

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАУКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОМЕТАЛУРГІЇ ІМ. АКАДЕМІКА М. І. ГАСИКА
ПРИДНІПРОВСЬКИЙ НАУКОВИЙ ЦЕНТР НАН УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКА АСОЦІАЦІЯ ВИРОБНИКІВ ФЕРОСПЛАВІВ ТА ІНШОЇ
ЕЛЕКТРОМЕТАЛУРГІЙНОЇ ПРОДУКЦІЇ
АКАДЕМІЯ НАУК ВИЩОЇ ШКОЛИ УКРАЇНИ



Матеріали

Міжнародної науково-практичної конференції
“Інновації в металургії і суміжних стратегічних галузях для енергоефективності
і сталого розвитку”

The Proceedings
of the International scientific and practical conference
“Innovation in Metallurgy and Strategical adjacent industries for energy efficient
and sustainable development”

присвячена
100-річчю кафедри електрометалургії ім. академіка М. І. Гасика

22-23 квітня, 2025

ДНІПРО

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАУКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОМЕТАЛУРГІЇ ІМ. АКАДЕМІКА М. І. ГАСИКА
ПРИДНІПРОВСЬКИЙ НАУКОВИЙ ЦЕНТР НАН УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКА АСОЦІАЦІЯ ВИРОБНИКІВ ФЕРОСПЛАВІВ ТА ІНШОЇ
ЕЛЕКТРОМЕТАЛУРГІЙНОЇ ПРОДУКЦІЇ
АКАДЕМІЯ НАУК ВИЩОЇ ШКОЛИ УКРАЇНИ



Матеріали

Міжнародної науково-практичної конференції
“Інновації в металургії і суміжних стратегічних галузях для енергоефективності
і сталого розвитку”

присвячена
100-річчю кафедри електрометалургії ім. академіка М. І. Гасика

22-23 квітня, 2025

ДНІПРО

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE
UKRAINIAN STATE UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGIES
DEPARTMENT OF ELECTROMETALLURGY NAMED AFTER
ACADEMICIAN MYKHAILO GASIK
PRYDNIPROVSKYI SCIENTIFIC CENTER OF THE NAS OF UKRAINE
UKRAINIAN ASSOCIATION OF MANUFACTURERS OF FERROALLOYS AND
OTHER ELECTROMETALURGICAL PRODUCTS
ACADEMY OF SCIENCES OF HIGHER EDUCATION OF UKRAINE



The Proceedings
of the International scientific and practical conference
“Innovation in Metallurgy and Strategic adjacent industries for energy efficient
and sustainable development”

dedicated to the
100th anniversary of the Department of Electrometallurgy named after Academician
Mykhailo Gasik

22-23 April 2025

DNIPRO

УДК 669:[005.591.6:620.92](082)

I 66

Рекомендовано до друку вченою радою Українського державного університету науки і технологій

(Протокол № 12 від 28.05.2025)

Рецензенти:

Грищенко С. Г. – голова ради директорів об'єднання “Укркольормет”, проф., д.т.н.

Камкіна Л. В. – декан факультету металургійних процесів та хімічних технологій Українського державного університету науки і технологій, проф., д.т.н.

I 66 Інновації в металургії і суміжних стратегічних галузях для енергоефективності і сталого розвитку : матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., 22–23 квітня 2025 р. / за заг. ред. Ю. С. Пройдака, О. В. Жаданоса. – Електрон. вид. – Дніпро : УДУНТ, 2025. – 198 с.

У збірнику подано матеріали, що висвітлюють актуальні проблеми розвитку сучасних технологій в металургійному виробництві, на залізничному транспорті, хімічних виробництвах. Значна увага приділена питанням цифрової трансформації, математичному моделюванню, мультидисциплінарним дослідженням.

