

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту  
імені академіка В. Лазаряна

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

**Білошицький Едуард Васильович**

УДК 629.4.048.4/7

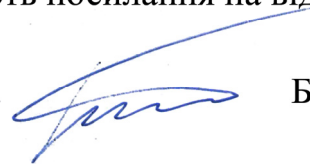
ДИСЕРТАЦІЯ

**УДОСКОНАЛЕННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМ ОПАЛЕННЯ ТА  
ВЕПТИЛЯЦІЇ ПАСАЖИРСЬКИХ ВАГОПІВ**

Спеціальність 05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів  
Галузь знань 27 – транспорт

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело



Білошицький Е. В.

Науковий керівник Мямлін Сергій Віталійович, доктор технічних наук,  
професор

Дніпро – 2019

## АНОТАЦІЯ

Білошицький Е.В. Удосконалення функціонування систем опалення та вентиляції пасажирських вагонів. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.22.07 – Рухомий склад залізниць та тяга поїздів (Галузь знань 27 – Транспорт). – Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Дніпро, 2019.

Дисертація присвячено вирішенню актуального наукового завдання з вдосконалення функціонування систем опалення та вентиляції пасажирських вагонів шляхом розробки наукових основ вибору оптимізаційних заходів для систем життєзабезпечення та апаратного забезпечення з підвищенням енергоефективності цих систем без зниження якості мікроклімату у пасажирських вагонах, що постає актуальною проблемою залізничного транспорту України.

Встановлено, що системи опалення пасажирських вагонів мають два принципові недоліки: по-перше, відсутність належної автоматизації роботи з підтримки стабільного температурного режиму у вагонах, що обумовлено великою тепловою інерційністю. По-друге, низька швидкість природної циркуляції води в трубах опалення викликає зниження тепловіддачі опалювальних приладів, яка ускладнюється ще одним фактором – нерівномірною тепловіддачею обігрівальних труб. Відсутність належної взаємодії систем вентиляції і опалення, як наслідок, призводить до незадовільного використання вентиляційної системи пасажирського вагона. Конструкції систем опалення пасажирського експлуатаційного парку вагонів обґрунтовані в 70 – 80 роки минулого сторіччя, коли проблема забезпечення нормованих параметрів мікроклімату вирішувалася в основному за рахунок збільшення потужності опалювальних приладів.

Запропоновано комплексний підхід до оцінки ефективності вдосконалення функціонування систем життєзабезпечення, який враховує не тільки параметри мікроклімату, а й енергоефективність.

Розроблено математичну модель нестационарних теплових процесів з урахуванням динамічного характеру процесів у пасажирському вагоні з водяною системою опалення підвищує якість оцінки конструктивних рішень систем життєзабезпечення за різних умов експлуатації. Розроблені імітаційні моделі пасажирських вагонів у спеціально написаній програмі моделювання для проведення комплексного аналізу нестационарних теплових процесів при опаленні пасажирського вагона на будь-якому етапі рейсу. Модель було уточнено за допомогою результатів експериментів, проведених автором, з урахуванням зокрема й тепловиділення пасажирів.

Теоретично і експериментально досліджено фактори, що впливають на ефективність процесу формування параметрів мікроклімату в пасажирському рухомому складі. Отримано комплексну залежність параметрів мікроклімату в приміщеннях пасажирського вагона локомотивної тяги від величини повітрообміну, обсягу інфільтрації та кількості пасажирів у вагоні. Удосконалено метод керування продуктивністю калорифера за оптимальним режимом за рахунок урахування взаємозв'язків між параметрами функціонування систем опалення та вентиляції пасажирського вагона локомотивної тяги. Набули подальшого розвитку методи аналізу параметрів теплового балансу пасажирського вагона локомотивної тяги за рахунок виділення зон температурних полів всередині вагона.

На основі теоретичних та експериментальних досліджень, які виконані за допомогою імітаційної моделі пасажирського вагона, розроблені технічні рішення з підвищення енергоефективності систем життєзабезпечення існуючих конструкцій пасажирських вагонів без зниження якості мікроклімату, які не потребують значних витрат.

