

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»**

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ВОЙЧИШИН ЮРІЙ ІВАНОВИЧ

УДК 629.341

**ДИСЕРТАЦІЯ
ПОКРАЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОПАЛЕННЯ ТА
ПОВІТРООБМІНУ САЛОНУ АВТОБУСА**

133 «Галузеве машинобудування»

13 «Механічна інженерія»

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

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

_____ Ю.І. Войчишин

Науковий керівник

Горбай Орест Зенонович
доктор технічних наук, професор

Львів-2025

АНОТАЦІЯ

Войчишин Юрій Іванович. Покращення ефективності опалення та повітрообміну салону автобуса. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії (PhD) за спеціальністю 133 – Галузеве машинобудування. Національний університет «Львівська політехніка», Міністерство освіти та науки України, Львів – 2025.

У дисертаційній роботі виконано ряд досліджень, що мають за мету підвищення ефективності роботи системи опалення та повітрообміну салону міського автобуса.

У **першому розділі** проведено всебічний аналіз методів оцінювання та способів забезпечення кліматичного мікроклімату в салоні ТЗ та на робочому місці оператора.

Теоретичною базою послужили роботи вітчизняних і зарубіжних вчених: Бокатов М.І., Вільковський Г.К., Возняк О.Т., Галич І.В., Гіссар В.В., Гнипович В.І., Голенко К.Е., Голубєва Ю.В., Горбай О.З., Грибініченко М.В., Грицук І.В., Гухо В.Г., Данова К.В., Жуковський С.С., Зінько Р.В., Іванусь Е.М., Коцюмбас О.Й., Кравченко О.П., Крайник Л.В., Краснокутська З.І., Круць Т.І., Лук'яненко В.М., Матвеев Д.В., Михайловський Е.В., Нємий С.В., Палутін Ю.І., Парфьонов В.Н., Соколянський В.В., Тарасенко С.Є., Тригуб О.А., Хохряков В.П., Чуйко С.П., Bilgili M., Björklund M., Dimovski M., Eriksson M., Göhlich D., Matuška J., Trygstad E., Ünal Ş., Zhang L. та ін.

Дослідження мікроклімату в ТЗ слід розділити на дві категорії. Перша включає дослідження продуктивності HVAC та станом їх агрегатів, причому перше впливає на комфорт пасажирів і роботу операторів, а друге пов'язане з умовами експлуатації.

Система опалення є однією з найбільш енергоємних, щодо споживання електроенергії. Аналіз досліджень показує, що системи опалення і вентиляції у сучасних ТЗ, доцільно розглядати як складну динамічну систему,

функціонування якої відбувається при дії стохастичних факторів, що впливають на мікроклімат і є поєднанням внутрішніх процесів у салоні та зовні кузова.

Як слідує з проведеного аналізу літературних джерел 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, однак відсутній комплексний підхід до аналізу впливу зовнішніх і внутрішніх факторів на мікроклімат в салоні. Досліджувалися особливості їх експлуатації на різних температурних режимах і навантаженнях для різних типів ТЗ, не тільки легкових, вантажівок, автобусів, с / г техніки, але і у вагонах трамваїв, поїздів, метрополітену.

Незначна частина дослідницьких робіт є комплексними і присвячені складовим HVAC, а саме підігрівачам чи кондиціонерам, а більшість направлена на пошуки шляхів модернізації конструктивних елементів, для прикладу: вентилятори, повітророзподільні решітки, вентилязоване сидіння, дифузори, повітропроводи, елементів, що забезпечують природню і примусову вентиляції через вікна, двері та люки в даху і ін.

Чинними стандартами, які пропонують методи оцінки теплового комфорту в салоні автомобіля є EN ISO 14505, розділений на три частини, та американський ASHRAE – 55. Одна з вимог стандартів полягає у так званій термонеutralності. Це описується та оцінюється індексами: DTS, TS, PMV і PPD.

Для моделювання термофізіологічних параметрів людського тіла використовують локальні та загальні моделі теплового відчуття і комфорту, серед яких віддають перевагу моделям Taniguchi і Zhang. Найдосконалішим є багатосегментний тепловий манекен FIALA-FE, який здатний виявляти тепловий вплив в асиметричному тепловому середовищі.

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, у яких можна провести термодинамічний аналіз системи і отримати якісну картину процесів теплопередачі, витрати тепла, ре/циркуляції, складу повітряного середовища. З проведеного аналізу програмних продуктів для досліджень повітряних потоків перевагу слід надавати CFD-моделюванню.

