

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

ВІДГУК

офіційного опонента

д-ра техн. наук, доцента **Рубана Дмитра Петровича**

на дисертаційну роботу

Войчишина Юрія Івановича

«Покращення ефективності опалення та повітрообміну салону автобуса»,

подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії

з галузі знань 13 – Механічна інженерія за спеціальністю

133 – Галузеве машинобудування

Актуальність теми дисертації.

На сьогодні перевезення пасажирів автобусами громадського транспорту набуло суттєвого розвитку. В основному використовуються автобуси із двигунами внутрішнього згоряння, а також постійно зростає кількість електробусів. Поряд із розвитком конструкцій автобусів щодо поліпшення тягово-швидкісних властивостей, економічних та екологічних показників в умовах жорсткої конкуренції, постає питання також по підвищенню комфорту перевезення пасажирів. Однією із важливих складових комфорту є мікроклімат у салоні автобуса. Як показує виробнича практика, а також і встановлено здобувачем, що існують резерви поліпшення комфорту перевезення пасажирів автобусами з двигунами внутрішнього згоряння. Підвищення ефективності роботи кліматичних установок також дозволить зменшити їх енерговитратність, що поліпшить паливну економічність автобусів. В електробусах резервів щодо підвищення ефективності ще більше, оскільки класичні методи застосовані для автобусів із тепловими двигунами в повній мірі тут вже неможливо застосувати. Таким чином поліпшення ефективності опалення та повітрообміну салону автобуса відіграє неабияку роль в розвитку автобусобудування та має резерви для застосування нових концептуальних рішень, що і є на сьогодні актуальним дослідницьким завданням.

Наукова обґрунтованість представлених теоретичних та експериментальних результатів досліджень.

Представлені в дисертації наукові ідеї, використані методики, висновки та рекомендації є достовірними та в більшості випадків обґрунтованими. Для

цього автор виконав цілий комплекс досліджень. Дисертантом опрацьовано широкий спектр літературних джерел з досліджуваної тематики, в результаті чого визначено основні слабкі місця при роботі опалення та повітрообміну в салонах автобусів. Дисертаційна робота містить достатню кількість графічного пояснювального матеріалу, таблиць, опису методик досліджень і експериментального обладнання щодо покращення ефективності опалення та повітрообміну робочого місця водія і салону автобусів категорії М3 та електробусів на міських маршрутах. Достовірність результатів дослідження забезпечено коректним використанням відомих методів досліджень і основних положень теплотехніки, застосуванням сучасної вимірювальної апаратури на основі мікроконтролера Arduino, засобів математичного моделювання (ANSYS-Fluent) та опрацювання результатів експериментальних досліджень (Microsoft Excel). Це підтверджено розбіжностями в допустимих межах результатів експерименту та моделювання. Узагальнені висновки дисертації відповідають поставленій меті та задачам дослідження. Висновки у повній мірі відображають усі отримані результати в конкретних числових одиницях.

Основні наукові результати та їх новизна.

Наукова новизна полягає в узагальненні, розвитку існуючих у практичному застосуванні методів багатофакторного аналізу для кількісної та якісної оцінки мікрокліматичних параметрів салону автобуса. При цьому: вперше: - проаналізовано розподіл температур від двигуна внутрішнього згоряння по стінках кузова автобуса, що дає можливість оцінити наскільки теплота від моторного відсіку може розподілятися по стінках кузова і за рахунок цього використовуватися джерелом тепла у системі опалення автобуса; - поставлено питання щодо використання теплоти двигуна внутрішнього згоряння на нагрів салону автобуса та встановлено, що для великогабаритного міського автобуса можна отримати тепловіддачу еквівалентну двом середньостатистичним опалювачам салону; - запропоновано раціональний варіант використання в салоні автобуса опалювачів типу «повітряна завіса»; - підвищено енергоефективність системи опалення автобуса за рахунок використання комбінованої системи опалення з додатковим вентилятором для забору теплоти від двигуна внутрішнього згоряння для лівого боку і повітряних завіс для правого боку автобуса. Удосконалено систему вентиляції міського автобуса за рахунок дахових нагнітаючих вентиляторів, що і дає можливість поліпшити повітрообмін у салоні. Набула подальшого розвитку методика експериментальних досліджень параметрів мікроклімату транспортних засобів.