ISBN 978-617-8314-05-7(PDF)

Recommended for publication by the Academic Council of the Ukrainian State University of Science and Technologies

(Minutes No. 12 dated May 28, 2025)

Reviewers:

Hryshchenko S. G. – Chairman of the Board of Directors of the Association "Ukrkolormet", Professor, Doctor of Technical Sciences

Kamkina L. V. – Dean of the Faculty of Metallurgical Processes and Chemical Technologies, Ukrainian State University of Science and Technology, Professor, Doctor of Technical Sciences

Innovations in Metallurgy and Related Strategic Industries for Energy Efficiency and Sustainable Development : Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, April 22–23, 2025 / edited by Yu. S. Proidak, O. V. Zhadanos. – Electronic edition. – Dnipro : USUST, 2025. – 198 p.

The collection presents materials highlighting current issues in the development of modern technologies in metallurgical production, railway transport, and chemical industries. Significant attention is paid to digital transformation, mathematical modeling, and multidisciplinary research.



Цей твір ліцензовано на умовах Ліцензії Creative Commons

[«Attribution-NonCommercial-ShareAlike» 4.0 International \(CC BY-NC-SA 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

[\(«Із зазначенням авторства – Некомерційна – Поширення на тих самих умовах» 4.0 Міжнародна\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

ISBN 978-617-8314-05-7(PDF)
DOI 10.15802/978-617-8314-05-7

© Укр. держ. ун-т науки і технологій, 2025

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	14
СЕКЦІЯ 1. СУЧАСНА ЕЛЕКТРОМЕТАЛУРГІЯ: ПРОБЛЕМИ ТА РІШЕННЯ	15
ПРОДУВАННЯ ВАННИ КОНВЕРТЕРА ПРИ РАФІНУВАННІ ФЕРОНІКЕЛЯ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ОДНОСОПЛОВИХ ТА ТРИСОПЛОВИХ ФУРМ Акреєв В.В., Приходько С.В., Мельник С.О., Овчарук А.М.	15
ОГЛЯД ДОСТУПНИХ ДЖЕРЕЛ МАРГАНЦЕВОЇ СИРОВИНИ ТА ОСОБЛИВОСТЕЙ ВИРОБНИЦТВА МАРГАНЦЕВИХ СПЛАВІВ ПІДПРИЄМСТВАМИ УКРАЇНИ Аносов О.В., Гладких В.А., Рубан А.В., Рябцев О.О.	21
ШЛЯХИ ЗНИЖЕННЯ ЕНЕРГОВИТРАТ ПІД ЧАС ВИПЛАВКИ МАРГАНЦЕВИХ ФЕРОСПЛАВІВ В УМОВАХ АТ НІКОПОЛЬСЬКИЙ ЗАВОДУ ФЕРОСПЛАВІВ Бабуцький В.І., Зінченко О.М.	25
РОЗРОБКА ЕФЕКТИВНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИПЛАВКИ СПЛАВІВ МАРГАНЦІУ Величко К.О.	30
ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕФЕКТИВНОГО НАГРІВУ ЗАЛІЗО-РУДО-ВУГІЛЬНОГО БРИКЕТУ В ІНДУКЦІЙНОМУ ПОЛІ Грек О.С.	35
ІНТЕНСИФІКУЮЧИЙ ВПЛИВ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЮ НА ПРОЦЕС ВІДНОВЛЕННЯ ОКСИДІВ Гришин О.М., Надточій А.А., Губа Р.М., Хромовський С.А.	40
ВПРОВАДЖЕННЯ НОВИХ ЕКОЛОГІЧНИХ В'ЯЖУЧИХ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ВУГЛЕГРАФІТОВИХ ВИРОБІВ Дерев'яно І.В., Жаданос О.В., Агєєв О.Г.	46
ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПЛАВЛЕННЯ ВУГЛЕЦЬКАРБІДОКРЕМНІЄВИХ БРИКЕТІВ В СТАЛЬ-КОВШІ ПРИ ПОЗАПІЧНІЙ ОБРОБЦІ СТАЛІ Жаданос О.В., Дерев'яно І.В., Шепетяк Є.О., Мацишин В.Г., Петренко М.С.	49
АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ІНТЕГРАЦІЇ ПРОЦЕСІВ БЕЗПЕРЕРВНОГО ЛИТТЯ ТА ПРОКАТКИ У МОДУЛЬНИХ МЕТАЛУРГІЙНИХ СИСТЕМАХ Ціколія А.З., Кононов Д.О.	54
ХАРАКТЕРИСТИКА ВУГЛЕЦЕВИХ ВІДНОВНИКІВ ДЛЯ ВИПЛАВКИ ФЕРОСИЛЦІУ З ПІДВИЩЕНИМ ВМІСТОМ КРЕМНІЮ Кравченко В.П., Гладких В.А., Рубан А.В., Малий Є.Д.	59

