МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

МІРОШНИКОВА МАРІЯ ВОЛОДИМИРІВНА

УДК 629.45.048.3

«ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ХОЛОДИЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ ПАСАЖИРСЬКИХ ВАГОНІВ УДОСКОНАЛЕННЯМ ОЧИЩЕННЯ ВНУТРІШНІХ ПОВЕРХОНЬ АПАРАТІВ І ТРУБОПРОВОДІВ»

Спеціальність 05.22.07 – Рухомий склад залізниць та тяга поїздів

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Сєвєродонецьк – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі логістичного управління та безпеки руху на транспорті Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Чернецька-Білецька Наталія Борисівна,
Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, завідувачка кафедри логістичного управління та безпеки руху на транспорті.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, доцент
Мурадян Леонтій Абрамович, професор кафедри вагонів та вагонного господарства Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна (м. Дніпро) ;

кандидат технічних наук, доцент
Іщенко Вадим Миколайович, завідувач кафедри вагонів та вагонного господарства Державного університету інфраструктури та технологій (м. Київ).

Захист відбудеться “18” грудня 2021 р. о 11.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 29.051.03 в Державному університеті інфраструктури та технологій за адресою: 03049, м. Київ-49, вул. М. Івана Огієнко, 19, ауд.305-а.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля за адресою: *93406, м. Сєвєродонецьк, вул. Донецька, 41*.

Автореферат розісланий “13 ” листопада 2021 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 29.051.03 Ноженко В.С.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Незважаючи на те, що в останні роки збільшується конкуренція між видами транспорту у пасажирських перевезеннях, Укрзалізниця продовжує залишатися одним з основних перевізників. Для забезпечення конкурентоспроможності залізничних пасажирських перевезень необхідно підвищити якість послуг, що в свою чергу збільшить кількість користувачів. Одним із найважливіших завдань при цьому є створення комфортних мікрокліматичних умов у вагонах. Тому необхідно широке впровадження у пасажирських вагонах нових та вдосконалення існуючих систем кондиціонування повітря (СКП), що призначені для подачі й обробки свіжого повітря, його знезаражування з метою запобігання поширенню інфекцій та хвороботворних бактерій і забезпечення заданого рівня температури та вологості у пасажирських приміщеннях. Основна вимога до СКП пасажирських вагонів − стабільність підтримки заданих параметрів мікроклімату у вагоні незалежно від метеорологічних умов зовнішнього середовища. Важливими характеристиками їх роботи є забезпечення надійності та енергоефективність функціонування, мінімізація витрат при технічному обслуговуванні і ремонті.

З експлуатацією СКП у теперішній час пов’язано декілька технічних складнощів. Так, у процесі експлуатації кондиціонерів, відбувається забруднення внутрішніх поверхонь їх трубопроводів (в першу чергу – через накопичення на них залишків оливи), внаслідок чого зменшується продуктивність кондиціонера з подальшим його виходом із ладу.

Крім того, у пасажирському вагонному парку є вагони з СКП, що оснащенні холодильним обладнанням, яке розраховане на використання холодоагентів фреон-12 (R12), фреон-22 (R22). Відповідно до рішень Монреальського протоколу та інших міжнародних домовленостей, що до речовин, які руйнують озоновий шар холодоагенти R12, R22 визнані озоноруйнуючими речовинами, їх виробництво і застосування в теперішній час заборонено. Тому, необхідне очищення внутрішніх поверхонь трубопроводів та холодильного обладнання СКП від залишків мінеральних олив та забруднень при заміні (ретрофіті) R12, R22 на озонобезпечні альтернативні холодоагенти.

Таким чином, підвищення енергоефективності холодильного обладнання пасажирських вагонів удосконаленням очищення внутрішніх поверхонь апаратів і трубопроводів при використанні озонозберігаючих альтернативних холодоагентів є актуальним науково-прикладним завданням.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами. Дисертаційна робота виконана у відповідності з пріоритетними напрямками розвитку залізничної галузі та Концепції розвитку транспортно-дорожнього комплексу України до 2020 року та Транспортної стратегії України на період до 2030 року, згідно з науковими планами кафедри логістичного управління та безпеки руху на транспорті СНУ ім. В. Даля, є частиною держбюджетних тем СНУ ім. В. Даля: «Підвищення енерго- та ресурсозбереження на залізничному транспорті застосуванням магнітної рідини» (№ держреєстрації 0120U100688), ДН-03-15 «Розробка теорії і підвищення ефективності енергетичних процесів у системах приготування, транспортування і спалювання водовугільного палива» (№ держреєстрації U0115U000646), за якими авторка є відповідальною співвиконавицею.

Мета і завдання дослідження.

Метою роботи є підвищення енергоефективності холодильного обладнання пасажирських вагонів шляхом забезпечення використання альтернативних холодоагентів за рахунок удосконалення очищення внутрішніх поверхонь апаратів і трубопроводів.

Для досягнення поставленої мети вирішені наступні завдання:

- проаналізувати вітчизняний та зарубіжний практичний досвід використання технологій очищення внутрішніх поверхонь апаратів і трубопроводів холодильних машин від залишків мінеральної оливи, визначити їх переваги і недоліки, та доцільність застосування для ефективного очищення;
- теоретично обґрунтувати обрання раціональних технологій для очищення внутрішніх поверхонь обладнання холодильних машин від залишків оливи при переводі холодильного обладнання на альтернативні холодоагенти;
- виконати математичне моделювання процесів очищення внутрішніх поверхонь апаратів і трубопроводів холодильної машини від залишків мінеральної оливи;
- створити стендове обладнання для дослідження процесів очищення внутрішніх поверхонь апаратів і трубопроводів від залишків мінеральної оливи та виконати експериментальні дослідження щодо оцінки ступеня впливу на них застосованих технологій та конструкції апаратів. Розробити методику проведення експериментальних досліджень;
- виконати техніко-економічне обґрунтування доцільності використання обраних технологій очищення внутрішніх поверхонь апаратів і трубопроводів холодильної машини; розробити рекомендації та технічні рішення щодо ефективного очищення внутрішніх поверхонь обладнання холодильних машин.

Об’єкт дослідження – процеси очищення внутрішніх поверхонь апаратів і трубопроводів холодильного обладнання СКП пасажирських вагонів для застосування альтернативних холодоагентів.

Предмет дослідження – закономірності впливу параметрів течії електропровідної рідини в круглих трубах на ефективність очищення їх внутрішніх поверхонь від залишків мінеральної оливи та забруднень.

Методи дослідження. При вирішенні поставлених завдань використано методи загальної та магнітної гідродинаміки. Дослідження математичних моделей руху електропровідної рідини виконувалися чисельними методами із використанням сучасної комп’ютерної техніки та програмного забезпечення. Дослідження проводилося на основі порівняння експериментальних досліджень за PIV-методом велосиметрії. Керуючі нелінійні рівняння імпульсу вирішувалися чисельно, використовуючи метод контрольних об’ємів. Визначені залежності втрат тиску на повороті в коліні трубопроводу на основі вирішення рівнянь Нав’є-Стоксу осереднених за Рейнольдсом. Залежності коефіцієнтів втрат тиску під час течії в раптовому розширенні та раптовому звуженні визначено на основі методу чисельного моделювання течії електропровідної рідини в трубопроводі з місцевими опорами. Розрахунок здійснено на основі вирішення рівнянь Нав’є-Стоксу осереднених за Рейнольдсом із SST (ShearStressTransport) моделлю турбулентності. Верифікацію програмного продукту проведено шляхом порівняння результатів експериментів з

результатами чисельного моделювання. Закономірності зміни параметрів течії рідини та енерговитрат від основних факторів впливу отримані в результаті проведення планованого експерименту за методикою Е.Е. Рафалеса-Ламарка.

Достовірність отриманих у дисертаційній роботі наукових результатів підтверджується задовільною збіжністю отриманих теоретичних і експериментальних даних, коректністю та правильним вибором побудованих моделей, способів і технічних засобів експериментальних випробувань, вимірювальної апаратури, програмою проведення та методами збору й обробки результатів експериментів.

Наукова новизна отриманих результатів.

Вперше:

- науково обґрунтована можливість очищення внутрішніх поверхонь апаратів і трубопроводів холодильних машин пасажирських вагонів від залишків мінеральної оливи за рахунок використання властивостей течії електропровідної рідини, що забезпечує взаємозамінність та можливість використання альтернативних холодоагентів в існуючих СКП.