Підведення теплоносія до обігрівальних труб по окремим стоякам дозволяє відмовитися від застосування циркуляційного насоса.

Модернізація теплоізоляції розвідних труб знижує тепловіддачу труб до 75 % та дозволяє підвищити енергоефективність системи опалення на 13,4 %.

Інтеграція датчиків CO<sub>2</sub> разом із керуванням подачею повітря в системі вентиляції та встановлення регульованого клапана з виносним датчиком у водяний контур калорифера підтримує задану температуру зовнішнього повітря, що подається системою вентиляції, і знижує витрати теплової енергії на підігрів зовнішнього повітря на 10 %.

Забезпечення рівномірної тепловіддачі обігрівальних труб за рахунок зміни інтенсивності променевого теплообміну на поверхні обігрівальних труб забезпечує однакові теплонадходження від кожного сегмента обігрівальних труб, а також знижує витрати теплової енергії на 4,8 %. Використання обігрівальних труб плоско-овального перерізу, які виготовлені з алюмінію з хімічним чорнінням потрібних ділянок, дозволить зменшити металоємність конструкції на 370 кг.

Керування тепловіддачею обігрівальних труб за рахунок вільної конвекції регульованими кожухами з тепловідбивним екраном дозволяє знизити вплив теплової інертності системи опалення на температурний режим у вагоні і знижує витрати теплової енергії на 4,6 %.

Практичне значення отриманих результатів визначається розробленими технічними рішеннями вдосконалення систем опалення, що підвищують комфортні умови для проїзду пасажирів, впровадження яких не потребує значних інвестицій, а підвищення енергоефективності від їх використання складає 27,4 %; це дає підстави для зниження потужності системи опалення щонайменше на 25 %, що сприятиме зниженню металоємності системи опалення і, як наслідок, викличе зниження тари вагона. Завдяки зниженню потужності системи опалення знизиться потужність високовольтного обладнання: головного роз'єднувача, контакторів, запобіжників, зменшиться поперечний переріз дротів і кількість електронагрівальних ТЕНів.

Економічний ефект від кожного із запропонованих рішень вдосконалення для одного вагона за весь період експлуатації (14 років) становить 237,51 тис. грн, а експлуатаційній парк пасажирських вагонів на 2018 рік



складає 2 366 вагонів, таким чином, для експлуатаційного парку пасажирських вагонів сумарний економічний ефект складатиме 561,948 млн. грн.

Результати виконання дисертаційного дослідження впроваджено в навчальний процес Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна, а також у виробництво в ПКТБ з проектування і модернізації рухомого складу, колії та штучних споруд Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна, у пасажирське депо Львів ПКВЧД – 8 «Пасажирської компанії» АТ «Укрзалізниця».

**Ключові слова:** система опалення, енергоефективність, математичне моделювання, пасажирський вагон, природна циркуляція, тепловіддача, нестационарні теплові процеси.

## ABSTRACT

Biloshytskyi E.V. Improvement of the operation of heating and ventilation systems for passenger carriages. – Qualification scientific work on the rights of manuscripts.

Dissertation for the degree of a candidate of technical sciences (doctor of philosophy) in specialty 05.22.07 – Rolling stock of railways and traction of trains (Branch of knowledge 27 – Transport) – Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Dnipro, 2019.

The dissertation is devoted to improvement of functioning of systems of heating and ventilation of passenger carriages by developing scientific bases the choice of optimization measures for life support systems and hardware with increased energy efficiency of these systems, without reducing the quality of microclimate in passenger carriages.

Flaws, systems of heating of passenger carriages are determined, which have two fundamental disadvantages: firstly, the lack of proper automation of work in order to maintain a stable temperature regime in wagons. Secondly, the low rate of natural circulation of water in the heating pipes there is a decrease in the heat out-

put of the heating devices, which is exacerbated by another factor – uneven heat dissipation of heating pipes. Lack of proper interaction of ventilation and heating systems, as a result, unsatisfactory use of the ventilation system of a passenger carriage. Constructions of heating systems of a passenger fleet of wagons substantiated in the 70's and 80's of the last century, when the problem of providing normalized microclimate parameters mainly solved by increasing the capacity of heating appliances.

