

Голові разової спеціалізованої вченої ради
Національного університету «Львівська політехніка»
доктору технічних наук, професору
Віковичу Ігорю Андрійовичу

РЕЦЕНЗІЯ

кандидата технічних наук, доцента,
доцента кафедри автомобільного транспорту
на дисертаційну роботу Войчишина Юрія Івановича
«Покращення ефективності опалення та повітрообміну салону автобуса»,
яка подана на здобуття наукового ступеня доктора філософії
галузі знань 13 “Механічна інженерія”
за спеціальністю 133 “Галузеве машинобудування”

Актуальність теми дисертаційної роботи. Розширення автопарку новітніми сучасними автобусами, насамперед великогабаритних категорії МЗ, суттєво підвищило якість послуг пасажирських перевезень. Загалом комфортність вказаних транспортних засобів визначають вібраційні, акустичні, кліматичні складові, освітлення та ергономічні аспекти інжинірингу і дизайну салону та робочого місця водія. Кліматична ж комфортність ТЗ передбачає підтримання належних параметрів теплового режиму та якості повітря, тобто його вологості і концентрації небажаних або й шкідливих речовин. Проте узагальнене оцінювання комфортності автобусів переважно здійснюють за трьома основними групами чинників: організаційними, конструктивними та експлуатаційними.

Незважаючи на значне споживання енергетичного ресурсу системами опалення, охолодження та вентиляції КТЗ і, як наслідок, очевидного погіршення паливної ощадливості, без цих систем практично неможливе забезпечення належного рівня якості перевезень пасажирів. Завдання ускладняється впливом особистих змінних кожного конкретного пасажирів.

На відміну від питань теплової комфортності закритих стаціонарних приміщень, її оцінка у салонах ТЗ потребує урахування специфіки руху й розгляду в динаміці. Окрім процесів теплопередачі та впливу сонячної радіації, тепловий комфорт у транспорті має низку специфічних особливостей. Серед них — недостатня теплоізоляція, висока щільність пасажирів на одиницю площі, необхідність забезпечення ефективного повітрообміну, а також швидкого регулювання температури салону, наприклад, на зупинках.

Оцінка теплового відчуття організму людини є суб'єктивним чинником і надається ASHRAE емпіричними кореляціями так званої термонеutralності. Це описує та оцінює низка індексів: TS (теплове відчуття), DTS (динамічне TS), PMV і PPD (відповідно прогнозований середній відсоток задоволених і незадоволених). Вони враховують параметри пасажир, одягу і довкілля (згідно ISO 7730). На даний час керуються стандартом EN ISO 14505 «Оцінка теплового середовища в транспортних засобах» поєднання суб'єктивного та об'єктивного досліджень.

Забезпечення нормативів конвективного, радіаційного та кондуктивного теплообміну салону та робочого місця водія автобуса, заміна традиційної системи опалення від охолоджувальної рідини ДВЗ електронагрівачами, пошук альтернативних джерел обігріву салону є важливою та актуальною задачею.

Зв'язок теми дисертації з державними програмами, науковими напрямками університету та кафедри. Дисертаційні дослідження виконувалися відповідно до науково-дослідної роботи кафедр автомобілебудування та проектування машин та автомобільного інжинірингу Національного університету «Львівська політехніка» за тематикою “Методологія конструктивного синтезу та параметричної оптимізації автомобілів і підйально - транспортних машин” (№ д/р 0119U101964).

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, їх достовірність і новизна.

