

РЕЦЕНЗІЯ

доктора технічних наук, професора,
професора кафедри «Теплогазопостачання і вентиляція»
Національного університету «Львівська політехніка»

Возняка Ореста Тарасовича

на дисертаційну роботу **Войчишина Юрія Івановича**

на тему: **«Покращення ефективності опалення та повітрообміну салону автобуса»,**

подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії (PhD)
за спеціальністю 133 – «Галузеве машинобудування»,
галузь знань 13 – «Механічна інженерія».

1. Актуальність теми дисертаційної роботи.

Збільшення парку нових сучасних великогабаритних автобусів дозволило значно покращити умови перевезення пасажирів. Це стосується в першу чергу комфорту. Крім екологічності, плавності руху до комфортності належить мікроклімат у салоні і на робочому місці водія. Основними факторами комфорту в транспортних засобах (ТЗ) є: вібрація, шум, тепловий комфорт, якість повітря, освітленість та ергономіка. Однак, у більш загальному аналізі комфортності в ТЗ слід враховувати три класи факторів: організаційні, конструкційні та експлуатаційні. Системи опалення та охолодження ТЗ споживають велику кількість енергії та впливають на паливну економічність в більшості випадків негативно. Однак, без відповідного комфорту пасажирські перевезення стає тепер реалізовувати вкрай важко.

Мікроклімат у салоні громадського транспорту має значний вплив на комфорт пасажирів і може залежати від кількох факторів. Основні аспекти мікроклімату включають: оптимальну температуру, вологість повітря, його якість, шуми, вібрації, рівень освітлення, наявність неприємних запахів, але це також залежить від особистих змінних, що визначають конкретного пасажирів: його емоційний стан, попередню зайнятість, стан здоров'я, вік або стать.

Таким чином забезпечення нормативних вимог щодо конвективного, радіаційного і кондукційного повітрообміну в салоні і на робочому місці водія автобуса, перехід з класичної системи опалення автобусів із використанням охолоджувальної рідини двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ) до електронагрівачів і пошук альтернативних джерел опалення салону автобуса є актуальними дослідницькими завданнями.

2. Наукова новизна.

Наукова новизна полягає в узагальненні, розвитку існуючих у практичному застосуванні методів багатфакторного аналізу для кількісної та якісної оцінки мікрокліматичних параметрів салону автобуса.

Вперше:

- 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;
- 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;
- запропоновано використання в салоні автобуса опалювачів типу «повітряна завіса» та оцінено їх ефективність для салону великогабаритної моделі автобуса;
- зменшено затратність 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.

Удосконалено: систему вентиляції міського автобуса за рахунок дахових нагнітаючих вентиляторів, що дає можливість, особливо в жарку пору року покращити повітрообмін в салоні.

Набуло подальшого розвитку: методика експериментальних досліджень параметрів мікроклімату ТЗ.

3. Обґрунтованість і достовірність наукових висновків.

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

4. Практична цінність роботи.

Отримані результати дослідження можуть слугувати базою для удосконалення конструкції системи опалення та повітрообміну автобусів, тролейбусів чи електробусів, а також 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 (City low-floor 12m).

5. Повнота викладення здобувачем основних результатів.

Основні результати дисертаційної роботи відображені у наукових працях, серед яких: 9 статей у наукових фахових виданнях України; 2 статті включені до міжнародної науково-метричної бази Scopus; 1 стаття у періодичних закордонних виданнях (Швейцарія); у збірниках матеріалів наукових конференцій опубліковано 9 доповідей.

6. Особистий внесок здобувача:

Дисертаційна робота є самостійно виконаним дослідженням, що має теоретичне і практичне значення для покращення роботи системи опалення та

повітрообміну салону автобуса. Роботи [1-18, 20] виконані у співавторстві, а робота [19] – одноосібно.

У роботах [1, 2] автором проведено аналіз наукової літератури по системах забезпечення мікроклімату та безпеці пасажирських перевезень. У [3] проведено аналіз моделей комфортності пасажирських перевезень. За допомогою PMV-методу в онлайн-калькуляторі комфортності Comfort Thermal Tool автором проведено моделювання параметрів мікроклімату у [4, 5]. У співавторстві [6-9, 13] запропоновано використання нагнітаючого вентилятора, який забиратиме тепло від ДВЗ, а також проведено моделювання роботи такого вентилятора в ANSYS-Fluent Workbench та досліджено повітряні потоки. Також у співавторстві [10] запропоновано методику CFD-моделювання роботи системи опалення робочого місця водія автобуса та оцінено роботу системи вентиляції міських автобусів на основі циркуляції повітряних мас. У [11, 16, 17, 19] подано результати експериментальних досліджень мікроклімату на робочому місці водія автобуса Електрон А185, а у [14, 15, 20] по його салону. У [18] – автором запропоновано використати систему обігріву щіток склоочисника для CFD-моделювання.