Набули подальшого розвитку:

- математичні моделі процесів очищення поверхонь апаратів і трубопроводів холодильних машин від залишків мінеральної оливи, які дозволяють прогнозувати можливість взаємозаміни альтернативних холодоагентів у СКП пасажирських вагонів.

- досліджені залежності для визначення гідравлічного опору електропровідної рідини, що дозволяють оцінити ступінь впливу параметрів течії на ефективність очищення внутрішніх поверхонь апаратів і трубопроводів СКП пасажирського вагону.

Практичне значення:

- створено стенд для дослідження процесів очищення внутрішніх поверхонь апаратів і трубопроводів холодильних машин, що дозволяє реєструвати ступінь очищення поверхонь від залишків мінеральної оливи;

- за результатами проведених досліджень запропоновані технічні рішення, що дозволяють досягти взаємозамінності альтернативних холодоагентів враховуючи їх функціональні властивості;

- розроблена методика очищення внутрішніх поверхонь апаратів і трубопроводів холодильних машин від залишків мінеральної оливи за рахунок використання течії електропровідної рідини. Прогнозоване підвищення ефективності процесу очищення холодильного обладнання пасажирських вагонів, в порівнянні з існуючою технологією, склало 34,5%. (засвідчено актами впровадження від ДП ІНСТИТУТ "УКРНДІПРОЕКТ", ППО «Маріупольське вагонне депо»);

- отримані наукові результати використовуються у навчальному процесі СНУ ім. В. Даля при підготовці здобувачів вищої освіти за напрямами 273 − «Залізничний транспорт» та 275 − «Транспортні технології (на залізничному транспорті)».

Особистий внесок здобувача

Основні положення і результати дисертаційної роботи, що виносяться на захист, отримані автором особисто. У спільних наукових роботах особистий внесок

автора полягає в такому: [1 ,3, 4, 9, 10, 14, 16, 18] – проведені теоретичні дослідження процесів очищення внутрішніх поверхонь систем кондиціонування пасажирських вагонів від залишків мінеральної оливи; [2, 7, 8, 15, 17] – проведені експериментальні дослідження закономірностей зміни параметрів течії та енерговитрат на його транспортування від основних факторів впливу; [6, 11] – досліджений вплив магнітного поля на коефіцієнт очищення внутрішніх поверхонь СКП; [5, 12, 13] – розроблені математичні моделі процесів очищення поверхонь апаратів і трубопроводів холодильних машин від залишків мінеральної оливи; [19]- проведені експериментальні дослідження енергоефективності холодильного обладнання пасажирських залізничних вагонів.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідалися, обговорювалися і були схвалені на:

– VIII Міжнародній науково-практичній конференції «Інновації інфраструктури транспортно-логістичних систем. Проблеми, досвід, перспективи» (Україна, м. Трускавець, 2016);

– XV Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми економіки транспорту» (Україна, м. Дніпро, 2017);

– XXII Міжнародній науково-практичній конференції «Гідроаеромеханіка в інженерній практиці» (Україна, м. Черкаси, 2017);

– Міжнародній науково-практичній конференції «Людина, суспільство, комунікативні технології», (Україна, м. Лиман, 2017);

– X, XII Міжнародних науково-практичних конференціях Globalization of scientific and educational space. Innovations of transport. Problems, experience, prospect (Italy, 2018; Albania, Vlora, 2021).

Дисертацію в повному обсязі розглянуто та схвалено на розширеному засіданні кафедри логістичного управління та безпеки руху на транспорті Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля (2021 р.).

Публікації. Основні положення дисертаційної роботи опубліковані в 19 наукових роботах. З них [1] монографія, [3] статті у виданнях, які включені до наукометричних баз: Scopus, Web of Science, [7] статтей в спеціалізованих видавництвах, рекомендованих МОН України, [6] публікацій в матеріалах науково-практичних конференцій.

Структура і обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається з анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Повний обсяг дисертації складає 183 сторінки, у тому числі: 63 рисунка за текстом, 20 таблиць за текстом, список використаних джерел із 117 найменувань та 5 додатків. Основний текст роботи викладено на 156 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовані цілі та завдання, визначені об'єкт, предмет і методи дослідження, сформульована наукова новизна й відображено практичне значення результатів, які виносяться на захист. Представлено особистий внесок здобувача, апробацію результатів досліджень, структуру та обсяг роботи.

У першому розділі проведено аналіз сучасного стану проблеми, визначені мета і завдання дослідження.

Показано, що електропровідні рідини (магнітні рідини) використовуються в багатьох галузях промисловості: для створення магнітогідродинамічних насосів, магнітогідродинамічної генерації енергії, очищення трубопроводів. Також за допомогою магнітного поля можна впливати на течію плазми, рідких металів, води та інших рідин з електропровідними властивостями. Складність процесів, що відбуваються під час течії електропровідної рідини привела до відокремлення наукового напрямку – магнітної гідродинаміки.

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 і можуть утворитися в результаті корозії.

Аналіз експлуатації систем кондиціонування пасажирських вагонів показує, що головним недоліком існуючої технології обслуговування системи кондиціонування є неповне очищення внутрішніх поверхонь трубопроводів від залишків мінеральної оливи та, неможливість переведення систем кондиціонування на інші сучасні холодоагенти, що потребують використання синтетичних олив. Крім того, в установках, що працюють на хладоні R12, R22, у випарнику затопленого типу масло накопичується, і збільшується концентрація його в розчині. В результаті підвищується температура кипіння і збільшується в'язкість розчину (в порівнянні з температурою кипіння і в'язкістю чистого фреону), що погіршує теплообмін.

Порівняльний аналіз існуючих технологій очищення внутрішніх поверхонь апаратів і трубопроводів, досвід їхньої експлуатації дозволяє 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.

За результатами проведеного аналізу сформульовано мету й завдання дослідження.

У другому розділі проведено чисельне моделювання течії електропровідної рідини в трубопроводі з місцевими опорами. Визначені залежності коефіцієнтів втрат тиску під час течії в раптовому розширенні та раптовому звуженні (у колі труб). Розрахунок здійснений на основі вирішення рівнянь Нав’є-Стоксу осереднених за Рейнольдсом із SST-моделлю турбулентності.

Математичне моделювання руху електропровідної рідини проведено на основі вирішення осереднених за Рейнольдсом рівнянь Нав’є-Стоксу із рівнянням SST

(ShearStressTransport) моделі турбулентності, рівняння нерозривності та рівнянь Максвелла для течії нестисливої рідини:

$$\rho \frac{\partial u_i}{\partial t} + \rho u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j}\left([\mu + \mu_T]\frac{\partial u_i}{\partial x_j}\right) + f_i, \quad (1)$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0, \quad (2)$$

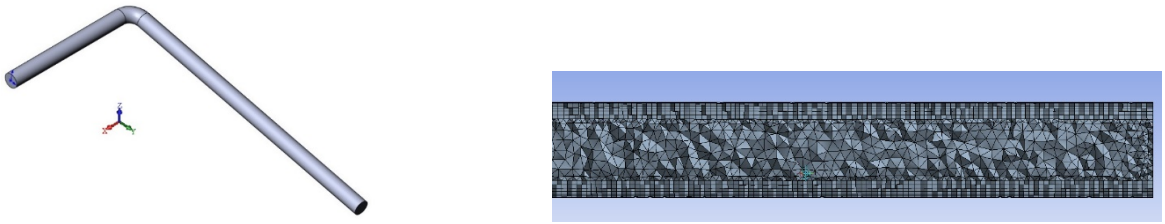
$$\bar{f} = [\bar{\jmath} \times \bar{B}], \quad (3)$$

$$\nabla(\sigma \nabla \Phi) = \nabla \cdot [\sigma \bar{u} \times \bar{B}], \quad (4)$$

$$\nabla^2 \Phi = \nabla \cdot [\bar{u} \times \bar{B}], \quad (5)$$

де ρ – густина;x_j – декартові координати; u_j – проєкції швидкості в декартовій системі координат;t– час; p – гідродинамічний тиск;f_i – проєкції вектору масових сил на осі координат (в нашому випадку – сила Лоренца); μ – динамічна (молекулярна) в'язкість; μ_T – турбулентна динамічна в'язкість;$\bar{\jmath}$ – щільність електричного струму, що виникає в електропровідній рідині, яка рухається зі швидкістю $\bar{u}$ за рахунок місцевого електричного поля; $\bar{B}$– вектор магнітної індукції; Φ – скалярний електростатичний потенціал; σ – електропровідність.

