визначені мета і завдання дослідження. Проаналізовано галузі промисловості де використовуються електропровідні (магнітні) рідини та виконано аналіз експлуатації систем кондиціонування пасажирських вагонів.

Встановлено, що головною причиною забруднення внутрішніх поверхонь трубопроводів СКП пасажирського вагона є утворення залишків мінеральної оливи в процесі функціонування системи кондиціонування. Ці забруднення можуть бути як результатом неякісного очищення внутрішньої поверхні апаратів і трубопроводів, так й можуть утворитися в результаті корозії.

Існуючі технології обслуговування системи кондиціонування не забезпечують повне очищення внутрішніх поверхонь трубопроводів від залишків мінеральної оливи та, не дозволяють перевести системи кондиціонування на інші сучасні холодоагенти, що потребують використання синтетичних олив. Порівняльний аналіз існуючих технологій очищення внутрішніх поверхонь апаратів і трубопроводів дозволив висунути гіпотезу, що магнітне поле може суттєво впливати на параметри течії електропровідної рідини та характеристики очищення в системах кондиціонування повітря пасажирських вагонів від залишків мінеральної оливи.

Відсутність достатньо точного методу й моделі очищення поверхонь апаратів і трубопроводів холодильних машин від залишків мінеральної оливи значно ускладнює процес прогнозування можливості взаємозаміни альтернативних холодоагентів у СКП пасажирських вагонів.

У другому розділі проведено чисельне моделювання течії електропровідної рідини в трубопроводі з місцевими опорами. Визначено залежності коефіцієнтів втрат тиску під час течії в раптовому розширенні та раптовому звуженні (у колі труб).

Запропонований алгоритм моделювання руху електропровідної рідини, реалізований на основі вирішення осереднених за Рейнольдсом рівнянь Нав'є-

Стоксу із рівнянням SST (Shear Stress Transport) моделі турбулентності, рівняння нерозривності та рівнянь Максвелла для течії нестисливої рідини дозволяє науково обґрунтувати можливість очищення внутрішніх поверхонь апаратів і трубопроводів холодильних машин пасажирських вагонів від залишків мінеральної оливи.

При вирішенні рівняння Нав'є-Стокса розроблено математичні моделі процесів очищення поверхонь апаратів і трубопроводів холодильних машин від залишків мінеральної оливи. Розрахунок здійснено на основі SST-моделі турбулентності.

На основі виконаних досліджень встановлено, що дія магнітного поля призводить до зниження середньої та максимальної швидкостей, до збільшення швидкості в прикордонному шарі для течії електропровідної рідини в раптовому розширенні. На відміну від раптового звуження, в раптовому розширенні можна спостерігати відмінність картин течії за дії поперечного магнітного поля. Значно зменшується область високої швидкості після проходження розширення. Змінюються параметри розширення струменя. Як для раптового звуження, та і для раптового розширення залежності відносних втрат повного тиску від числа Гартмана мають квадратичну залежність.

Виконані теоретичні дослідження дозволили визначити якість заповнення твердими частинками магнетиту поперечного перерізу трубопроводу. Дуже наочно це можна побачити за результатами розрахунку зносу трубопроводу при перебігу електропровідної рідини з магнітним полем і без.

У третьому розділі представлені результати експериментальних досліджень закономірностей зміни параметрів течії електропровідної рідини.

Завдяки лабораторним дослідженням були визначені реологічні властивості, вид реологічної моделі й питомі енерговитрати течії магнітної рідини, а також отримані залежності впливу магнітного поля та швидкості течії електропровідної рідини на коефіцієнт очищення внутрішніх поверхонь системи кондиціонування пасажирського вагону. Для більш точного розрахунку поведінки

твердих частинок у рідині в роботі враховано не лише вплив рідини на частинку, але й вплив твердих частинок на параметри течії.

На підставі виконаних досліджень підтверджена гіпотеза щодо впливу магнітного поля і часток магнетиту на ефективність процесу очищення стінок трубопроводу СКП пасажирського вагону від масляних забруднень. Встановлено, що найбільше забруднення може відкладатися саме в тих зонах, де відбувається максимальне зношування трубопроводу твердими частинками внаслідок дії відцентрової сили, яку можна оцінити моделюванням течії без дорогих експериментальних досліджень.

Отримані в роботі залежності визначили оптимальні параметри течії електропровідної рідини, при застосуванні яких у 2,5 рази збільшується ефективність очищення внутрішніх поверхонь апаратів і трубопроводів СКП, при цьому застосування електромагнітного поля і циркуляційного насоса забезпечує мінімальний обсяг використання магнітної рідини в процесі очищення.

На основі порівняння результатів чисельного розрахунку з експериментальними даними проведено верифікацію розрахунку течії електропровідної рідини в круглих трубах та визначено оптимальну за похибкою розрахунку модель турбулентності і параметрів її використання. Порівняння профілів швидкості показало досить гарний збіг з результатами експерименту для всіх моделей.