SECTION 2. TRANSPORT AND INDUSTRIAL ENGINEERING	110
STRATEGIC PRIORITIES AND INNOVATIVE PROSPECTS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF REGIONS METALLURGICAL MACHINE INDUSTRY IN THE FACTS Kudria Yaroslav	110
ANALYSIS OF THE TECHNOLOGY OF REPAIRING TRACTION ELECTRIC MOTORS AT THE PLANTS OF THE PRIVATE JOINT-STOCK COMPANY UKRZALIZNYTSIA Bobyр D. V., Serdiuk V. N.	116
INTEGRATION OF IEC/ISO 31010:2009 STANDARD INTO THE RISK MANAGEMENT SYSTEM OF LOCOMOTIVE OPERATIONS Oleksandr Ochkasov, Andriy Desyak, Zhovnireno Oleksandr	122
METHODS OF INDICATOR DIAGRAM ANALYSIS FOR DIAGNOSING THE TECHNICAL CONDITION OF DIESEL ENGINES: REVIEW AND APPLICATION PROSPECTS Ochkasov O.B., Studenko O.I.	129
DEVELOPMENT OF ENERGY-EFFICIENT DRIVING MODES FOR ROLLING STOCK DURING FORCED SPEED REDUCTION Kapica M.I., Bobyr D.V., Kyslyi D.M., Samilyk D.O.	134
CALCULATION OF PARAMETERS OF SWITCHING UNIT WITH CORRECTIVE LINKS IN THRUSTER DC-DC CONVERTERS Bobyр D.V., Kolodii D.O.	140
EVALUATION OF COOLING PERFORMANCE IN RADIATORS WITH DIFFERENT TUBE PROFILES Mykhailo Kapitsa, Andriy Desyak	147
APPLICATION OF RISK-BASED MAINTENANCE APPROACHES TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF LOCOMOTIVE FLEET MAINTENANCE SYSTEM Bodnar B.Ye., Ochkasov O.B.	152
SECTION 3. PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF CHEMISTRY AND CHEMICAL TECHNOLOGY	158
APPLICATION OF DIMERIC IONIC LIQUIDS OF IONENE TYPE AS A COMPONENT OF SOLAR CELLS Sverdlikovska O., Vovchuk B.	158

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕПЛОВІДВЕДЕННЯ В РАДІАТОРАХ З РІЗНИМИ ПРОФІЛЯМИ ТРУБОК

Професор каф. «Локомотиви» Капіца Михайло Іванович, Український державний університет науки і технологій (УДУНТ), вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. ел. пошта m.i.kapica@ust.edu.ua, ORCID 0000-0002-3800-2920

Асистент каф. «Локомотиви» Десяк Андрій Євгенійович, Український державний університет науки і технологій (УДУНТ), вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010 ел. пошта a.e.desyak@ust.edu.ua ORCID 0000-0001-8650-5242

Анотація. У роботі розглянуто особливості теплотехнічного розрахунку секції радіатора тепловоза за допомогою програмного комплексу SOLIDWORKS Flow Simulation. Запропоновано методику визначення теплового потоку, що проходить через секції радіаторів, а також проаналізовано вплив конструктивних параметрів трубок (форма трубок, розташування та напрямок продувки) на ефективність охолодження. Отримані результати можуть бути використані для оптимізації конструкції секцій радіаторів та теплообмінників.