Твердотільна модель рідини, що рухається в коліні плавного повороту на 90° наведена на рис. 1а.

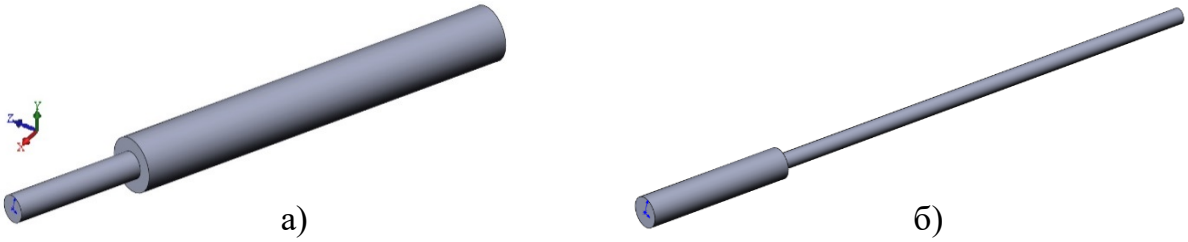


а) б)

Рисунок 1. Розрахункові моделі коліна трубопроводу: а) твердотільна модель; б) сіткова модель

Розрахунок виконаний в програмному комплексі Ansys CFX. Сіткові моделі наведені на рис. 1б. Вони побудовані за допомогою призматичних та тетрагональних елементів. Ansys CFX є валідованим для усіх класів течій, у тому числі для розрахунків магнітної гідродинаміки.

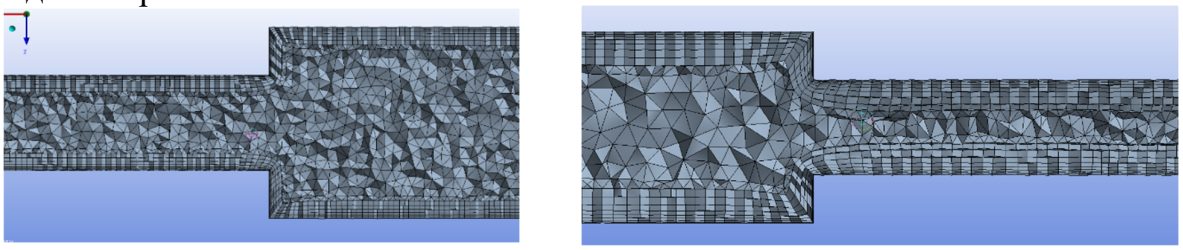
У роботі моделювалися два типи місцевих опорів: раптове звуження та раптове розширення потоку. Твердотільні моделі наведені на рис. 2.



а) б)

Рисунок 2. Твердотільні моделі місцевих опорів: а) раптове розширення; б) раптове звуження

Сіткові моделі побудовані призматичними та тетрагональними елементами та наведені на рис. 3.



а) б)

Рисунок. 3. Сіткові моделі місцевих опорів: а) раптове розширення; б) раптове звуження

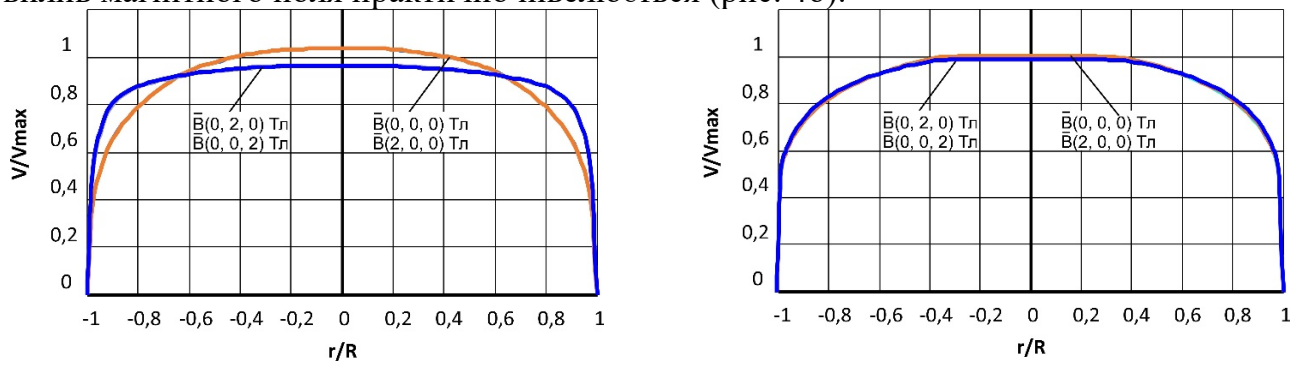
Розрахунок завершувався при дотриманні двох умов: нев'язання всіх рівнянь менші за 10^{-5} і зміна амплітуди коливань перепаду тиску в трубопроводі за ітераціями не перевищує 1 % .

Для того щоб не створювати початкову дільницю великої довжини, у вхідному перетині каналу швидкість задана на основі розрахунку за формулою:

$$V = V\left(1 - \frac{r}{R}\right)^{1/7}_{max}, \tag{6}$$

де r – радіус точки в перетині труби; $R = 0{,}05$м – радіус труби. У вихідному перетині заданий нульовий статичний тиск. Для нерухомої стінки – скалярний електростатичний потенціал $\frac{\partial \Phi}{\partial n} = 0$.

Аналізуючи графіки на рис. 4 можна дійти до висновку, що магнітне поле на початковій дільниці має незначний вплив, але після проходження раптового звуження вплив магнітного поля практично нівелюється (рис. 4б).



а) б)

Рисунок 4. Розподіл швидкості вздовж радіусу: а) на відстані 100 мм до раптового звуження; б) на відстані 1400 мм після раптового звуження

Графіки побудовані з числом Гартмана $Ha = 10$. Швидкість віднесена до максимальної швидкості V_{max} в центрі труби, у випадку течії рідини без дії магнітного поля. Магнітна індукція задавалася вектором $\bar{B}(B_x, B_y, B_z)$,Тл. Труба орієнтована вздовж осі x. Тому дія двох компонентів магнітної індукції створює поперечне магнітне поле.

На рис. 5 наведена залежність коефіцієнту місцевого опору при раптовому звуженні від числа Гартмана. Спостерігається повне співпадіння кривих для поперечної дії вектору магнітної індукції. Діапазон зміни проєкції магнітної індукції на кожну вісь – 0…2 Тл. Коефіцієнт місцевого опору має квадратичну залежність від числа Гартмана (коефіцієнт кореляції Пірсона дорівнює 0,999).

Магнітне поле збільшує коефіцієнт місцевого опору при раптовому звуженні більше ніж в 5 разів за малих чисел Рейнольдса. Збільшення чисел Рейнольдса та перехід до розвинутої турбулентної течії приводить до асимптотичного співпадіння коефіцієнтів за різною орієнтацією магнітного поля (рис. 6). Це пояснюється збільшенням швидкості течії та зменшенням відносної дії магнітного поля на потік.