The mathematical model is developed of non-stationary thermal mode of a passenger carriage with water heating system to evaluate the role of non-stationary, transitional temperature states in passenger carriage, selection of optimal technical characteristics of heating devices and building an algorithm for managing their work according to operating conditions, including in view of the thermal inertia of the carriage at transitional operating modes of the heating system.

Developed models of passenger carriages in the written modeling program, for complex analyzes of non-stationary thermal processes at the heating of a passenger carriage at any stage of the flight. The input data for each model consist of geometric and physical characteristics of the carriage, life support systems are taken into account, including managing them, internal tributaries of heat and external climate (temperature, wind, speed).

The factors influencing the efficiency of the process are investigated theoretically and experimentally formation of parameters of the microclimate in the passenger rolling stock. On the basis of research, which are performed using the simulation model of the wagon taking into account physically substantiated and experimentally confirmed features thermal condition of the carriage during operation, (recreated energy flows of the energy balance of passenger carriage) proposed scientifically-based methods for improving effectiveness and energy efficiency of life support systems functioning, without reducing the quality of the microclimate of passenger carriages.

The most valid methods of increasing efficiency and energy efficiency are determined, which can be realized on existing constructions of passenger carriages and which do not require significant expenses.

Supply of coolant to the heating pipes on separate risers, which allows you to refuse the use of a circulating pump.

The use of combined insulation, which reduces the heat output of the dilution pipes to 75% and allows to increase the energy efficiency of the heating system by 13.4%.

Integration of CO<sub>2</sub> sensors together with the automation of the operation of the calorifier allow to maintain the desired temperature of outside air, supplied by the ventilation system, reduces thermal energy for heating the outside air by 10%.

Ensure uniform heating of heat pipes due to changes in the intensity of radiation heat transfer from the surface of the heating pipes by installing flat-oval heating pipes are made of aluminum using the chemical blackening of the desired sites in such a way, so that heat from each heating pipe segment would be the same.

This method provides a uniform temperature regime along the length of the carriage, reduces metal construction for 370 kg, and reduces the costs of heat energy by 4.8%.

Control of heat transfer of heating pipes at the expense of free convection regulatory casings allows to reduce the influence of the thermal inertia of the heating system on the temperature mode in the carriage and reduces heat loss by 4.6%.

The proposed methods for improving heating systems are easily implemented and do not require significant investment; energy efficiency of their implementation is 27.4%, this gives grounds for reducing the power of the heating system by at least 25%.

The economic effect of each of the proposed improvement solutions for one carriage in the period of operation (14 years) is 237,51 thousand UAH, and an operational fleet of passenger carriages (projected for 2018) will make 2 366 wagons, thus for the passenger fleet of passenger carriages the total economic effect will amount to UAH 561,948 million.

**Keywords:** heating system, energy efficiency, experimental measurements, mathematical modeling, passenger carriage, natural circulation, heat transfer, non-stationary thermal processes.

## СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

### Основні положення і результати дисертації опубліковано:

#### – у закордонних фахових виданнях:

1. Белошицкий Э. В., Мямлин С. С. Усовершенствования функционирования систем отопления пассажирских вагонов. *Известия ПГУПС*. 2018. № 2. С. 271–279.

#### – у наукових фахових виданнях, затверджених МОН України, що входять до наукометричних баз даних:

2. Biloshytskyi E. V. Ways to manage heating inertia. *Наука та прогрес транспорту*. 2017. № 4 (70). С. 106–116. DOI: 10.15802/stp2017/109632.

3. Белошицкий Э. В., Мямлин С. С. Пути усовершенствования систем водяного отопления пассажирских вагонов. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2017. № 174. С. 50–60.

4. Biloshytskyi E. V. Mathematical model of unsteady heat transfer of passenger car with heating system. *Наука та прогрес транспорту*. 2018. № 1 (73). С. 121–130. DOI: 10.15802/stp2018/123409.