Практичне значення та практична цінність отриманих результатів.

Отримані результати дослідження можуть бути базою для удосконалення конструкції системи опалення та повітрообміну автобусів, тролейбусів чи електробусів. Також отримані результати можуть бути використані під час розробки нових перспективних моделей автобусів, тролейбусів та електробусів. Розроблена методика експериментальних досліджень може використовуватись на більшості моделей автобусів, тролейбусів чи електробусів, які є аналогами автобусів Електрон А185.

Оцінка змісту дисертації та її завершеності.

Дисертація є завершеною науковою працею, у межах якої проведено дослідження, що мають за мету підвищення ефективності роботи системи опалення та повітрообміну салону міського автобуса. Робота викладена на 244 сторінках та складається із анотації, вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел із 142 найменувань і сімнадцяти додатків.

У вступі обґрунтовано актуальність проблеми, визначено мету і пов'язані з нею завдання досліджень, відображено наукову новизну та практичну цінність дисертації. Представлено відомості, що стосуються особистого внеску здобувача, особливості використання результатів роботи, а також інформацію про структуру самої дисертації.

У першому розділі проведено всебічний аналіз методів оцінювання і способів забезпечення належного мікроклімату в салоні транспортних засобів та на робочому місці водія. Встановлено, що система опалення є однією з найбільш енерговитратних. При чому аналіз досліджень показує, що системи опалення і вентиляції у автобусах доцільно розглядати як складну динамічну систему. Тому дослідження мікроклімату в автобусі слід розділити на дві категорії. Перша включає дослідження продуктивності HVAC та станом їх агрегатів, а друга пов'язана з умовами експлуатації. З проведеного аналізу літературних джерел слідує, що для кількісної оцінки продуктивності та енергетичної ефективності HVAC необхідно використовувати ряд параметрів і конструктивних характеристик. Для цього дослідники аналізували теплові втрати, теплопередачу, циркуляцію і якість повітряного середовища, умови досягнення нормативного мікроклімату в салоні. Лише незначна частина існуючих дослідницьких робіт є комплексними і присвячені складовим HVAC. А саме: підігрівачам чи кондиціонерам, а більшість направлена на пошуки шляхів модернізації конструктивних елементів. З проведеного аналізу програмних продуктів для досліджень повітряних потоків встановлено, що перевагу слід надавати CFD-моделюванню.

У другому розділі здобувачем проведено аналіз не тільки основних параметрів навколишнього середовища, які впливають на формування мікроклімату у салоні і на робочому місці водія, а також враховано термічну ізоляцію одягу та рівень активності і проаналізовано ризики їхнього недотримання. Застосовано рівняння теплового балансу салону автобуса, основними складовими якого є: кількість теплоти для нагрівання інфільтрованого повітря, теплові втрати на службових зупинках при виході/вході пасажирів, теплові втрати через поверхні кузова, теплові втрати через стекла, теплота, що надходить від пасажирів та теплота від двигуна через стінки мотовідсіку. Здобувачем запропоновано у системі опалення пристрій відбору гарячого повітря від зовнішньої поверхні випускного колектора, що дозволить отримати до 80% кількості теплоти, необхідної для обігріву салону при мінусових температурах. У літній період можна зменшити теплонавантаженість салону до 4% застосуванням захисної плівки для вікон. Проаналізовано особливості режимів роботи складових системи повітрообміну, опалення та кондиціонування автобусів. Для елементів природної і примусової вентиляції отримано в режимі 3D діаграми повітряних потоків.