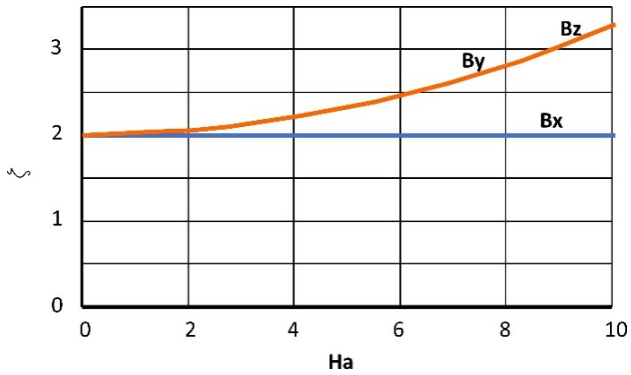


Рисунок 5. Залежність коефіцієнту раптового звуження від числа Гартмана

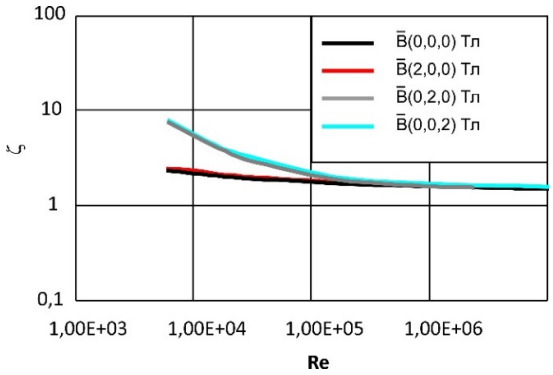
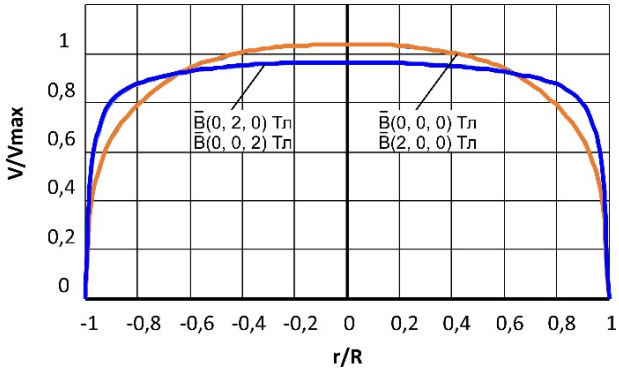
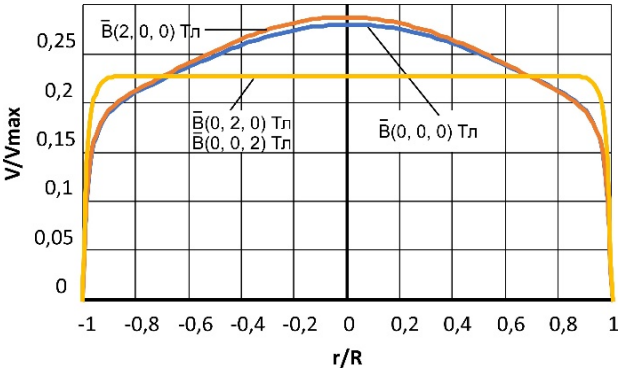


Рисунок 6. Залежність коефіцієнту місцевого опору при раптовому звуженні від числа Рейнольдса



а)



б)

Рисунок 7. Розподіл швидкості вздовж радіусу труби: а) на відстані 100 мм до раптового розширення; б) на відстані 1400 мм після раптового розширення

На рис. 7 наведено порівняння профілів швидкості під час руху течії в раптовому розширенні із різним напрямком магнітної індукції. Порівнюючи рис. 4а та рис. 7а зауважено, що розподіл швидкості практично однаковий на початковій ділянці, що відповідає умовам завдання. Рис. 7б показує, що дія магнітного поля приводить до зниження середньої та максимальної швидкостей, до збільшення швидкості в прикордонному шарі. Графіки побудовані з числом Гартмана $Ha = 20$. Швидкість

віднесена до максимальної швидкості на початковій ділянці V_{max} в центрі труби, у випадку течії рідини без дії магнітного поля. Труба орієнтована вздовж осі x.

Результати розрахунку течії в раптовому розширенні наведені на рис. 8.

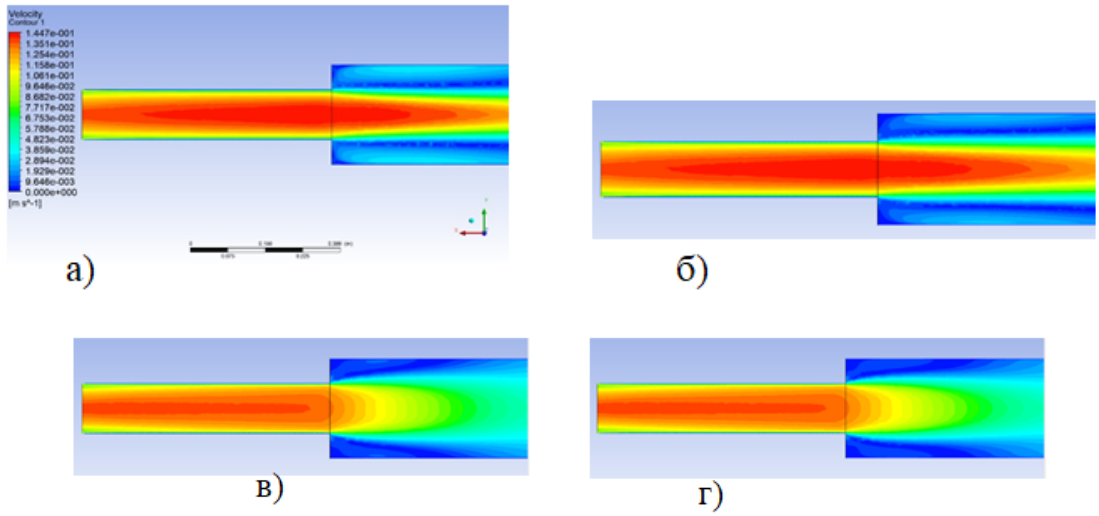


Рисунок 8. Розподіл швидкості під час течії в раптовому розширенні:
а) $\bar{B}(0,0,0)$;б) $\bar{B}(2,0,0)$; в) $\bar{B}(0,2,0)$; г) $\bar{B}(0,0,2)$

На відміну від раптового звуження, в раптовому розширенні (рис. 8) можна спостерігати відмінність картин течії за дії поперечного магнітного поля. Значно зменшується область високої швидкості після проходження розширення. Змінюються параметри розширення струменя.

Встановлено, що для раптового звуження, та для раптового розширення (рис. 10), залежності відносних втрат повного тиску від числа Гартмана мають квадратичну залежність. Спостерігається повне співпадіння кривих для поперечної дії вектору магнітної індукції.

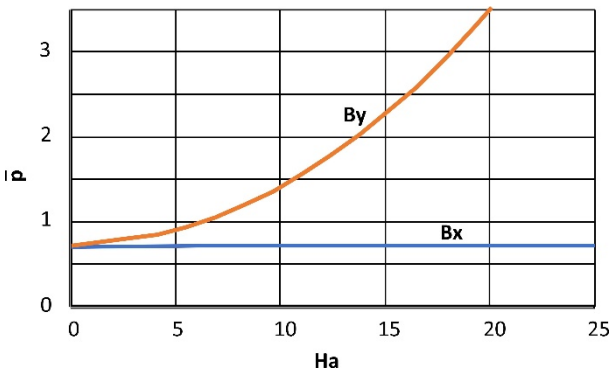


Рисунок 9. Залежність коефіцієнту відносних втрат повного тиску для раптового розширення від числа Гартмана

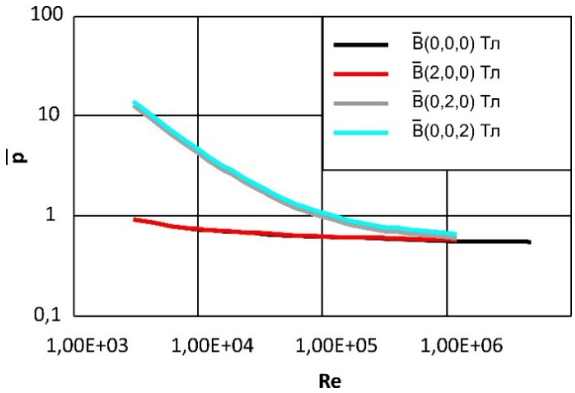


Рисунок 10. Залежність коефіцієнту місцевого опору (раптове розширення) від числа Рейнольдса

Дія магнітного поля з вектором магнітної індукції, що співпадає з віссю течії електропровідної рідини практично не впливає на втрати тиску в раптовому розширенні (рис. 10). Дія поперечного вектору магнітної індукції збільшує втрати тиску на порядок за малих чисел Рейнольдса. Збільшення чисел Рейнольдса до значень $Re > 10^6$нівелює дію магнітного поля.

Математичне моделювання дозволяє визначити якість заповнення твердими частинками магнетиту поперечного перерізу, і особливо якщо є поворот потоку, як це відбувається в радіаторах. 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. Розглянуто поводження електропровідних рідин у магнітному полі та використання їх для очищення води від залишків олії. Визначені фізичні явища руху твердих частинок електропровідної рідини на основі магнетиту в різних елементах трубопроводу, що покращило параметри очищення. Магнітні частинки електропровідної рідини досить гарно заповнюють границі перетину, якщо є поворот потоку, як це відбувається у радіаторах.

Для більш точного розрахунку поведінки твердих частинок у рідині необхідно враховувати не лише вплив рідини на частинку, але й вплив твердих частинок на параметри течії. Це, так званий, сполучений розрахунок (two-way coupling).