Ключові слова: тепловий потік, тепловоз, радіатор, коефіцієнт теплопередачі.

EVALUATION OF COOLING PERFORMANCE IN RADIATORS WITH DIFFERENT TUBE PROFILES

Professor of the Department of "Locomotives" Mykhailo Ivanovych Kapitsa, Ukrainian State University of Science and Technology (UDUST), Lazaryana St. 2, Dnipro, Ukraine, 49010, Phone, Email: m.i.kapica@ust.edu.ua, ORCID 0000-0002-3800-2920.

Assistant of the Department of "Locomotives", Andriy Yevheniyovych Desyak, Ukrainian State University of Science and Technologies (UDUST), 2 Lazaryana St., Dnipro, Ukraine, 49010, Email: a.e.desyak@ust.edu.ua, ORCID: 0000-0001-8650-5242

Abstract. The paper examines the features of the thermal calculation of a locomotive radiator section using the SOLIDWORKS Flow Simulation software suite. A methodology for determining the thermal flux passing through the section is proposed, and the influence of tube design parameters (tube shape, placement, and airflow direction) on cooling efficiency is analyzed. The obtained results can be used to optimize the design of radiator sections and heat exchangers.

Keywords: thermal flux, locomotive, radiator, heat transfer coefficient.

Вступ

У системі охолодження дизельного двигуна тепловоза важливе значення має ефективність тепловіддачі секцій радіаторів. Від ефективності охолодження залежить температура роботи двигуна, його надійність та термін служби. У зв'язку з цим розробка та вдосконалення методів розрахунку теплотехнічних параметрів секції радіатора є актуальним завданням.

Сучасні умови експлуатації залізничного транспорту вимагають від енергетичного обладнання високої ефективності, зниження енергоспоживання, надійності та довговічності. Одним із шляхів підвищення ефективності роботи тепловозів є

удосконалення систем охолодження, зокрема, оптимізація конструкції теплообмінних апаратів, що входять до складу радіаторів. Це забезпечує стабільну роботу дизеля в усьому діапазоні режимів та зменшує ризик його перегріву [1].

Мета

Метою дослідження є оцінка теплотехнічної ефективності секції радіатора тепловоза шляхом аналізу її конструктивних параметрів та умов експлуатації. Основне завдання – визначити найоптимальнішу конфігурацію форми та розташування трубок в секції радіатора, оцінити вплив геометричних характеристик на загальну тепловіддачу.

Крім того, метою є розробка спрощеної методики розрахунку, що може бути використана при проектуванні або модернізації секцій радіатора, з урахуванням доступних даних та умов реальної експлуатації тепловоза. Це дозволить забезпечити ефективне охолодження двигуна при мінімальних енергетичних та матеріальних витратах.

Методика

Відповідно до положень класичної термодинаміки, інтенсивність теплопередачі в трубчасто-пластинчастих теплообмінних апаратах значною мірою визначається товщиною температурного граничного шару теплоносія, зокрема повітря. Через низьку теплопровідність повітря у приповерхневому шарі ефективність тепловіддачі істотно знижується. Для підвищення теплової продуктивності широко застосовуються методи інтенсифікації тепловіддачі, такі як зміна кута атаки повітряного потоку, змочування оребрених поверхонь, перфорація пластин оребрення тощо. Основною метою зазначених методів є зменшення товщини ламінарного температурного граничного шару та перехід до турбулентного режиму теплообміну поблизу охолоджуваної поверхні [2, 3].

Таким чином, оптимізація турбулентного повітряного потоку та геометрія обтічної поверхні відіграють ключову роль у забезпеченні ефективного теплообміну. Згідно з результатами фундаментальних досліджень процесів тепловіддачі тіл різної форми в повітряному потоці, встановлено, що поверхні у вигляді плоского овалу демонструють вищу інтенсивність тепловіддачі порівняно з круглими, еліптичними та іншими формами труб. Саме тому плоскоовальні трубки на сьогоднішній день є найбільш поширеним рішенням у конструкції секцій радіаторів систем охолодження як вітчизняних, так і зарубіжних тепловозів.