7. Оцінка мови, стиль та оформлення дисертації.

Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів основної частини, загальних висновків, списку використаних літературних джерел із 142 найменувань, додатків, викладена на 247 сторінках друкованого тексту, 117 рисунків і 18 таблиць.

Застосована в роботі наукова термінологія є загальновизнаною, стиль викладення результатів теоретичних і експериментальних досліджень, наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечує доступність їхнього сприйняття. Оформлення дисертації відповідає вимогам Міністерства освіти і науки України.

8. Аналіз основного змісту роботи.

Всі розділи дисертаційної роботи змістовно підпорядковані меті дослідження та логічно взаємопов'язані. Дисертація цілком відповідає паспорту спеціальності 133 – «Галузеве машинобудування».

У вступі обґрунтовано актуальність проблеми, сформульовано мету та завдання досліджень, викладено наукову новизну та практичну цінність роботи, особистий внесок автора, відомості про апробацію досліджень та публікації.

У першому розділі проведено всебічний аналіз методів оцінювання та способів забезпечення кліматичного мікроклімату в салоні ТЗ та на робочому місці оператора. Дослідження мікроклімату в ТЗ розділено на дві категорії. Перша включає дослідження продуктивності опалення та вентиляції (ОВ) та станом їх агрегатів, причому перше впливає на комфорт пасажирів і роботу операторів, а друге пов'язане з умовами експлуатації. Розглянуто чинні стандарти, які пропонують методи оцінки теплового комфорту в салоні автомобіля, зокрема EN ISO 14505, розділений на три частини, та американський ASHRAE – 55. Обґрунтовано проведення CFD-моделювання.

У другому розділі розглянуто рівняння теплового балансу салону автобуса, визначено кількість теплоти, яка необхідна для нагрівання інфільтрованого повітря, теплові втрати, що виникають на службових зупинках

при виході/вході пасажирів, теплові втрати через поверхні кузова автобуса, теплові втрати через елементи оскління, кількість теплоти, що надходить від пасажирів та кількість теплоти, що надходить від двигуна через стінки мотовідсіку. Вперше запропоновано облаштування у системі опалення пристрою відбору гарячого повітря від зовнішньої поверхні випускного колектора, температура якої є від 200°C на прогрітому двигуні, що дозволить отримати до 80% кількості теплоти, необхідної для обігріву салону при мінусових температурах. Проаналізовано особливості режимів роботи повітряних і рідинних опалювачів, салонних пічок, конвекторів, кондиціонерів та фронт-боксів на робочому місці водія системи опалення та повітрозабірників, вентиляційних люків, кватирок системи вентиляції автобуса.

У третьому розділі параметри мікроклімату промодельовано PMV-методом 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, для якого виділений повітряний простір салону автобуса збережено в форматі IGS або STEP. 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».

У четвертому розділі Для моделі Електрон А185 проведено розрахунки системи опалення, визначено теплові втрати кузова автобуса 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 по середині салону. За допомогою експериментальної апаратури на основі Arduino проведено експериментальні вимірювання в кабіні водія (температура, вологість, кількість повітря та рівень CO₂) та салоні автобуса (температура, вологість, кількість повітря).

На основі аналізу експериментальних досліджень та обрахунків опалення та вентиляції автобуса Електрон А185, було запропоновано використання комбінованої системи опалення із використанням вентиляторів забору повітря та повітряних завіс, а також для покращення повітрообміну використання дахових нагнітаючих вентиляторів.

9. В роботі заслуговує уваги:

1. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.
2. Зв'язок з роботами попередніх дослідників.
3. Впровадження результатів дослідження.
4. Деякі результати досліджень отримано вперше.
5. Опубліковано 19 наукових праць (3 статті у НМБД Scopus).
6. Апробації результатів дисертації на науково-технічних конференціях (кількість та географія).
7. Застосування належного математичного апарату та програмного пакету ANSYS-Fluent.

10. Зауваження до дисертації

1. Відсутність певних речей для підсилення роботи: це стосується патенту, матриці планування факторного експерименту, опису класу точності вимірювального обладнання та похибки експерименту, регресійного аналізу за результатами експериментів.

Бажано було б навести дані щодо терміну окупності та очікуваного річного економічний ефекту від впровадження результатів дослідження, а також пов'язати це із споживанням палива.

2. При розгляді природної вентиляції салону автобуса слід враховувати вплив пограничного шару повітря, а при розгляді кондиціонування – збільшення коефіцієнта лобового опору автобуса за рахунок пристроїв, розміщених на даху кузова, оскільки ці фактори впливають на показники споживання палива.