Відсутність урахування впливу твердих частинок на основний потік можливий лише за умови, що концентрація частинок маленька й можна вважати, що їх вплив на основну фазу такий, яким можна знехтувати. Такий розрахунок більш простий тому що можливо спочатку розрахувати течію рідини, а потім на основі вже розрахованих параметрів визначити основні параметри руху твердої частинки.

Сполучений розрахунок вимагає, щоб додатковий джерельний член був включений до рівнянь течії рідини та обумовлений зміною параметрів турбулентності або опором. Додатковий джерельний член використовується і в рівнянні руху частинки та генерується для кожної частинки. Цей член застосовується в контрольному об’ємі, в якому частинка знаходиться на даному часовому кроці. Цей член отримують шляхом розв’язування рівнянь переносу для джерел. Загальне рівняння для джерел частинок:

$$\frac{dS_p}{dt} = C_S\phi_p + R_S, \tag{7}$$

де $C_S\phi_p$ – додаткові внески до джерельного члену, які є лінійними; R_S – інші внески, що можуть включати, коли це доцільно, член масопереносу $-(dm_p/dt)\phi_p$. Це рівняння має той самий вигляд, що й загальне рівняння переносу для частинок і розв’язується так само, як описано вище.

Джерело S, що додається до рівнянь безперервної (рідинної) фази, потім помножується на величину числової витрати для цієї частинки, що є масовою витратою, поділеною на масу частинки.

Для визначення траєкторій частинки необхідно розрахувати наступне рівняння впливу сил на зміну прискорення твердої частинки внаслідок різниці між швидкостями твердої частинки та рідини

$$m_p \frac{d\overline{V}_p}{dt} = \overline{F}_D, \tag{8}$$

де, $\overline{F}_D$ – сила лобового опору частинки. Аеродинамічна сила лобового опору пропорційна швидкості зсуву, тобто різниці швидкостей між рідиною та частинкою:

$$\overline{F}_D = \frac{1}{2} C_D \rho_F A_F \left|\overline{U}_S\right| \overline{U}_S = \frac{1}{2} C_D \rho_F A_F \left|\overline{U}_F - \overline{U}_P\right| \left(\overline{U}_F - \overline{U}_P\right), \tag{9}$$

де C_D – коефіцієнт лобового опору; A_F – ефективна площа поперечного перетину частинки. Коефіцієнт опору вводиться для врахування експериментальних результатів щодо в'язкого опору твердої кулі. В даному дослідженні використане визначення коефіцієнту опору за моделлю Шиллера-Ноймана.

$$C_D = \frac{24}{Re(1+0.15Re^{0.687})}, \tag{10}$$

де Re – число Рейнольдса.

Використовуючи нову змінну:

$$D = \frac{C_D \rho_F A_F \left|\overline{U}_S\right|}{2} \tag{11}$$

можна розрахувати внесок до рівняння джерел:

$$\overline{R} = \frac{D}{m_p + \frac{C_{VM}}{2} m_F} \overline{V}_F = \frac{R_{VM}}{m_p} D \overline{U}_F;\ C_{lin} = -\frac{D}{m_p + \frac{C_{VM}}{2} m_F} = -\frac{R_{VM}}{m_p} D \tag{12}$$

Джерельний член до рівняння розраховується за наступною формулою:

$$\frac{d\overline{S}}{dt} = -\overline{F}_D = -\frac{1}{2} C_D \rho_F A_F \left|\overline{U}_S\right| \overline{U}_S \tag{13}$$

Для розрахунку зношування стінок трубопроводу використано модель Фінні. Зношування стінок трубопроводу внаслідок ерозійного впливу твердих частинок є складною функцією удару частинок та властивостей частинок й стінок. Виявлено, що майже для всіх металів ерозія змінюється залежно від кута удару та швидкості відповідно до співвідношення:

$$E = kV_p^n f(\gamma), \tag{14}$$

де E – безрозмірна маса; V_P – швидкість руху частинок; $f(\gamma)$ – безрозмірна функція кута удару (зіткнення). Кут зіткнення обраховується в радіанах й визначається між дотичною до траєкторії частинки та стінки. Значення n для металів знаходиться в діапазоні 2,3..2,5.

Модель ерозійного зношування Фінні пов’язує швидкість зношування зі швидкістю кінетичної енергії удару частинок об поверхню, використовуючи $n = 2$:

$$E = kV_p^2 f(\gamma), \tag{15}$$

де $f(\gamma) = \frac{1}{3} cos^2 \gamma$, якщо $tg\gamma > 1/3$, $f(\gamma) = sin(2\gamma) - 3\, sin^2 \gamma$, якщо $tg\gamma \leq 1/3$.

У програмі Ansys CFX необхідність коригування коефіцієнту k для отримання безрозмірного коефіцієнта ерозії долається шляхом використання залежності:

$$E = \left(\frac{V_p}{V_0}\right)^n f(\gamma), \tag{16}$$

де $V_0 = \frac{1}{\sqrt[n]{k}}$. Типові значення цієї швидкості для різних матеріалів стінки.

Для аналізу чутливості результатів розрахунку до кількості кінцевих об’ємів, що використано під час побудови сіткового розбиття проведено порівняння результатів для п’ятьох сіток з дією та без дії магнітного поля. Результати наведені в табл. 1.

Таблиця1

Тиск на вході в елемент трубопроводу

Кількість ел-тів сітки, млн.	Тиск, Па	Число Гартмана	Тиск, Па	Число Гартмана	Тиск, Па	Число Гартмана
0,1	2320	0	11500	50	41500	100
0,2	1590	0	12100	50	40000	100
0,3	1890	0	10900	50	39500	100
0,4	1805	0	11250	50	39900	100
0,5	1845	0	11300	50	40000	100

Вплив сіткового розбиття визначений на основі порівняння результатів розрахунку тиску на вході в елемент трубопроводу.

Траєкторії твердих частинок пофарбовані у колір згідно їх впливу на зношення стінок трубопроводу. Для порівняння наведені три картини течії з різним числом Гартмана ($Ha = BR\sqrt{\sigma/\rho\nu}$),що ілюструє вплив магнітного поля на рух твердих частинок та рідини в цілому. B – магнітна індукція; R – радіус труби; σ – електропровідність рідини; ρ_F – густина рідини; ν_F – кінематична в’язкість.

Верифікація використовуваних математичних моделей попередньо проведена в дослідженні на основі порівняння розподілів швидкості в трубопроводі з поворотом під час дії магнітного поля та без нього. Результати розрахунку показали, що модель турбулентності SST досить гарно описує течію електропровідної рідини, її можна використовувати й отримувати достовірні результати.

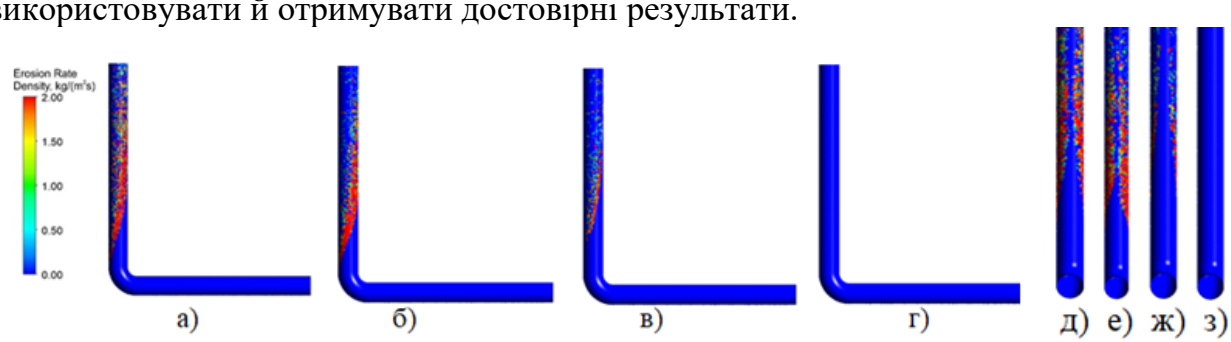
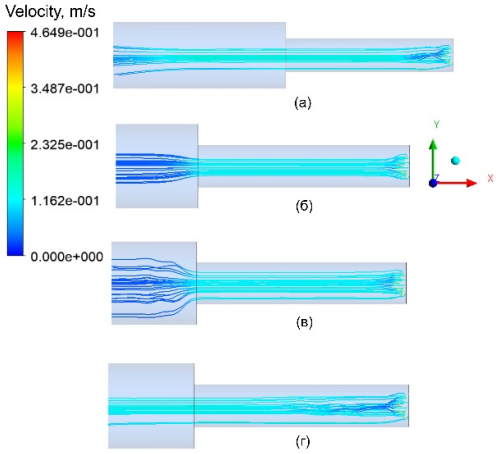


Рисунок 11. Інтенсивність зношування поверхонь трубопроводу під час течії електропровідної рідини з різним числом Гартмана: а), д) $Ha = 0$; б), е) $Ha = 50$; в), ж) $Ha = 100$; г), з) $Ha = 200$

За результатами розрахунку траєкторій твердих частинок магнетиту встановлено, що магнітні частинки електропровідної рідини досить гарно заповнюють границі перетину, якщо є поворот потоку, як це відбувається у радіаторах (рис. 11).