У третьому розділі промодельовано параметри мікроклімату PMV методом згідно стандартів ASHRAE. За допомогою CBE Thermal Comfort Tool отримано залежності компонентів втрат тепла та швидкості повітря від робочої температури, теплового балансу, та теплової енергії, що виділяється внаслідок метаболізму пасажирів і водія автобуса. Обрано турбулентну модель, яка відповідає потокам повітря салону автобуса. В цій моделі базовими рівняннями для системи повітрообміну в салоні автобуса є рівняння Рейнольдса та Нав'є-Стокса для тривимірного руху газу. Розрахунки 3D моделі салону автобуса проведено у програмному пакеті ANSYS-Fluent. Просторова модель автобуса початково створена в програмному середовищі Solidworks. Уперше досліджено розподіл температури по салону автобуса при різних існуючих компоновках двигуна. Отримано розподіл температур по площині на рівні лівого ряду сидінь та площині середини салону в районі накопичувального майданчика в зоні ніг сидячого пасажирів. Запропоновано встановлення на стінці мотовідсіку додаткового вентилятора для переміщення в салон теплового потоку у повітропроводі на рівні ніг. Проаналізовано температурні карти по правому ряду сидінь салону автобуса при використанні комбінацій і режимів роботи повітряних завіс.

У четвертому розділі проаналізовано та наведено різні типи автобусів, які експлуатуються у містах України. На основі цього аналізу для подальших експериментальних досліджень обрано автобус марки «Електрон» А185. Для

цього автобуса проведено розрахунки системи опалення, визначено теплові втрати кузова в холодну пору року, параметри вентиляції, а також проведено моделювання повітряних потоків та температур у ANSYS-Fluent Workbench. Отримано три температурні карти розподілу температур по салону автобуса під час роботи системи опалення по лівому, правому ряду сидінь та посередині салону. За допомогою експериментальної апаратури на основі Arduino проведено експериментальні вимірювання в кабіні водія та салоні автобуса. У салоні вимірювання проводились на рівні ніг та голови в чотирьох зонах салону автобуса над передніми осями, на накопичувальному майданчику, над задніми осями та в задній частині автобуса. На графіках досліджень відображалась зміна температури в певній точці салону автобуса протягом 30-40 хв. У результаті експерименту було визначено, що в холодну пору року в салоні автобуса є точки із заниженою температурою та завищеною вологістю повітря. В теплу пору року у задній частині автобуса є місця, де температура сягає 33...35°C, а вологість повітря занижена від нормативного значення. Визначено перспективний напрям реалізації HVAC для автобусів з використанням теплоти навколо простору двигуна внутрішнього згоряння та можливу відмову від рідинних систем опалення. Також здобувачем підготовлено перехід на електричні опалювачі для електробусів. На основі аналізу експериментальних досліджень та розрахунків системи опалення та вентиляції автобуса «Електрон» А185 було запропоновано комбіновану систему опалення, що складається із вентиляторів забору повітря та повітряних завіс.

Висновки до розділів відповідають змісту дисертаційної роботи і загалом чітко сформульовані.

Список посилань із 142 найменувань достатній і містить в собі як вітчизняні, так і зарубіжні публікації.

Рівень виконання та повнота викладення результатів дисертації в наукових публікаціях.

Дисертаційна робота виконана на достатньому науково-методичному рівні. Результати виконаних досліджень, представлені дисертантом у роботі достатньо апробовані на науково-практичних конференціях і опубліковані згідно з вимогами у 20 наукових працях, у тому числі: 11 публікацій у наукових фахових виданнях України та інших держав (у тому числі 2 публікації у виданнях, що індексуються у Scopus); 9 тез у збірниках доповідей наукових конференцій. Повнота викладення матеріалу дисертації відповідає вимогам до оформлення дисертаційних робіт, зміст розширеної анотації ідентичний структурі та основному змісту дисертації і повністю відображає основні результати роботи. Вимоги академічної доброчесності автором витримані –

6.