5. Білошицький Е. В. Енергоефективність систем життєзабезпечення рухомого складу залізниць. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2018. № 179. С. 13–25. DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.179.2018.147709>

#### – тези доповідей та матеріали міжнародних науково-практичних конференцій:

6. Белошицкий Э. В. Регулируемый воздухообмен и энергосбережение. *Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: материалы 75 Международной научно-практической конференции*. (Днепропетровск 14–15 мая 2015 г.). Днепропетровск, 2015. С. 59.

7. Белошицкий Э. В. Усовершенствование отопительных систем пассажирских вагонов. *Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта*: материалы 75 Международной научно-практической конференции. (Днепропетровск 14–15 мая 2015 г.). Днепропетровск, 2015. С. 73.

8. Белошицкий Э. В. Регулирование мощности водяного калорифера. *Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта*: материалы 76 Международной научно-практической конференции. (Днепропетровск 19–20 мая 2016 г.). Днепропетровск, 2016. С. 39.

9. Белошицкий Э. В. Пути усовершенствования систем водяного отопления пассажирских вагонов. *Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта*: материалы 77 Международной научно-практической конференции (Днепр 11–12 мая 2017 г.). Днепр, 2017. С. 36–37.

10. Белошицкий Э. В. Способы управления инертностью водяного отопления. *Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта*: материалы 77 Международной научно-практической конференции. (Днепр 11–12 мая 2017 г.). Днепр, 2017. С. 43–44.

11. Белошицкий Э. В., Кебал И. Ю. Качественное регулирование мощности отопительных приборов системы отопления пассажирских вагонов. *Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта*: материалы 77 Международной научно-практической конференции. (Днепр 11–12 мая 2017 г.). Днепр, 2017. С. 45.

12. Белошицкий Е. В., Мямлін С. С. Удосконалення параметрів енергоефективності систем життєзабезпечення рухомого складу залізниць. *Сучасні методики, інновації та досвід практичного застосування у сфері технічних наук*: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції. (Радом, Республіка Польща. 27–28 грудня 2017 р.). Радом, Республіка Польща, 2017, С. 140–144.

13. Білошицький Е. В. Визначення місць теплових втрат в пасажирських вагонах. *Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту*:



матеріали Міжнародної науково-практичної конференції. (Дніпро 17–18 травня 2018 р.). Дніпро, 2018. С. 28–30.

14. Білошицький Е. В. Експериментальне дослідження керування тепловіддачею опалювальних труб за рахунок вільної конвекції. *Основні проблеми освіти і науки: перспективи розвитку для України та Польщі: матеріали Міжнародної багатoproфільної конференції*. (Стальова Воля, Республіка Польща 20–21 липня 2018 р.). Стальова Воля, Республіка Польща, 2018. Том 6. С.76–78.

**– які додатково відображають наукові результати дисертації:**

15. Опалювальна система пасажирського вагона: пат. 115667 Україна, МПК (2017.01) B61D 27/00. Кебал Ю. В., Білошицький Е. В., Мямлін С. С. № u201610911; заявл. 31.10.2016; опубл. 25.04.2017. Бюл. № 8. 4 с.

16. Опалювальна система пасажирського вагона Пат. 116042 Україна, МПК (2017.01) B61D 27/00. Мямлін С. В., Кебал Ю. В., Дуганов О. Г., Поух Е. Ф., Білошицький Е. В. № u201610204; заявл. 07.10.2016 опубл. 10.05.2017. Бюл. № 9. 4 с.

17. Белошицкий Э. В., Кебал Ю. В. Повышение эффективности отопительно-вентиляционных систем. *Вагонный парк*. 2017. № 1–2 (118–119). С. 32–35.