Збільшення інтенсивності магнітного поля приводить до зміни епюри швидкості електропровідної рідини, що заважає частинкам магнетиту проникнути

близько до стінки (рис. 11 г, 11 з). З іншої сторони збільшення потужності магнітного поля може дозволити відірвати забруднення від стінок трубопроводу разом з твердою частинкою магнетиту. Крім того, математичне моделювання на основі числових методів у тривимірній постановці дозволяє проаналізувати необхідні та достатні параметри магнітного поля для повного очищення трубопроводів від забруднень.

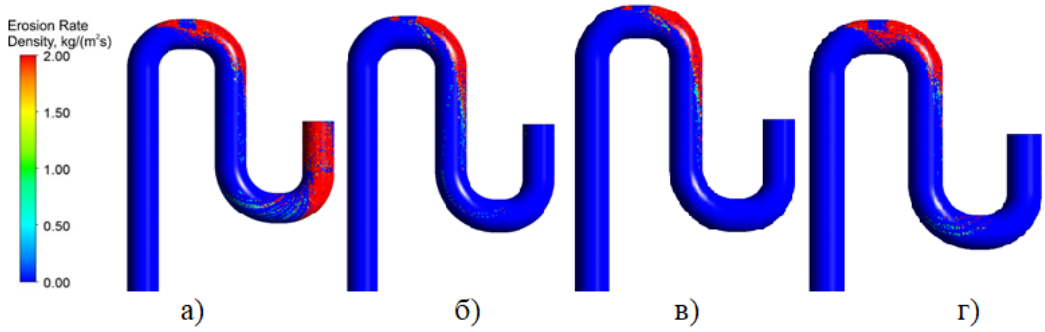


Складніша щодо можливості очищення ситуація в трубопроводах з раптовим розширенням (рис. 12). Тверді частинки разом з рідиною відриваються від стінок та практично не потрапляють у пристінні зони.

Більша можливість потрапити якнайшвидше до стінок трубопроводу має течія електропровідної рідини під дією вектору магнітної індукції $\bar{B}(0, B, 0)$, тобто, якщо існує магнітне поле з вектором магнітної індукції з проєкцією в y -напрямку (рис. 12 в).

Рисунок 12. Траєкторії частинок магнетиту в трубопроводі з раптовим розширенням: а) $Ha = 0$; б) $Ha = 250$ z-напрямок; в) $Ha = 250$ y -напрямок; г) $Ha = 50$ x -напрямок.

Для моделювання течії електропровідної рідини в радіаторі з оцінкою можливості його очищення від забруднення була створена розрахункова модель декількох поворотів трубопроводу на 180° (рис. 13).



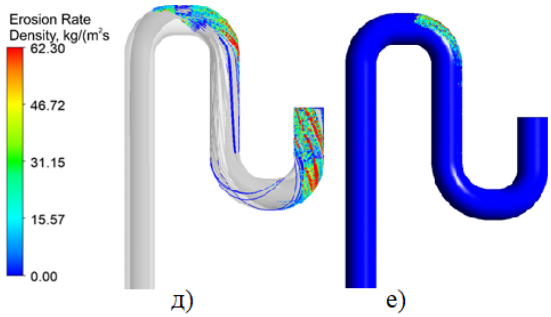


Рисунок 13. Інтенсивність зношування поверхонь трубопроводу під час течії електропровідної рідини із різним числом Гартмана радіатором: а), д) $Ha = 0$; б) $Ha = 100$ x-напрямок; в) $Ha = 100$ y -напрямок; г) $Ha = 100$ z-напрямок; е) $Ha = 500$ z -напрямок.

Реальна модель радіатора не застосовувалася внаслідок великої протяжності прямолінійних ділянок, що значно ускладнило б аналіз результатів розрахунку та збільшило б необхідну кількість кінцевих об’ємів для якісного розрахунку.

Результати моделювання наведені на рис. 13.

Магнітне поле, безумовно, впливає на розподіл твердих частинок магнетиту в трубопроводі. Збільшення зношування в окремих ділянках трубопроводу пов'язане з впливом відцентрової сили, що діє на частинку під час повороту. У випадку плавного повороту на 90° відбувається зменшення зношування стінок трубопроводу зі збільшенням інтенсивності магнітного поля. Підтверджується гіпотеза, що частинки магнетиту, які є у складі магнітної рідини, розповсюджуються трубопроводом та потрапляють практично в усі точки трубопроводу без дії магнітного поля. Включення магнітного поля дозволяє сподіватися на те, що частинки магнетиту будуть рухатися на відстані від стінок та відривати забруднення від стінок трубопроводу. Очікується, що найбільше забруднення може відкладатися саме в тих зонах, де відбувається максимальне зношування трубопроводу твердими частинками внаслідок дії відцентрової сили. Таким чином, можна вважати, що частинки магнетиту будуть добре розповсюджуватися серед забруднення та сприяти очищенню стінок радіатору та трубопроводу від олійних та інших забруднень.

Для підтвердження достовірності досліджень здійснена його експериментальна перевірка з використанням експериментального стенду рис. 14.

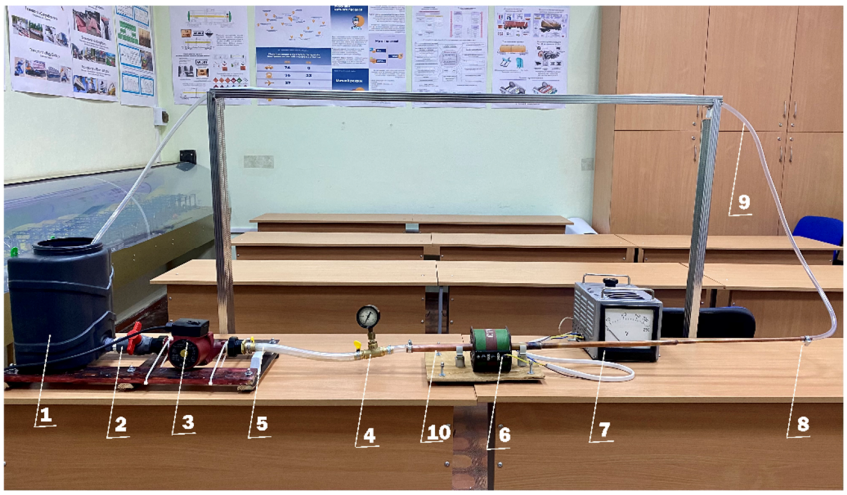


Рисунок 14. Загальний вид стенда експериментальної установки для дослідження параметрів очищення внутрішніх поверхонь апаратів і трубопроводів СКП пасажирських вагонів:
де 1 – бак з магнітною (електропровідною) рідиною; 2 – вентиль; 3 – циркуляційний насос; 4 – манометр; 5 – трубопровід системи очищування; 6 – котушка індуктивності; 7 – джерело регулювання напруги; 8 – фільтруючий елемент; 9 – магістраль повернення промивної рідини; 10 – трубопровід що очищується від залишків мінеральної оливи.

Особливістю конструкції є створення електромагнітного поля в трубопроводі котушкою індуктивності та джерелом регулювання напруги , при цьому напруга регулюється в залежності від режиму роботи станції (50−250 В), що дозволяє забезпечити щільний контакт між магнітною рідиною та внутрішньою поверхнею трубопроводу, що безумовно підвищує якість процесу очищення.

Застосування електромагнітного поля і циркуляційного насоса забезпечує мінімальний обсяг використання магнітної рідини в процесі очищення. Таким чином, щільний потік магнітної рідини на внутрішній поверхні трубопроводу поліпшує процес механічного очищення системи кондиціонування пасажирських вагонів.

У результаті проведення циклу експериментів підтверджено характер впливу факторів, що досліджувалися в роботі, на величину питомого гідравлічного опору та ефективність очищення внутрішніх поверхонь систем кондиціонування пасажирських вагонів.