У **другому розділі** проведено аналіз не тільки основних параметрів навколишнього середовища, які впливають на формування мікроклімату у салоні і на робочому місці водія (температура, швидкість та вологість повітря, середня радіаційна температура, кількість свіжого повітря, інтенсивність сонячної радіації), а також враховано термічну ізоляцію одягу та рівень активності і проаналізовано ризики їхнього недотримання.

Основними складовими рівняння теплового балансу салону автобуса є 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.

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. У літній період до 4 % можна зменшити теплонавантаженість салону застосувавши захисну плівку для вікон.

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. Для елементів природньої і

примусової вентиляції, у залежності від їх конструктивних особливостей, отримано в режимі 3-D діаграми повітряних потоків.

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. У стані спокою доросла людина споживає 15 л/год кисню і виділяє 88 Вт теплоти, а при виконанні фізичної роботи ця цифра росте майже до 180 л/год і кількість теплоти може досягати понад 1000 Вт. Обрано турбулентну модель, яка відповідає потокам повітря салону автобуса і у якій базовими рівняннями для системи повітрообміну в салоні КТЗ є рівняння Рейнольдса та рівняння Нав'є–Стокса для тривимірного руху газу.

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. Конвекція зовнішніх поверхонь кузова є у 5 разів вища ніж внутрішня, а теплопровідність матеріалів передбачає перенесення теплоти в нерухомих середовищах постійної щільності. Просторова модель автобуса початково створена в програмному середовищі Solidworks.

Уперше досліджено розподіл температури по салону автобуса при передньомоторній, у базі і задньомоторній компоновках ДВЗ, які розміщуються опозитно і у вертикальній тумбі. Додатковий вентилятор встановлюється на стінці мотовідсіку і забезпечує три режими роботи: 1-й – швидкість повітря 0,25 м/с та температура 45°C; 2-й – швидкість повітря 0,5 м/с та температура 50°C; 3-й – швидкість повітря 0,75 м/с та температура 55°C. Отримано розподіл температур по площині на рівні лівого ряду сидінь та площині середини салону в районі накопичувальної площадки в зоні ніг сидячого пасажира. Запропоновано встановлення на стінці мотовідсіку додаткового вентилятора, який переміщатиме у салон тепловий потік у повітропроводі на рівні ніг,

оскільки виявлено, що кабіна водія є найменш обігрітою для найбільш розповсюдженого у більшості країн ЄС низькопідлогового типу міського автобуса з задньомоторною компоновкою і розташуванням двигуна горизонтально в мотовідсіку.

Вперше запропоновано встановлення у міських автобусах горизонтально, вертикально та внизу розміщених обігрівачів типу «повітряна завіса». Виявилося, що розміщення цього типу обігрівачів над дверима менш ефективне 40-50%, ніж горизонтально біля дверей 50-60%, а розміщення внизу під кутом має найнижчу ефективність до 30-40%. Дифузори таких завіс через низку повітропроводів стануть елементами одночасно систем опалення, вентиляції та кондиціонування автобуса, а керування легко інтегрувати в спільний інтерфейс HVAC. Для цього проаналізовано температурні карти по правому ряду сидінь салону автобуса при задіюванні комбінацій і режимів роботи повітряних завіс, оскільки згідно експериментальних даних четвертого розділу на накопичувальній площадці на рівні ніг сидячого пасажирів значення температури не перевищує 14°C і біля передніх дверей становить 10°C.

У **четвертому розділі** проаналізовано та наведено різні типи автобусів, які експлуатуються у містах України. На основі цього аналізу 12-ти метровий низькопідлоговий автобус марки Електрон А185 вибрано для подальших експериментальних досліджень. Для цієї моделі 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). Вимірювання проводились в теплу та холодну пору року в умовах міського циклу їзди автобуса на маршруті у м. Львові (АТП №1-Городоцька-Левандівка-

Рясне 1-Завод «ЕлектронМаш»). В кабіні водія виміри проводились в зоні ніг, попереку та голови, а також в зоні задуву холодного/гарячого повітря біля квартирки водія. У салоні вимірювання проводились на рівні ніг та голови в чотирьох зонах салону автобуса над передніми осями, на накопичувальній площадці, над задніми осями та в задній частині автобуса. На графіках досліджень відображалась зміна температури в певній точці салону автобуса на протязі 30-40 хв. В результаті експерименту було визначено, що в холодну пору року в салоні автобуса є точки, де є занижені температури та завищена вологість повітря, а в теплу пору року у задній частині автобуса є місця, де температура сягає 33...35°C, а вологість повітря є занижена від нормативного значення.