Підвищена ефективність плоскоовальних труб пояснюється положеннями гідродинамічної теорії теплообміну, що базується на ідеях О. Рейнольдса про єдність процесів переносу теплової та механічної енергії. Згідно з цією теорією, відношення площі поверхні трубки, що бере участь в інтенсивному теплообміні, до площі зони з неефективним відведенням тепла (зони формування вихорів) є максимальним саме для плоскоовальної форми й досягає орієнтовно 90%.

З позицій аеродинаміки найбільш сприятливу форму має тіло у вигляді краплі – вона характеризується мінімальним коефіцієнтом лобового опору. Краплеподібна форма забезпечує найкращі обтікальні властивості, суттєво знижуючи інтенсивність утворення вихорів у зоні позаду тіла.

Враховуючи зазначене, краплеподібна геометрія має переваги з точки зору аеродинамічного опору та тепловіддачі, що може позитивно вплинути на загальну ефективність охолодження. У межах даного дослідження запропоновано вдосконалити конструкцію секції радіатора шляхом заміни традиційних плоскоовальних трубок на трубки краплеподібної форми.

Для досягнення поставленої мети у програмному комплексі SOLIDWORKS Flow Simulation було побудовано спрощену тривимірну модель секції радіатора типу BB-12, загальна кількість елементів якої становить 920 одиниць [4].

Для порівняльного аналізу ефективності тепловіддачі для різних варіантів трубок проведено моделювання трьох конфігурацій:

- ~ плоскоовальні трубки (базова модель);
- ~ краплеподібні трубки з продуванням з боку загостреної частини;
- ~ краплеподібні трубки з продуванням з боку заокругленої (тупої) частини.

Умови моделювання відповідають експлуатаційним параметрам радіаторної секції тепловоза [5, 6]. У розрахунковій моделі враховано два теплоносії:

- ~ внутрішній потік – вода, що протікає крізь трубки з заданими параметрами температури, тиску та витрати;
- ~ зовнішній потік – повітряний потік від вентилятора, призначений для відведення тепла від води шляхом зовнішнього обдуву трубок.

На рисунку 1 наведено ескізи поперечного перерізу плоскоовальної та каплеподібної трубки.