ВСТУП .....	14
1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ СИСТЕМ ЖИТТЄЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПАСАЖИРСЬКИХ ВАГОНІВ, ЩО ЗНАХОДЯТЬСЯ В ЕКСПЛУАТАЦІЇ ...	22
1.1 Сучасний стан пасажирського вагонного парку .....	22
1.2 Аналіз експлуатації систем опалення і вентиляції при пасажирських перевезеннях .....	26
1.3 Сучасні тенденції вдосконалення систем опалення і вентиляції пасажирських вагонів .....	29
1.4 Методи регулювання приладів опалення .....	33
1.5 Методи розрахунку параметрів систем опалення та вентиляції пасажирських вагонів .....	34
1.6 Висновки до розділу 1 та постановка задач досліджень .....	38
2 ТЕПЛООБМІННІ ПРОЦЕСИ В ТРАНСПОРТНИХ ОБ'ЄКТАХ ІЗ СИСТЕМАМИ ОПАЛЕННЯ .....	42
2.1 Тепловий режим пасажирського вагона в опалювальний період.....	42
2.2 Математична модель нестационарного теплообміну пасажирського вагона з водяною системою опалення.....	44
2.3 Порівняння результатів теоретичних та експериментальних досліджень .....	57
2.4 Висновки до розділу 2 .....	60
3 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ Й ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ КОНСТРУКТИВНИХ РІШЕНЬ.....	61
3.1 Моделювання потоків енергії пасажирського вагона.....	61
3.1.1 Імітаційна модель пасажирського вагона та умови впливу внутрішніх і зовнішніх чинників на модель .....	61
3.2 Підвищення швидкості природної циркуляції теплоносія в системі опалення .....	66
3.2.1 Тепло, яке віддається розвідними трубами .....	68
3.2.2 Збільшення теплопередавальної поверхні обігрівальних труб	74

3.3 Зниження витрат енергії на інфільтрацію та реалізація взаємодії систем опалення і вентиляції .....	78
3.3.1 Побудова алгоритму керування приладами опалення відповідно до умов експлуатації.....	79
3.3.2 Керування калорифером відповідно до умов експлуатації .....	85
3.4 Аналіз часткової участі конвективного і променевого теплообміну на поверхні сегментів обігрівальних труб .....	89
3.4.1 Забезпечення рівномірності теплонадходжень від обігрівальних труб .....	94
3.4.2 Спосіб керування тепловіддачею обігрівальних труб за рахунок вільної конвекції .....	98
3.4.3 Керування тепловіддачею обігрівальних труб відповідно до умов експлуатації.....	101
3.5 Висновок до розділу 3 .....	103
4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ З ОБМЕЖЕННЯ ПРИРОДНОЇ КОНВЕКЦІЇ ОБІГРІВАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ ТА ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ ПАСАЖИРСЬКОГО ВАГОНА .....	105
4.1 Експериментальне дослідження керування тепловіддачею обігрівальних труб за рахунок вільної конвекції .....	105
4.2 Експериментальне дослідження дії вільної конвекції в конструкційних стельових порожнинах .....	114
4.3 Висновки до розділу 4 .....	118
5 ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАПРОПОНОВАНИХ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ДЛЯ СИСТЕМ ОПАЛЕННЯ ПАСАЖИРСЬКОГО ВАГОНА.....	120
5.1 Методика оцінки економічної ефективності .....	120
5.2 Визначення вартісної оцінки результатів .....	123
5.3 Визначення показників економічної ефективності .....	124
5.4 Висновки до розділу 5 .....	128

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	129
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК.....	132
ДОДАТОК А .....	148
ДОДАТОК Б.....	151

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Пасажирські перевезення є одним з основних видів діяльності залізничного транспорту. При цьому пасажирський рухомий склад є важливою складовою цього виду послуг, який повинен забезпечувати не тільки безпеку руху, але й комфортні умови перевезень. Комфортабельність пасажирського рухомого складу формується з урахуванням багатьох чинників: планування, дизайну внутрішнього обладнання, систем життєзабезпечення і якості їх роботи. При експлуатації пасажирського вагонного парку актуальним є напрямок, пов'язаний із забезпеченням комфортних умов проїзду пасажирів. Для цього використовуються відповідні системи життєзабезпечення, які й мають створювати комфортні умови в пасажирських вагонах.