Наукова новизна дисертаційної роботи полягає в узагальненні розвитку існуючих у практичному застосуванні методів багатофакторного аналізу для кількісної та якісної оцінки мікрокліматичних параметрів салону автобуса, вперше:

1. Проаналізовано розподіл температур від ДВЗ по стінках кузова автобуса, що дає можливість оцінити наскільки теплота від мотовідсіку може розподілятися по стінках кузова і за рахунок цього додатково використовуватися джерелом тепла у системі опалення автобуса;

2. Поставлено питання щодо використання теплоти ДВЗ на нагрів салону автобуса та виявлено, що для великогабаритного міського автобуса можна отримати тепловіддачу еквівалентну практично двом середньостатистичним салонним опалювачам у залежності від компонування ДВЗ автобуса;

3. Запропоновано використання в салоні автобуса опалювачів типу «повітряна завіса» та оцінено їх ефективність для салону великогабаритної моделі автобуса;

4. Зменшено витрату системи опалення автобуса за рахунок використання комбінованої системи опалення з додатковим вентилятором для забору теплоти від ДВЗ для лівої сторони і повітряних завіс для правої сторони автобуса.

Практичне значення результатів дисертаційної роботи:

1. Результати дослідження можуть слугувати базою для удосконалення конструкції системи опалення та повітрообміну автобусів, тролейбусів чи електробусів;
2. Дослідження можуть бути використані під час розробки нових перспективних моделей автобусів, тролейбусів та електробусів;
3. Розроблена методика експериментальних досліджень може використовуватись на більшості моделей автобусів, тролейбусів чи електробусів, які є аналогами автобусів Електрон А185 (City low-floor 12m).

Достовірність результатів дослідження Забезпечено коректним використанням відомих методів досліджень і основних положень теплотехніки, застосуванням сучасної вимірювальної апаратури на основі мікроконтролера Arduino, засобів математичного моделювання у ПЗ ANSYS-Fluent та опрацювання результатів експериментальних досліджень у ПЗ MicrosoftExcel, що підтверджено розбіжностями в допустимих межах результатів експерименту та моделювання.

Результати, отримані автором прийняті до впровадження у ТОВ «Завод ЕлектронМаш», Львівському АТП №1, Львівському АТП – 14630, ПРАТ «ЗАЗ», ТзОВ БАНКЕ ЮКРЕЙН (представник датської компанії Banke ApS), НУ «Львівська політехніка». Основні результати дисертації використовуються кафедрою проєктування машин та автомобільного інжинірингу при підготовці фахівців за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування».

Структура, зміст, методологія та оформлення дисертації. Дисертаційна робота містить вступ, чотири розділи, загальні висновки, список використаних джерел із 142 найменувань на 13 сторінках та додатки на 42 сторінках. Повний обсяг дисертації становить 244 сторінки, з них 183 сторінок основного тексту, 117 рисунків, 18 таблиць.

У **вступі** обґрунтовано актуальність дослідження, представлено зв'язок роботи з науково-дослідною тематикою кафедри, визначено мету і задачі дослідження. Сформульовано наукову новизну, практичне значення одержаних результатів та особистий внесок здобувача. Представлено інформацію стосовно опублікування результатів дослідження та їх апробацію.

В **першому** розділі проведено аналіз методів оцінювання та способів забезпечення кліматичного мікроклімату в салоні ТЗ та на робочому місці оператора. Для кількісної оцінки продуктивності та енергетичної ефективності HVAC дослідники аналізували теплові втрати, теплопередачу, циркуляцію і якість повітряного середовища, умови досягнення нормативного мікроклімату в салоні,

однак відсутній комплексний підхід до аналізу впливу зовнішніх і внутрішніх факторів на мікроклімат в салоні. Чисельний експеримент є практично завжди менш затратним ніж натурний, тому рядом компаній, такі як Autodesk, Dassault Systemes, Ansys та ін. створено комерційні програмні продукти, частина з яких є безкоштовними з відкритим кодом, для досліджень повітряних потоків перевагу слід надавати CFD-моделюванню.

В другому розділі проведено аналіз основних параметрів довкілля, які впливають на формування мікроклімату у салоні і на робочому місці водія (температура, швидкість та вологість повітря тощо), враховано термічну ізоляцію одягу та рівень активності і проаналізовано ризики їхнього недотримання. Вперше запропоновано облаштування у системі опалення пристрою відбору гарячого повітря від зовнішньої поверхні випускного колектора. Для елементів природної і примусової вентиляції, у залежності від їх конструктивних особливостей, отримано в режимі 3-D діаграми повітряних потоків.