У четвертому розділі представлені результати впровадження запропонованих заходів щодо підвищення енергоефективності холодильного обладнання пасажирських вагонів і удосконалення очищення внутрішніх поверхонь апаратів і трубопроводів СКП пасажирського вагону. Економічний ефект від використання модернізованих СКП пасажирського вагона залізничного транспорту досягається за рахунок підвищення енергоефективності виробничої діяльності.

В роботі економічний ефект розрахований на 15 років, виходячи з того, що модернізація проводиться при виконанні капітально-відновлюваного ремонту з

продовженням терміну служби, а термін окупності капіталовкладень склав 4 роки.

Визначена річна ефективність від 1 установки на 1 вагон за 1 рік, яка становить 16571,33 грн. з урахуванням вартості базового холодильного обладнання (16 490,02 грн) та технологічної собівартості запропонованої операції. Це у сукупності дає сумарний економічний ефект за весь період експлуатації (15 років) –248,57 тис. грн.

За результатами досліджень в роботі розроблені технічні рішення і рекомендації щодо СКП вагону для підвищення екологічності, економічності та безпеки руху.

Повнота викладення наукових результатів в опублікованих працях.

У відповідності з темою дисертації опубліковано 19 наукових робіт, у тому числі 1 монографію, 3 статті у виданнях, які включені до наукометричних баз Scopus, Web of Science, 7 статей в спеціалізованих видавництвах, рекомендованих МОН України, 6 публікацій в матеріалах науково-практичних конференцій.

Результати дисертаційної роботи є достатньо апробованими та оприлюдненими.

Ідентичність змісту автореферату й основних положень дисертації. На основі аналізу текстів дисертації та автореферату можна зробити висновок про їх ідентичність.

Дискусійні положення та зауваження щодо дисертаційної роботи.

1. В дисертаційній роботі було б доречним показати узагальнену схему всіх процесів очищення внутрішніх поверхонь апаратів і трубопроводів холодильного обладнання СКП пасажирських вагонів, які є об'єктом дослідження.

2. У другому розділі дисертаційної роботи на рисунках порівняння профілів швидкості доцільно було б навести порівняння за числами Гартмана, а не за вектором магнітної індукції.

3. В дисертації не наведено обґрунтування чому обране тетрагональне сіткове розбиття особливо в умовах обмежень на кількість розрахункових елементів.

4. Математичне моделювання проведено для одних й тих самих геометричних параметрів трубопроводу та радіаторів. Як обирати параметри очищення, якщо діаметри будуть іншими?

5. Математичне моделювання проведено для розчину гідроксиду калію, а експериментальні дослідження – для феромагнітної рідини на основі феромагнітних наночастинок. Чому так? Які особливості моделювання феромагнітних частинок?

6. Чому моделювання руху наночастинок здійснено на основі методу Лагранжа, а не Ейлера, що дало б змогу отримати більш докладну інформацію щодо параметрів течії частинок?

7. У третьому розділі дисертаційної роботи доцільним було б оцінити адекватність моделі за допомогою критерію Фішера.

8. В роботі не наведено детальний перелік типів насосного обладнання та їх характеристик для виконання лабораторних досліджень руху промивної магнітної рідини.

9. Чому сумарний економічний ефект був розрахований за весь період експлуатації (15 років)?

10. У третьому розділі дисертаційної роботи доцільним було б оцінити адекватність моделі за допомогою критерію Фішера.

11. Відсутня інформація про альтернативні холодоагенти, якими замінюють озононебезпечні R12 та R22, а саме R134A, трьохкомпонентні M1LE.

12. Стор. 38 абзац 2 знизу: «Підвищення температури кипіння і в'язкості розчину теплообмін не погіршує. На теплообмін може впливати накопичення мастила у випарнику».

13. На стор. 100 (перший знизу абзац) йдеться мова про зношування внутрішніх поверхонь. Слід навести інформацію про час очищення, періодичність очищення, кількість очищень, що допускає конкретний тип

кондиціонера (хоча б для старотипних, наприклад МАБ-2). Чи не призведуть такі очищення до передчасного виходу з ладу холодильних машин кондиціонерів

14. В четвертому розділі згадується тільки підвищення ефективності від використання модернізованих СКП і в цьому ж реченні йдеться про «...підвищення енергоефективності виробничої діяльності». Про що йде мова?

Загальний висновок.

Представлена дисертаційна робота є закінченою науково-дослідною працею, яка спрямована на розв'язання актуального науково-технічного завдання підвищення енергоефективності холодильного обладнання пасажирських вагонів.

Дисертація Мірошникової М.В. відповідає паспорту спеціальності 05.22.07 – Рухомий склад залізниць та тяга поїздів, зокрема, пунктам 2, 3.

По рівню наукової розробки, актуальності та достовірності отриманих результатів дисертаційна робота відповідає вимогам п.9, 11, 12, 13, 14 «Порядку присудження наукових ступенів», а її автор, Мірошникова Марія Володимирівна, заслуговує присудження їй наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.07 – Рухомий склад залізниць та тяга поїздів.

Офіційний опонент,
Доктор технічних наук,
Український державний
університет науки та технологій,
професор кафедри «Вагони та
вагонне господарство»