Як показує досвід експлуатації пасажирського рухомого складу, при проектуванні вагонів недостатньо враховуються чинники, що впливають на рівень комфортності пасажирського вагона. Незадовільне використання вентиляційних систем пасажирських вагонів видається відсутністю її належної взаємодії з роботою системи опалення. Система опалення є однією з найважливіших і складних систем життєзабезпечення пасажирського рухомого складу, вона служить для підтримки комфортних умов у холодну пору року. Однак, конструкторами вагонів не повністю враховується низка чинників, що можуть впливати на температурний режим у пасажирському вагоні. Як відомо, на більшості пасажирських вагонів як основна використовується водяна система опалення.

У процесі експлуатації підтримувати необхідну температуру теплоносія відповідно до зовнішніх і внутрішніх параметрів в опалювальному котлі існуючої конструкції пасажирського вагона практично неможливо, у результаті чого виникають перехідні режими опалення, які викликають коливання температури повітря в пасажирських вагонах. Значна теплова інертність системи опалення посилює коливання температури повітря у вагоні. Цей процес ускладнюється ще й тим, що з підвищенням швидкостей



руху зростають тепловтрати через огорожувальні конструкції кузова. Крім того, у теперішній час в експлуатованих пасажирських вагонах управління приладами опалення конструктивно не передбачене. Управління продуктивністю обігрівальних приладів можливе тільки регулюванням температури теплоносія в системі опалення.

Таким чином, удосконалення систем забезпечення мікроклімату (тут розуміємо, що мікроклімат – це сукупність кліматичних умов (температура, вологість повітря та ін.), що створюються в приміщенні на якій-небудь обмеженій території для нормального самопочуття людей), що входять у загальну систему життєзабезпечення пасажирських вагонів є одним з перспективних напрямків сучасних досліджень під час модернізації пасажирського рухомого складу залізниць і підвищені рівня його комфортабельності та енергоефективності. Забезпечення максимально комфортного рівня проїзду пасажирів підвищує конкурентоспроможність залізничного транспорту на ринку пасажирських перевезень. Тому тема дисертації, що спрямована на вдосконалення систем забезпечення мікроклімату пасажирських вагонів, є актуальною для залізничного транспорту України.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Роботу виконано у відповідності до Концепції Програми оновлення рухомого складу, схваленої 29.11.2016 правлінням ПАТ «Укрзалізниця», що діє до 2021 року та відповідає Транспортній стратегії України на період до 2020 року, затвердженої розпорядженням Кабінету Міністрів України № 2174-р від 20 жовтня 2010 року. Робота проводилася відповідно до держбюджетних науково-дослідних робіт Міністерства освіти і науки України, а саме: «Розвиток туристичних перевезень залізничним транспортом України» (№ державної реєстрації 0115U002424), «Науково-технічне забезпечення сталого розвитку залізничних перевезень в міжнародному сполученні «Україна – Євросоюз» (№ державної реєстрації 0117U004391). Автор є виконавцем цих науково-дослідних робіт

та автором звітів, що враховують пріоритетні тематичні напрями наукових досліджень відповідно до Постанови Кабінету Міністрів України від 07 вересня 2011 р. № 942 «Про затвердження переліку пріоритетних тематичних напрямів наукових досліджень і науково-технічних розробок на період до 2020 року», «Енергетика та енергоефективність» в галузі енергоефективних технологій на транспорті.