У третьому розділі визначено моделюванням PMV-методом параметри мікроклімату згідно стандартів ASHRAE. За допомогою CBE Thermal Comfort Tool отримано залежності компонентів втрат тепла та швидкості повітря в залежності від робочої температури, теплового балансу та теплової енергії, що виділяється внаслідок метаболізму пасажирів і водія автобуса. Розрахунки 3-D моделі салону автобуса проведено у програмному пакеті ANSYS-Fluent. Уперше досліджено розподіл температури по салону автобуса при передньомоторній, у базі і задньомоторній компоновках ДВЗ, які розміщуються опозитно і у вертикальній тумбі. Вперше запропоновано встановлення у міських автобусах горизонтально, вертикально та внизу розміщених обігрівачів типу «повітряна завіса».

Четвертий розділ присвячений експериментальній оцінці адекватності результатів комп'ютерного моделювання системи опалення, параметрів вентиляції, а також моделювання повітряних потоків та температур у ANSYS-Fluent Workbench. За допомогою експериментальної апаратури на основі Arduino проведено вимірювання в кабіні водія та салоні автобуса. Окреслено перспективний напрям реалізації HVAC для автобусів з використанням теплоти навколо ДВЗ простору та електричних опалювачів для електробусів. На підставі аналізу експериментальних досліджень та розрахунків опалення та вентиляції автобуса Електрон А185 запропоновано використання комбінованої системи опалення із використанням вентиляторів забору повітря та повітряних завіс, а для покращення повітрообміну використання дахових нагнітаючих вентиляторів.

Висновки є достатньо обґрунтованими і відповідають результатам проведених теоретичних та експериментальних досліджень.

Повнота викладення результатів в опублікованих працях. Основні результати дисертаційної роботи відображені у наукових працях, серед яких: 8 статей у наукових фахових виданнях України; 3 статті у міжнародній науково-метричній базі Scopus; 2 статті у періодичних закордонних виданнях (Швейцарія, США); в збірниках матеріалів наукових конференцій опубліковано 9 доповідей.

Праці Войчишина Ю. І. відповідають п. 11 «Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 6 березня 2019 року № 167 (зі змінами, внесеними від 21.10.2020 р.).

Відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності. У дисертаційній роботі Войчишина Ю. І. «Покращення ефективності опалення та повітрообміну салону автобуса» ознак академічного плагіату не виявлено. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Зауваження щодо змісту дисертації.

1. Можливо, у темі було доцільно виділити саме ту категорію автобусів, що розглядалась у роботі.

2. У вступі в 1-ому абзаці до факторів комфорту включена ергономіка. Проте у багатьох джерелах поняття «ергономіка» передбачає не тільки вдале компонування (дизайн) робочого місця з урахуванням знань з антропології, біомеханіки, хіротехніки тощо, але й взаємодію людини з довкіллям, тобто комфортність можна вважати складником ергономіки, а не навпаки. Тому тут ергономіка замінена висловом «ергономічні аспекти інжинірингу і дизайну». Також можлива дискусія стосовно основних аспектів мікроклімату у 3-ому абзаці, тобто класифікація вібраційної та акустичної комфортності (без сумніву, вони між собою тісно пов'язані) як частини кліматичної.

3. Двічі різними зворотами у вступі наголошено, що опалення є і енергомісткою, і відкритою термодинамічною системою.

4. В першому розділі 1-й абзац історичної ретроспективи з точки зору наукової спрямованості є не зовсім вдалим. Не варто порушувати цілісність рис. 1.1 або оформити з продовженням. На стор. 17 наведений опис вимоги термонеутральності, докладно описаний у вступі.

5. У розділі 2 у деяких формулах не вказані одиниці виміру.

6. Бажано не вживати займенники 1-ї особи (3.2, абз. 3).