використання чужих наукових досягнень без відповідних посилань на авторів у дисертаційній роботі не виявлено, що підтверджується відповідною довідкою про результати перевірки на академічний плагіат. Наповнення і структура дисертаційної роботи відповідають вимогам МОН України, що висуваються до дисертаційних робіт на здобуття ступеня доктора філософії. Виклад матеріалу логічний та послідовний, висновки по розділах і в цілому по дисертації базуються на результатах досліджень і всебічному аналізі отриманих експериментальних даних.

Рівень володіння здобувачем методологією наукової діяльності.

Здобувач засвоїв нові підходи та методи сучасних експериментальних досліджень, на високому рівні оволодів методологією наукової діяльності і на даний час став науковцем, який здатний самостійно вирішувати науково-технічні задачі. Мета і завдання дослідження сформульовані логічно, у певній послідовності: спочатку проведено детальний аналіз відомих результатів, описаних в літературних джерелах та встановлено основні фактори, що впливають на формування мікроклімату салону автобуса та робочого місця водія. Виявлено відсутність регламентування в нормативних документах показників пов'язаних з якістю повітря, рівнем активності пасажирів та врахування теплоізоляції одягу пасажирів та водія. Отримані результати та сформульовані висновки відповідають поставленим завданням дослідження, а саме: аналіз стану питань, щодо мікроклімату в салонах автобусів; розрахунок температурного балансу салону автобуса, що проведений на основі багатофакторного підходу; дослідження варіантів обігріву салону за рахунок відбору теплоти від колектора двигуна; визначення для системи опалення ефективності теплових потоків, що утворюються навколо випускного тракту для різних варіантів розміщення двигуна в автобусі; оцінка ефективності примусового обігріву повітряними завісами встановленими над, біля та внизу дверної пройми; моделювання роботи системи вентиляції на робочому місці водія і в салоні великого міського автобуса в залежності від конструктивних особливостей її елементів; експериментальні дослідження основних параметрів мікроклімату в холодну та теплу пору року в салоні та відділенні водія великогабаритного міського автобуса на середньостатистичному міському маршруті; на основі експериментальних досліджень виявлення недоліків та розробка рекомендацій щодо їх усунення. Відповідно до мети, дисертантом обрано об'єкт дослідження: процеси тепломасообміну та параметри внутрішнього мікроклімату салону автобуса, які впливають на рівень комфорту пасажирів і водія при роботі систем опалення та повітрообміну. Предмет дослідження – закономірності зміни характеристик та параметрів систем

опалення та повітрообміну, що визначають нормативно комфортний мікроклімат салону великогабаритного міського автобуса залежно від особливостей теплових навантажень навколишнього середовища. Для вирішення поставлених завдань здобувач використав сучасні методи теоретичних та експериментальних досліджень, математичного моделювання, планування експерименту. Для теоретичних досліджень теплового балансу салону автобуса використовувались методи теплотехнічних розрахунків. Для проведення математичного моделювання використовувались методи комп'ютерного CFD моделювання за допомогою програмного забезпечення ANSYS. Для експериментальних досліджень розроблено комплекс для фіксації параметрів мікроклімату.

Зауваження до дисертаційної роботи.

1. На титульній сторінці та по тексту дисертації помилка в назві МОН України та присутні інші граматичні помилки.

2. Тема дисертації звучить досить широко, а у дисертації розглядаються лише автобуси категорії МЗ.

3. На с. 6 сказано, що вперше використовуються обігрівачі «теплові завіси», однак у виробничій практиці вже застосовуються горизонтальні теплові завіси (наприклад автобус «Атаман» А092Н6).

4. У роботі нічого не сказано щодо впливу підігріву скла в місці щіток склоочисників на стійкість вітрового скла від температурних руйнувань.

5. Некоректно опускати в ініціалах видатних учених України їхнє по батькові.