3. Розмірності величин слід наводити в системі SI. При застосуванні інших зручних позасистемних одиниць слід їх дублювати в дужках: «л/год» - $\text{м}^3/\text{с}$; «ккал/(кг*град)» - $\text{кДж}/(\text{кг K})$; «кг/год» - $\text{кг}/\text{с}$; «кВт*год» - Дж, кДж, МДж; «мл/с» - $\text{м}^3/\text{с}$; «btu/hour» - Вт; «галон/год» - $\text{м}^3/\text{с}$.

4. Слід пояснити, яких саме величин стосується вирішення ANSYS на рис.1.2?

5. Наявність некоректностей, наприклад:

- у розділі 2 на ст.10 та інших наведено звичайні розрахунки, назва розділу 3, ст.4 п.4.1.2: «Тепловий розрахунок салону міського автобуса». Це є зайвим у наукових роботах.

6. Не у всіх наведених формулах пояснено величини та вказано їх розмірності, особливо в емпіричних, наприклад (2.12), тощо. Таблиці Р.3 і Р.4 потребують пояснення.

7. Розділ 4, ст 8: «5,55 м/с – середня швидкість руху автобуса...». Слід застосовувати термін «середньоексплуатаційна швидкість» та уточнити, про який тип автобуса йдеться: міський, міжміський чи туристичний?

8. Слід використовувати пасивний стан, наприклад «Тому будемо досліджувати...» - слід вживати «буде досліджено», тощо.

9. Висновки повинні бути лаконічними і бажано у вигляді коротких нумерованих речень.

10. Редакційно-стилістичні зауваження щодо помилкових виразів, слів, букв, цифр, розділових знаків, дужок, індексів, тощо, наприклад:

- розділ 4: «Вт/м²хград» - $\text{Вт}/(\text{м}^2\text{K})$;

- розділ 2, ст.44: «металнолу» - метанолу;

- ст. 44: «в залежності» - залежно; «з долею від 45%» - з часткою від 45%;

- ст. 44-45: «до 8...10 кВт/год.» - до 8 – 10 кВт/год;

- у назві п.4.6.2: «нагнітаючими» - нагнітальними; «компоновки» - компонування; «довжиною 12 метрів» - завдовжки 12 м; «з правої частини» - з частини праворуч; «рішення направлені» - рішення, спрямовані (скеровані);

- термінологія: «примусова вентиляція» - механічна вентиляція, «вагове надходження» - масова витрата, «об'ємне надходження» - об'ємна витрата;

- слід розрізняти та уточнити: «кількість теплоти (тепла)», (теплове навантаження) [кДж], але тепловий потік, теплова потужність [кВт] (рис.2.4); формула 2.6 c_{air} – «теплоємність повітря [кДж/К]», але питома ізобарна теплоємність повітря [кДж/(кгК)], питома ізохорна теплоємність повітря [кДж/(м³К)], питома молярна теплоємність повітря [кДж/(моль К)].

ВИСНОВОК

Наведені зауваження не є суттєвими і не знижують наукової цінності дисертаційної роботи, яка виконана на належному рівні, а її результати можуть мати практичне застосування у галузевому машинобудуванні.

Дисертаційна робота Войчишина Юрія Івановича «Покращення ефективності опалення та повітрообміну салону автобуса» є завершеною науковою роботою, що містить нові наукові положення, які вирішують важливу задачу покращення мікрокліматичних показників салонів транспортних засобів.

Рецензентом у дисертації та роботах здобувача не виявлено ознак академічного плагіату та інших порушень, що могли б поставити під сумнів дотримання норм академічної доброчесності або самостійність виконання дослідження.

Дисертація Войчишина Ю. І. відповідає паспорту спеціальності 133 – «Галузеве машинобудування», галузь знань 13 – «Механічна інженерія». Вона відповідає вимогам наказу МОН України №40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації (зі змінами, внесеними від 12.07.2019 р.), Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження наукового ступеня доктора філософії (Постановою Кабінету Міністрів України від 12.01.2022 р. №44 зі змінами).

Рекомендую роботу до захисту на разовій спеціалізованій вченій раді та даю свою згоду бути офіційним рецензентом за цією дисертаційною роботою.

Рецензент,

Доктор технічних наук, професор,

Професор кафедри «Теплогазопостачання і вентиляції»

Національного університету «Львівська політехніка»

Орест ВОЗНЯК

Підпис доктора технічних наук, професора,

професора кафедри «Теплогазопостачання і вентиляції»

Національного університету «Львівська політехніка»

О.Т.Возняка засвідчую:

Вчений секретар

Роман БРИЛИНСЬКИЙ