7. З рис. 3.3 незрозуміло, якої конструкції система охолодження ДВЗ, також у тексті майже не вказано про основні спрощення при наближенні задачі до осесиметричної. Також незрозуміло характер зміни коефіцієнта тепловіддачі.

8. В п'ятому розділі надто мало уваги приділено аналізу взаємозв'язку різних типів нерівностей дороги та отриманих результатів.

9. Також незрозуміло з п. 3.1, чи PMV та PPD – методи застосовують для кінцевого визначення відсотків (не)задоволених чи початкового даних для теплового балансу в салоні і метаболічних виділень від пасажирів.

10. В розділі 4 не зовсім зрозуміле поєднання стандартної методики визначення теплових втрат і моделювання температурних полів.

Наведені зауваження не зменшують загальний науковий рівень дисертаційної роботи, новизну та адекватність отриманих результатів дисертації. Опрацьовані в дисертаційній роботі методики та пропозиції щодо покращення ефективності опалення та повітрообміну робочого місця і салону великогабаритних автобусів категорії М3 та електробусів є завершеним науково-практичним дослідженням, яке поліпшує експлуатаційні властивості вказаних ТЗ під час їх використання на міських маршрутах

Відповідність дисертаційної роботи встановленим вимогам Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого ступеня доктора філософії. Представлена дисертаційна робота є самостійною завершеною науково-дослідною роботою здобувача. Матеріал, що наведений у дисертаційній роботі свідчить про достатній рівень розробки теми. Порядок та стиль викладення матеріалу відповідає вимогам, які пред'являються до дисертаційних робіт. Всі етапи роботи послідовно спрямовані на досягнення мети, поставленої в роботі, зміст якої відповідає спеціальності 133 “Галузеве машинобудування” галузі знань 13 “Механічна інженерія”.

Методологія дисертаційної роботи сучасна, містить широке використання математичних методів, комп'ютерне моделювання та експериментальну перевірку основних положень.

Дисертаційна робота показує, що її автор сформувався як науковець, який може самостійно займатись науковими дослідженнями, аналізувати отримані результати та обґрунтовувати висновки і рекомендації.

Дисертаційна робота написана якісною технічною мовою, з використанням загальноприйнятої термінології, має необхідну кількість ілюстрацій. Оформлення дисертації відповідає вимогам до оформлення.

Загальний висновок

1. Робота присвячена вирішенню актуальної науково-практичної задачі покращення ефективності опалення та повітрообміну робочого місця і салону великогабаритних автобусів категорії М3 та електробусів на міських маршрутах, а

її обсяг відповідає вимогам до дисертаційних досліджень на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 133 “Галузеве машинобудування” галузі знань 13 “Механічна інженерія”.

2. Наведені у відгуку зауваження до матеріалів дисертації не зменшують загальний високий науковий рівень роботи, яка достатньо повно відображена у наукових працях, апробована на конференціях.

3. Дисертаційна робота Войчишина Ю. І. «Покращення ефективності опалення та повітрообміну салону автобуса» відповідає вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації» (зі змінами внесеними від 31.05.2019 р.), Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії (Постанова Кабінету Міністрів України від 6 березня 2019 р. № 167 зі змінами, внесеними від 21.10.2020 р.). Дисертаційна робота є завершеною науковою працею, виконана на належному науковому рівні.

4. Дисертаційна робота Войчишина Ю. І. «Покращення ефективності опалення та повітрообміну салону автобуса» може бути представлена до захисту у разову спеціалізовану вчену раду для здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 133 “Галузеве машинобудування” галузі знань 13 “Механічна інженерія”.

Рецензент:

доцент кафедри автомобільного транспорту
Національного університету
„Львівська політехніка”
кандидат технічних наук, доцент



Олег КОЦЮМБАС

Підпис к.т.н., доцента Олега КОЦЮМБАСА
«ЗАСВІДЧУЮ»

Вчений секретар Національного університету
«Львівська політехніка»

«___» _____ 2025 р.



Роман БРИЛИНСЬКИЙ