6. У роботі доцільно було б розглянути застосування системи автоматичного клімат-контролю, що дозволило б підвищити комфорт перевезення пасажирів та зменшити енерговитрати.

7. У висновках до першого розділу (с. 55) сказано, що у більшості міст частка перевезення пасажирів середньо- та великогабаритними автобусами становить понад 45 %. Однак, у цьому розділі не наведене обґрунтування цього висновку.

8. На рис. 2.2 (с. 62) показана багатошарова стінка кабіни водія автобуса, що складається з сталевго листа, пінополіуретану та пластмаси. Однак, нічого не сказано про варіанти конструкцій без поліуретанового наповнювача та замість сталевго облицювання полімерного матеріалу (зокрема «Алюкобонд»).

9. На с. 74 сказано про наявність газу CO_2 в салоні автобуса у зв'язку з викидами автобуса. Однак нічого не сказано про інші шкідливі речовини: CO , C_mH_n , NO_x , тверді частки тощо.

10. У роботі взагалі не взято до уваги одні із найпоширеніших автобусів України марок: «Еталон», «Богдан», «Атаман».

11. На рис. 4.2 (с. 143) вказана поз. 9 підписана як «паливний бачок автономного підігрівача». Скоріш за все автономний опалювач живиться з основного паливного баку, а під п. 9 знаходиться паливний фільтр чи відстійник.

12. У роботі нічого не сказано про перевірку достовірності роботи (чи калібрування) вимірювального комплексу на базі Arduino.

13. Доцільно було б впровадити результати дисертаційного дослідження також на одному із діючих автобусних заводів таких, як АТ «Черкаський автобус».

14. В роботі не пропрацьовано питання щодо чистоти забірного теплого повітря від двигуна внутрішнього згорання, оскільки двигун внутрішнього згорання в процесі експлуатації може мати підтікання експлуатаційних рідин, палива (при несправностях), відпрацьованих та картерних газів. Все це негативно може вплинути на самопочуття пасажирів та водія.

15. Автономний опалювач використовується також для швидкого прогріву двигуна внутрішнього згорання. Однак у роботі про це нічого не сказано та не проведено дослідження щодо комбінування прогріву двигуна внутрішнього згорання та системи опалення салону.

16. Дисертаційна робота переобтяжена довгими реченнями до 50 слів.

Проте варто зауважити, що висловлені зауваження не мають принципового характеру та не впливають на високу оцінку роботи в цілому.

Загальний висновок.

Детальне ознайомлення та аналіз представлених до захисту результатів дають можливість стверджувати, що дисертаційна робота Войчишина Юрія Івановича є завершеним науковим дослідженням, яке присвячене розв'язанню актуальної науково-практичної задачі, пов'язаної із дослідженнями, що мають за мету підвищення ефективності роботи системи опалення та повітрообміну салону міського автобуса.

Підсумовуючи вище сказане, вважаю, що дисертаційна робота Ю.І. Войчишина «Покращення ефективності опалення та повітрообміну салону автобуса» за актуальністю розглянутих задач, обсягом досліджень, науковим рівнем і практичною цінністю отриманих результатів, за їх новизною та ступенем обґрунтованості відповідає вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації», вимогам освітньо-наукової програми, яку успішно завершив здобувач, вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення

разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженому постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44, а її автор заслуговує на присудження йому ступеня доктора філософії із галузі знань 13 – Механічна інженерія за спеціальністю 133 – Галузеве машинобудування.

Офіційний опонент,
в. о. професора кафедри
автомобілів і тракторів
Львівського національного
університету ветеринарної медицини
та біотехнологій імені С.З. Гжицького МОН України,
доктор технічних наук, доцент



Дмитро РУБАН

24.06.2025 р.



ВІРНО
НАЧАЛЬНИК ВІДДІЛУ КАДРІВ
Львівського
НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
ВЕТЕРИНАРНОЇ МЕДИЦИНИ
ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ
ІМЕНІ С.З. ГЖИЦЬКОГО

Гентон