Отримані залежності дозволяють визначити оптимальні параметри течії електропровідної рідини, при застосуванні яких можливо суттєво у 2,5 рази підвищити ефективність очищення внутрішніх поверхонь апаратів і трубопроводів.

На основі порівняння результатів чисельного розрахунку з експериментальними даними проведена верифікація 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 викладені результати впровадження запропонованих заходів щодо підвищення енергоефективності холодильного обладнання пасажирських вагонів і удосконалення очищення внутрішніх поверхонь апаратів і трубопроводів СКП пасажирського вагону.

У розрахунках економічний ефект від використання модернізованих СКП пасажирського вагона залізничного транспорту досягається за рахунок підвищення енергоефективності виробничої діяльності. Економічний ефект розрахований на 15 років, виходячи з того, що модернізація проводиться при виконанні капітально-відновлюваного ремонту з продовженням терміну служби. Термін окупності капіталовкладень (за всіма разом запропонованими рішеннями з вдосконалення) складає 4 роки. Сумарний економічний ефект за весь період експлуатації (15 років) за всіма разом запропонованими рішеннями вдосконалення для одного вагона становить 248,57 тис. грн, а для експлуатаційного парку, який потрібно перевести станом на 2021 рік становить 500 пасажирських вагонів – на загальну суму 561,948 млн. грн.

За результатами теоретико-експериментальних досліджень розроблені технічні рішення і рекомендації щодо СКП вагону для підвищення екологічності, економічності , безпеки руху.

ВИСНОВКИ

У дисертації вирішена науково-технічна задача підвищення енергоефективності СКП пасажирських вагонів за рахунок удосконалення технології очищення внутрішніх поверхонь апаратів і трубопроводів

Основні результати досліджень дозволили зробити такі висновки.

1. Аналіз причин забруднення внутрішніх поверхонь трубопроводів кондиціонера пасажирського вагона показав, що головною з них є утворення залишків мінеральної оливи в процесі функціонування СКП. Виконаний аналіз відомих технологій очищення внутрішніх поверхонь апаратів і трубопроводів СКП

пасажирських вагонів від залишків мінеральної оливи, дозволив зробити висновок, що застосування електромагнітного поля підвищує ефективність процесу очищення на 30%.

2. На основі чисельного моделювання течії електропровідної рідини в трубопроводі з місцевими опорами визначено залежності коефіцієнтів втрат тиску під час течії в раптовому розширенні та раптовому звуженні. Розрахунок здійснено на основі вирішення рівнянь Нав'є-Стоксу осереднених за Рейнольдсом із SST-моделлю турбулентності. Верифікацію програмного продукту проведено шляхом порівняння результатів чисельного моделювання з результатами експериментів. На основі чисельного моделювання течії електропровідної рідини в коліні трубопроводу за допомогою вирішення рівнянь Нав'є-Стоксу осереднених за Рейнольдсом визначено залежності втрат тиску на повороті в коліні.

3. Математичне моделювання дозволило підтвердити гіпотезу, що частинки магнетиту, котрі знаходяться у складі магнітної рідини, поширюються трубопроводом і потрапляють практично у всі точки трубопроводу без дії магнітного поля. Включення магнітного поля дозволяє сподіватися на те, що частинки магнетиту рухатимуться на відстані від стінок та відриватимуть забруднення від стінок трубопроводу. Таким чином, можна вважати, що частинки магнетиту будуть добре поширюватися серед забруднення та сприяти очищенню стінок радіатора та трубопроводу від масляних та інших забруднень. Моделювання проведено для спектра швидкостей (від 0,1 до 3 м/с) та чисел Рейнольдса, які відповідають можливим швидкостям руху магнітної води в радіаторі. Визначено втрати тиску для підбору параметрів перекачування рідини, що дозволило мінімізувати експериментальні дослідження гідравлічних параметрів перекачування рідини та сконцентруватись на дослідженнях очищення.

4. Визначена економічна ефективність процесу очищення внутрішніх поверхонь апаратів і трубопроводів систем кондиціонування повітря пасажирських вагонів від залишків мінеральної оливи при використанні електромагнітного поля та магнітної рідини, яка склала 248,57 тис. грн/рік. Підвищення ефективності процесу очищення холодильного обладнання пасажирських вагонів, в порівнянні з існуючою технологією, склало 34,5%, що засвідчено актами впровадження.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Основні праці:

1. Забезпечення сталого розвитку регіону: економічні, управлінські, правові та інформаційно-технічні аспекти: колективна монографія / Н. Б. Чернецька-Білецька, І. О. Баранов, М. В. Мірошникова ; за заг. ред. Ю. І. Клюс., Н. В. Швець. – Сєвєродонецьк. : Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2017. – С. 193 - 212. -ISBN 978-617-11-0118-0.

2. Improving industrial pipeline transport using research regularities of flow of mixtures in material pipeline [Electronic resource] / N. Chernetskaya-Beletskaya, O. Guschin, A. Shvornikova, I. Baranov, M. Miroshnikova // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – Vol. 4/7, Iss. 88. – P. 38 - 44. DOI: https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.106790.

3. Increasing the efficiency of highly concentrated coal-water fuel based on the simulation of non-Newtonian fluid flow [Electronic resource] / N. Chernetskaya-Beletskaya, A. Rogovyi, I. Baranov, A. Krut, M. Miroshnikova, N. Bragin // MATEC Web of Conferences. – 2019. – Vol. 294, Iss. 01009. – P.1 - 7. DOI : https://doi.org/10.1051/matecconf/201929401009.

4. Верифікація розрахунку течії електропровідної рідини в круглих трубах / Н. Б. Чернецкая-Белецкая, А. С. Роговой., М. В. Мирошникова, А. Р. Штиков // Збірник наукових праць УкрДУЗТ. – 2021. – № 196. – С. 87 - 98.

5. Чернецька-Білецька Н. Б. Оцінювання ефективності транспортної системи з перекачування електропровідної рідини за результатами математичного моделювання / Н. Б. Чернецька-Білецька, А. С. Роговий, М. В. Мірошникова // Системи та технології. – 2021. – №1 (61). – С. 5 - 20.

6. Чернецька-Білецька Н. Б. Втрати тиску під час течії електропровідної рідини місцевими опорами трубопроводу / Чернецька-Білецька Н. Б., Роговий А. С., Мірошникова М. В. // Вісник СНУ ім. В. Даля. – 2021. − № 5 (269). − С. 69 - 75.

7. Chernetskaya-Beletskaya N. Technology of breakage of coal for the coal- water fuel production / N. Chernetskaya-Beletskaya, I. Baranov, M. Miroshnykova // TEKA. Commission of motorization and energetics in agriculture. – 2015. – Vol. 15. – № 2. – P. 63 - 68.

8. Some aspects improvement of industrial pipeline transport / N. Chernetskaya-Beletskaya, I. Baranov, M. Miroshnykova, S. Kravchenko, M. Bragin // TEKA. Commission of motorization and energetics in agriculture. – 2017. – Vol. 17. – №1 – P. 33-40.

9. Study on the coal-water fuel pipeline transportation taking into account the granulometric composition parameters [Electronic resource] / N. Chernetskaya-Beletskaya, A. Rogovyi, A. Shvornikova, I. Baranov, M. Miroshnikova, N. Bragin // International Journal of Engineering & Technology. – 2018. – Vol. 7, Iss.4.3. – P. 240 - 245. DOI : 10.14419/ijet.v7i4.3.19794

10. Баранов І. Дослідження показників роботи вагоноремонтного комплексу і безпеки руху / І. О. Баранов, М. В. Мірошникова // Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. – 2020. – Вип. 192. – С. 32 - 44.

11. Чернецкая-Белецкая Н. Б. Исследование влияния гранулометрического состава водоугольного топлива на его реологические и гидродинамические характеристики / Н. Б. Чернецкая-Белецкая, И. О. Баранов, В. Н. Остапенко, М. В. Мирошникова // Вісник СНУ ім. В. Даля. – 2017. – №3 (233). – С. 239-245.

12. Математичне моделювання руху водовугільного палива в трубопроводі / Н. Б. Чернецька-Білецька, А. С. Роговий, І. О. Баранов, М. В. Мірошникова // Вісник СНУ ім. В. Даля. – 2017. − № 9 (239). − С. 85 - 90.

13. Математична модель просторової тривимірної течії водовугільного палива / Н. Б. Чернецька-Білецька, А. С. Роговий, І. О. Баранов, М. В. Мірошникова // Вісник СНУ ім. В.Даля. – 2018. – № 1 (242). – С. 159-164.