**Мета та задачі дослідження.** Метою дисертаційної роботи є вдосконалення функціонування систем забезпечення параметрів мікроклімату в пасажирських вагонах із підвищенням енергоефективності цих систем за рахунок зниження непродуктивних витрат теплової енергії.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- провести аналіз існуючого технічного стану систем життєзабезпечення пасажирських вагонів, які безпосередньо впливають на умови комфорту;
- провести аналіз наукових публікацій, які присвячені проблемам вдосконалення систем життєзабезпечення пасажирського рухомого складу;
- розробити математичну модель нестационарних теплових процесів у пасажирському рухомому складі для дослідження перехідних температурних станів у приміщеннях пасажирського вагона з урахуванням особливостей різних конструктивних рішень системи опалення;
- розробити імітаційні моделі пасажирських вагонів для проведення комплексного аналізу нестационарних теплових процесів під час опалення пасажирського вагона на різних етапах поїздки при перевезенні пасажирів;
- виконати теоретичні та експериментальні дослідження параметрів мікроклімату пасажирських вагонів із різним конструктивним виконанням основних систем життєзабезпечення;
- розробити на основі результатів теоретичних і експериментальних досліджень технічні рішення з підвищення енергоефективності систем життєзабезпечення для існуючих конструкцій пасажирських вагонів;

– виконати техніко-економічне обґрунтування запропонованих технічних рішень.

**Об’єктом дослідження** є процес формування параметрів мікроклімату пасажирських вагонів при перехідних режимах роботи систем опалення та вентиляції.

**Предметом дослідження** є технічні рішення з підвищення ефективності функціонування систем опалення та вентиляції пасажирських вагонів з урахуванням показників їх енергоефективності.

**Методи досліджень.** Під час вирішення сформульованих завдань в дисертації використані фізично обґрунтовані методи узагальнення та ідеалізації об’єктів дослідження, побудови математичних моделей і наданий розрахунок аналітичними і чисельними методами в поєднанні з експериментальними дослідженнями окремих структурних елементів з узагальненням отриманих результатів відповідно до об’єкта в цілому. При відпрацюванні технічних рішень з удосконалення систем життєзабезпечення пасажирського вагона застосовано методи аналізу та синтезу. При обробці результатів експериментальних досліджень застосовані статистичні методи.

**Наукова новизна результатів.** У дисертаційній роботі на основі викладених теоретичних і експериментальних досліджень вирішене актуальне наукове завдання з вдосконалення функціонування систем опалення та вентиляції пасажирських вагонів локомотивної тяги. До основних наукових результатів, отриманих автором особисто, і які виносяться на захист, відносяться наступні положення:

1. **Вперше** розроблено математичну модель нестационарних теплових процесів у пасажирському вагоні з водяною системою опалення, що за рахунок урахування динамічного характеру процесів дозволяє підвищити якість оцінки конструктивних рішень систем життєзабезпечення.

2. **Вперше** отримано комплексну залежність параметрів мікроклімату в приміщеннях пасажирського вагона локомотивної тяги від величини повітрообміну, обсягу інфільтрації та кількості пасажирів у вагоні, що дозво-

ляє узгоджено керувати параметрами мікроклімату в часі з дотриманням умов теплового балансу.

**3. Удосконалено** метод керування продуктивністю калорифера з формуванням оптимального режиму функціонування за рахунок урахування взаємозв'язків між параметрами функціонування систем опалення та вентиляції пасажирського вагона локомотивної тяги, що дозволяє, на відміну від існуючих, суттєво покращити якісні показники мікроклімату та підвищити енергоефективність пасажирського вагона локомотивної тяги.

**4. Набули подальшого розвитку** методи аналізу параметрів теплового балансу пасажирського вагона локомотивної тяги за рахунок виділення зон температурних полів всередині вагона, що дозволяє зменшити непродуктивні витрати теплової енергії та покращити показники комфорту для пасажирів.

**Практична цінність дисертації** визначається розробленими технічними рішеннями з вдосконалення систем опалення, що підвищують комфортні умови для проїзду пасажирів, впровадження яких не потребує значних капітальних вкладень. Підвищення енергоефективності від їх використання складає 27,4 %. Це дає підстави для зниження потужності системи опалення щонайменше на 25 %, що сприятиме зниженню металоємності системи опалення і, як наслідок, сприяє зниженню тари пасажирського вагона. Завдяки зниженню потужності системи опалення знизиться також потужність високовольтного обладнання: головного роз'єднувача, контакторів, запобіжників, зменшиться поперечний переріз дротів і кількість електронагрівальних приладів (ТЕНів).