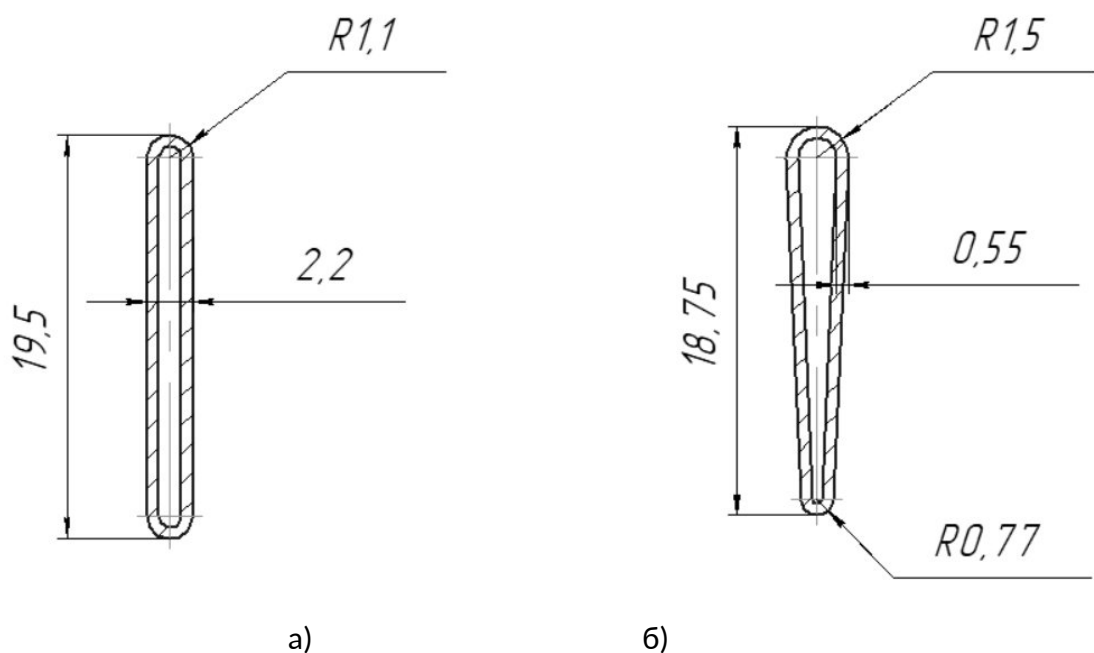
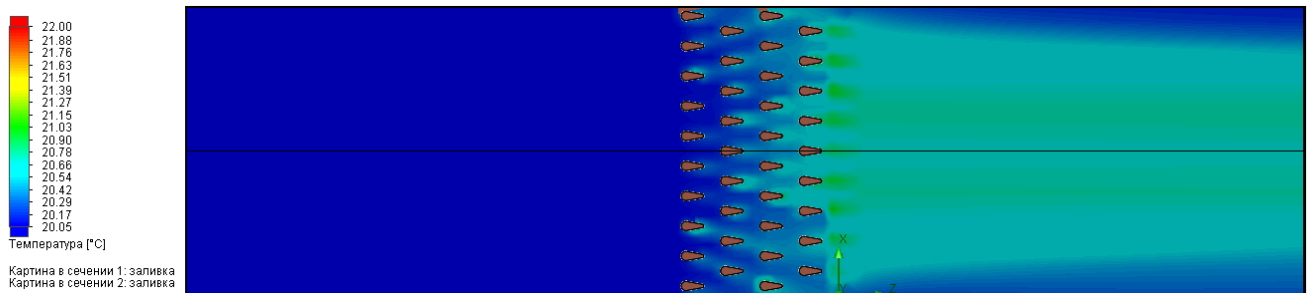


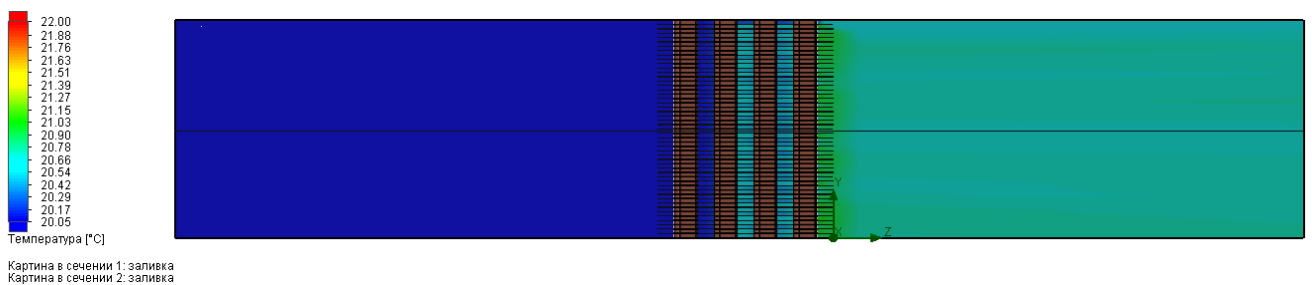
Рис. 1. Ескізи поперечного перерізу плоскоовальної та каплеподібної трубки:
а) плоскоовальний переріз; б) каплеподібний переріз

Результати розрахунків секції радіатора з каплеподібними трубками (продувка з тупої сторони) представлені у вигляді кольорової градієнтної епюри температури яка

представлена на рисунку 2. Але в дослідженні виконувався аналіз більшої кількості епюр, а саме епюр тиску, швидкості потоку та температури при різних конфігурація розташування, форми та напрямку продувки.