Праці апробаційного характеру:

14. Mathematical model flow coal-water fuel / N. Cherneckaya-Beleckaya, A. Rogovyi, I. Baranov, M. Miroshnykova // Globalization of scientific and educational space.

Innovations of transport. Problems, experience, prospects: thesis, May 2018, Italy. – Severodonetsk: Volodymyr Dahl East Ukrainian National University. – 2018. – P. 126 – 127.

15. Чернецкая-Белецкая Н. Б. Основные уравнения механики магнитной жидкости и их использование в разработке трубопроводной транспортной установки /Н. Б. Чернецкая-Белецкая, М. В. Мирошникова // Інновації інфраструктури транспортно-логістичних систем. Проблеми, досвід, перспективи : зб. тез наук. практ. конф.,11-17 квітня 2016р., м. Трускавець / відп. ред. Н. Б. Чернецька-Білецька. – Сєвєродонецьк : Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2016. – С. 209 – 212.

16. Чернецкая-Белецкая Н.Б., Баранов И.О., Мирошникова М.В. Влияние гранулометрического состава водоугольного топлива на его реологические характеристики. Матеріали XV Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми економіки транспорту» (20.04-21.04.2017). – Д.: ДНУЗТ, м. Дніпро, 2017, С. 63-64.

17. Чернецкая-Белецкая Н.Б., Баранов И.О., Мирошникова М.В., Баранова В.Н. Исследование влияния характеристик водоугольного топлива на удельные потери давления. Матеріали XXII міжнародної науково-практичної конференції «Гідроаеромеханіка в інженерній практиці». 23-26 травня 2017р. м. Черкаси, 2017. С. 53-56.

18. Чернецкая-Белецкая Н.Б., Баранов И.О., Мирошникова М.В. Повышение эффективности гидротранспортирования водоугольного топлива. Матеріали V міжнародної науково-практичної конференції «Людина, суспільство, комунікативні технології», 22-23 вересня 2017р., м. Лиман, 2017, С. 299-302. 20

19. Experimental research of refrigeration equipment energy efficiency for passenger railway carriages / N. Chernetskaya-Beletskaya, A. Rogovyi, M. Miroshnykova // Theses of XIII international scientific and practical conference “Globalization of scientific and educational space. Innovations of transport. Problems, experience, prospects”. – The Ministry of education and science of Ukraine, Volodymyr Dahl East Ukrainian National University. – Severodonetsk. – 2021. – P. 94–96.

АНОТАЦІЯ

Мірошникова М.В. Підвищення енергоефективності холодильного обладнання пасажирських вагонів удосконаленням очищення внутрішніх поверхонь апаратів і трубопроводів. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.07 – Рухомий склад залізниць та тяга поїздів. – Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, Сєвєродонецьк, 2021.

Дисертація присвячена вирішенню актуального наукового завдання підвищенню енергоефективності холодильного обладнання пасажирських вагонів удосконаленням очищення внутрішніх поверхонь апаратів і трубопроводів.

В роботі обґрунтована можливість очищення внутрішніх поверхонь апаратів і трубопроводів холодильних машин пасажирських вагонів від залишків мінеральної оливи за рахунок використання властивостей течії електропровідної рідини, що

забезпечує взаємозамінність та можливість використання альтернативних холодоагентів в існуючих системах кондиціонування пасажирських вагонів (СКП).

Досліджені залежності для визначення гідравлічного опору електропровідної рідини, що дозволяють оцінити ступінь впливу параметрів течії на ефективність очищення внутрішніх поверхонь апаратів і трубопроводів СКП пасажирського вагону.

Розроблені практичні рекомендації дозволяють забезпечити підвищення ефективності процесу очищення холодильного обладнання пасажирських вагонів, в порівнянні з існуючою технологією.

Ключові слова: система кондиціонування, енергоефективність, експериментальні виміри, математичне моделювання, пасажирський вагон, електропровідна рідина, чисельний розрахунок, магнітна гідродинаміка, очищення рідин.

АННОТАЦИЯ

Мирошникова М.В. Повышение энергоэффективности холодильного оборудования пассажирских вагонов усовершенствованием очистки внутренних поверхностей аппаратов и трубопроводов. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.07 – Подвижной состав железных дорог и тяга поездов. – Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля, Северодонецк, 2021.

Диссертация посвящена решению актуальной научно-прикладной задачи повышению энергоэффективности холодильного оборудования пассажирских вагонов усовершенствованием очистки внутренних поверхностей аппаратов и трубопроводов.

В работе обоснована возможность очистки внутренних поверхностей аппаратов и трубопроводов холодильных машин пассажирских вагонов от остатков минерального масла за счет использования свойств течения электромагнитной жидкости, что обеспечивает взаимозаменяемость и возможность использования альтернативных хладагентов в существующих системах кондиционирования пассажирских вагонов (СКВ).

Исследованы зависимости для определения гидравлического сопротивления электромагнитной жидкости, позволяющие оценить степень влияния параметров на эффективность очистки внутренних поверхностей аппаратов и трубопроводов СКВ пассажирского вагона.

Разработанные практические рекомендации позволяют обеспечить повышение эффективности процесса очистки холодильного оборудования пассажирских вагонов по сравнению с существующей технологией.

Ключевые слова: система кондиционирования, энергоэффективность, экспериментальные измерения, математическое моделирование, пассажирский вагон, электропроводящая жидкость, численный расчет, магнитная гидродинамика, очистка жидкостей.

ABSTRACT

Miroshnykova M.V. Increasing Energy Efficiency of the Cooling Systems for Passenger Cars by Improved Cleaning of Inner Surfaces of Devices and Pipelines. – Manuscript.

Dissertation for the Degree of Candidate of Technical Science (Ph.D.) in specialty 05.22.07 – Railway rolling stock and traction trains. – Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, Severodonetsk, 2021.

The dissertation solves a topical research problem of increasing energy efficiency of the cooling systems for passenger cars by improved cleaning of inner surfaces of devices and pipelines.

For the first time, the paper scientifically substantiates the possibility of cleaning inner surfaces of devices and pipelines of cooling systems for passenger cars from mineral oil residues by using the electromagnetic liquid flow parameters that provides interchangeability and the possibility of using alternative refrigerants in the existing air conditioning systems (ACS) of passenger cars.

The paper determines the dependences of the pressure loss in the pipe bend based on solving the Navier-Stokes equations averaged by Reynolds. The research presents the dependences of the pressure loss coefficients during the flow in sudden expansion and sudden narrowing based on the method of numerical modeling of the conducting liquid flow in the pipeline with local resistance. The paper studies the dependences for determining hydraulic resistance of electromagnetic liquid, thus making it possible to estimate the degree of influence of the flow parameters on the efficiency of cleaning inner surfaces of devices and pipelines of the ACS of the passenger car. The modeling is performed for a speed range (from 0.1 to 3 m/s) and Reynolds numbers, which correspond to the possible speed of the magnetic liquid flow in the radiator. The paper determines the pressure loss for the selection of the liquid pumping parameters that has allowed minimizing experimental studies of the hydraulic fluid pumping parameters and focusing on cleaning studies. The studied dependences for determining hydraulic resistance of electromagnetic liquid have made it possible to estimate the degree of influence of the flow parameters on the efficiency of cleaning inner surfaces of devices and pipelines of the ACS of the passenger car.

The developed practical recommendations allow improving the efficiency of cleaning the cooling systems for passenger cars in comparison with the existing technology by 34.5%.

The research results have been implemented in the educational process of the Department of Logistics Management and Traffic Safety of Volodymyr Dahl East Ukrainian National University as well as in production.

Key words: air conditioning system, energy efficiency, experimental measurements, mathematical modeling, passenger car, conducting liquid, numerical calculation, magnetic hydrodynamics, liquid purification.

Підписано до друку 11.11.2021 р.
Формат 60×90 1/16. Папір офсетний. Гарнітура Times.
Друк офсетний. Умов. друк. арк. 0,9. Тираж 100 прим. Зам. № ___
Видавництво Східноукраїнського національного університету
імені Володимира Даля
93406, м. Сєвєродонецьк, пр. Центральний, 59-а

Адреса видавництва: 93406, м. Сєвєродонецьк, пр. Центральний, 59-а
Телефон: (06452) 44-118. Факс: (06452) 40-342 E-mail: uni.snu.edu@gmail.com;
http://snu.edu.ua