Результати виконання дисертаційних досліджень у вигляді математичних моделей впроваджені в навчальний процес Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна та використовуються під час підготовки бакалаврів, магістрів за спеціалізацією «Енергетичний менеджмент та енергоефективність у промисловій та комунальній сфері», за спеціальністю [144] «Теплоенергетика» (акт впровадження від 10 вересня 2018 р.). Результати дисертаційного

дослідження у вигляді математичної моделі і програми «Терло» для дослідження теплових процесів усередині пасажирського вагона впроваджено в ПКТБ з проектування і модернізації рухомого складу, колії та штучних споруд Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна; вони використовуються для оцінки конструкторських рішень на стадіях проектування систем опалення і вентиляції (акт впровадження від 17 вересня 2018 р.). Результати експериментальних досліджень впроваджені у виробництво в пасажирському депо «Львів» ПКВЧД–8 Пасажирської компанії АТ «Укрзалізниця» (акт впровадження від 12 жовтня 2018 р.).

**Особистий внесок здобувача** полягає в плануванні та проведенні теоретичних та експериментальних досліджень, аналізі отриманих результатів, розробці нових конструктивних рішень. Результати виконаних досліджень містяться в роботах [97, 100–108, 117, 121, 123, 126, 128, 132, 133]. Роботи [97, 100–104, 106, 107, 117, 128] виконано без співавторів. У роботах, які надруковано у співавторстві, здобувачеві належить наступне:

[105] – проведено аналіз способів регулювання опалювальних приладів, підібраний оптимальний спосіб регулювання системи опалення пасажирських вагонів;

[108] – обґрунтовано удосконалення конструкції елементів системи життєзабезпечення пасажирського вагона та виконано відповідні теоретичні дослідження;

[121] – запропоновано підвищення швидкості природної циркуляції теплоносія в системі опалення і збільшення теплопередавальної поверхні обігрівальних труб. Виконано розрахунки параметрів мікроклімату;

[123, 132] – підготовка технічного опису корисної моделі;

[126] – запропоновано автоматизацію роботи водяного калорифера для підтримки заданої температури нагрітого в калорифері зовнішнього повітря, що подається системою вентиляції; розроблено математичну модель взаємодії систем опалення та вентиляції пасажирських вагонів; підібрана



видаткова характеристика регульованого клапана; виконано теоретичні дослідження роботи калорифера.

[133] – проведено аналіз технічної можливості підвищення ефективності функціонування систем опалення пасажирських вагонів та запропоновано відповідні технічні та технологічні рішення.

**Апробація результатів дисертації.** Основні ідеї, положення та результати дисертаційної роботи представлені та обговорені на 75-й Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (м. Дніпропетровськ 2015 р.), 76-й Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (м. Дніпропетровськ 2016 р.), 77-й Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (м. Дніпро 2017 р.), Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні методики, інновації та досвід практичного застосування у сфері технічних наук» (м. Люблін, Республіка Польща, 2017 р.), 78-й Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (м. Дніпро 2018 р.), Міжнародній науково-практичній конференції «Ключові питання освіти та науки: перспективи розвитку для України та Польщі» (м. Стальова Воля, Республіка Польща, 2018 р.).

Матеріали дисертаційної роботи в повному обсязі доповідалися на засіданні міжкафедрального наукового семінару Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна 25 жовтня 2018 року.

**Публікації.** За результатами проведених досліджень за темою дисертації опубліковано 17 наукових робіт, з яких: 6 статей, в тому числі 5 статей – у виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз даних, у тому числі 1 стаття – за кордоном та 4 статті – у спеціалізованих наукових виданнях, що входять до переліку фахових видань, 2 патенти України на корисні моделі, 9 тез доповідей Міжнародних наукових конференцій.

**Структура та обсяг роботи.** Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів із висновками та загальних висновків. Повний обсяг дисертації складає 151 сторінку, з яких основний текст дисертації складає 131 сторінку, у роботі міститься 19 таблиць, з них – 1 таблиця на 1-й окремій сторінці, 32 рисунки, список літератури з 144 джерел викладено на 16 сторінках, додатки – на 4 сторінках.