а)



б)

Рис. 2. Епюри температури повітряного потоку: а) вигляд зверху; б) вигляд збоку

Висновки

Порівняння епюр швидкості потоку повітря показує, що в секції з плоскоовальними трубками швидкість повітря падає до 2 м/с, в каплеподібній з продувкою з гострого боку – до 1,2 м/с, а в каплеподібній з продувкою з тупого боку – до 0,6 м/с при початковій швидкості 10 м/с. Хоча на перший погляд плоскоовальні трубки виглядають найбільш ефективними через менше зниження швидкості потоку, насправді найкращим варіантом є каплеподібні трубки з продувкою з тупого кінця. Це пояснюється тим, що зниження швидкості в таких трубках відбувається більш рівномірно, що сприяє більш рівномірному охолодженню трубок у секції. Це також підтверджується епюрами розподілу температури в пластинах, де температура розподіляється більш рівномірно у випадку каплеподібних трубок з продувкою з тупого кінця, на відміну від плоскоовальних трубок та каплеподібних з продувкою з гострого кінця, де температура змінюється нерівномірно.

Результати випробувань показують, що каплеподібні трубки з продувкою з тупого кінця забезпечують найкраще тепловідведення: на відстані 10 см від входу температура знижується на 11,2°C при початковій температурі води 75°C, що є вищим, ніж для плоскоовальних трубок, де зниження температури становить 8,3°C. Також з епюр видно, що така схема розташування трубок забезпечує більш рівномірний відвід тепла по всій секції радіатора. Найефективнішими для тепловідведення є каплеподібні трубки з

продувкою з тупого кінця, оскільки вони забезпечують більш рівномірний розподіл температури і зменшення тепла по всій секції радіатора.

Бібліографічний список

1. Боднар, Б. Є., Нечаєв, Є. Г., & Бобир, Д. В. Теорія та конструкція локомотивів. Допоміжні системи та устаткування: підручник для ВНЗ залізнич. трансп. / Б. Є. Боднар, Є. Г. Нечаєв, Д. В. Бобир. – Д.: ПП Ліра ЛТД, 2010. – 369 с.
2. Боднар, Б. Є., Очкасов, О. Б., Децюра, О. Я., & Черняєв, Д. В. Методи нерозбірного діагностування дизелів при експлуатації рухомого складу // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2012. – Вип. 41. – С. 56–60. – DOI: 10.15802/stp2012/7666.
3. Капіца, О. М., & Очкасов, О. Б. Аналіз технічних характеристик дизелів локомотивів при різних режимах роботи // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. – 2014. – Вип. 45. – С. 78–83.
4. Плашихін, С. В. Параметричне моделювання технологічних процесів. Розділ 2. Моделювання фізичних процесів в CAD/CAE системі SolidWorks: навч. посіб. – Київ: Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», 2022. – 125 с.
5. Бобирь, Д. В., & Черняєв, Д. В. Моделювання теплових процесів в дизельних двигунах локомотивів // Вісник Національного університету залізничного транспорту. – 2016. – Вип. 52. – С. 104–112.
6. Gorib, S., & Seddik, O. Thermodynamic analysis of diesel engines used in locomotives // Journal of Mechanical Engineering and Automation. – 2016. – Vol. 7, No. 3. – P. 73-81.

Наукове видання

Загальна редакція Ю. С. Пройдака, О. В. Жаданоса

**ІННОВАЦІЇ В МЕТАЛУРГІЇ І СУМІЖНИХ СТРАТЕГІЧНИХ ГАЛУЗЯХ ДЛЯ
ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ І СТАЛОГО РОЗВИТКУ**

МАТЕРІАЛИ МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

Електронне видання

Відповідальні за випуск: Пройдак Ю. С., Жаданос О. В.
Комп'ютерна верстка та дизайн: Жаданос О. В.

*Відповідальність за достовірність інформації, представленої в збірнику,
несуть автори*

Видавець: Український державний університет науки і технологій
вул. Лазаряна, 2, ауд. 2216, ауд. 263 (наукова бібліотека)
м. Дніпро, 49010.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 7709 від 14.12.2022