Окреслено перспективний напрям реалізації HVAC для автобусів з використанням теплоти навколо ДВЗ простору та відмову від рідинних, а перехід на тільки електричні опалювачі для електробусів.

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.

Ключові слова: міський автобус, робоче місце водія автобуса, мікроклімат салону, комфорт перевезень, система опалення, система вентиляції, CFD-моделювання, повітряні потоки, тепловий баланс, теплові втрати.

ABSTRACT

Voichyshyn Yuriy Ivanovych. Improvement of the efficiency of heating and air exchange in the bus interior. – Scientific work on the rights of the manuscript.

Thesis for the degree of Doctor of Philosophy (PhD) in specialty 133 - Industrial Engineering. Lviv Polytechnic National University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Lviv - 2025.

The thesis presents a number of studies aimed at improving the efficiency of the heating and air exchange system of a city bus interior.

The first chapter provides a comprehensive analysis of assessment methods and ways to ensure a climate microclimate in the vehicle interior and at the operator's workplace.

The theoretical basis was the work of domestic and foreign scientists: Bokatov M.I., Vilkovskyi H.K., Voznyak O.T., Halych I.V., Hissar V.V., Hnypovych V.I., Holenko K.E., Holubyeva Y.V., Horbay O.Z., Hrybinichenko M.V., Hrytsuk I.V., Huho V.H., Danova K.V., Zhukovskyi S.S., Zinko R.V., Ivanus E.M., Kotsumbas O.Y., Kravchenko O.P., Kraynyk L.V., Krasnokutska Z.I., Kruts T.I., Lukyanenko V.M., Matveyev D.V., Myhaylovskii E.V., Nyemyi S.V., Palutin Y.I., Parfyonov V.N., Sokolyanskyi V.V., Tarasenko S.Y., Tryhub O.A., Hohryakov V.P., Chuyko S.P., Bilgili M., Björklund M., Dimovski M., Eriksson M., Göhlich D., Matuška J., Trygstad E., Ünal Ş., Zhang L. etc.

The study of the microclimate in vehicles should be divided into two categories. The first includes the study of HVAC performance and the condition of their units, with the former affecting passenger comfort and operator performance, and the latter being related to operating conditions.

The heating system is one of the most energy-intensive in terms of electricity consumption. The analysis of research shows that heating and ventilation systems in modern vehicles should be considered as a complex dynamic system, the functioning of which occurs under the influence of stochastic factors that affect the microclimate and is a combination of internal processes in the cabin and outside the body.

As follows from the analysis of the literature, a number of parameters and design characteristics must be used to quantify the performance and energy efficiency of HVAC. To do this, researchers analyzed heat loss, heat transfer, circulation and air quality, conditions for achieving a standardized microclimate in the cabin, but there is no comprehensive approach to analyzing the impact of external and internal factors on the cabin microclimate. We have investigated the peculiarities of their operation at different temperature conditions and loads for different types of vehicles, not only cars, trucks, buses, agricultural machinery, but also in tram, train, and subway cars.

A limited number of research works are comprehensive and focus on HVAC components, namely heaters or air conditioners, and most are aimed at finding ways to modernize structural elements, for example: fans, air distribution grilles, ventilated seats, diffusers, air ducts, elements that provide natural and forced ventilation through windows, doors and roof hatches, etc.

The current standards that offer methods for assessing thermal comfort in the car interior are EN ISO 14505, divided into three parts, and the American ASHRAE 55. One of the requirements of the standards is the so-called thermal neutrality. This is described and evaluated by indices: DTS, TS, PMV and PPD.

To model the thermophysiological parameters of the human body, local and general models of thermal sensation and comfort are used, among which the Taniguchi and Zhang models are preferred. The most advanced is the FIALA-FE multi-segment thermal manikin, which is capable of detecting thermal effects in an asymmetric thermal environment.

A numerical experiment is almost always less expensive than a full-scale experiment, so a number of companies, such as Autodesk, Dassault Systemes, Ansys, etc. have created commercial software products, some of which are free and open source, which can be used to perform a thermodynamic analysis of the system and obtain a qualitative picture of the processes of heat transfer, heat consumption, re/circulation, and air composition. Based on the analysis of software products for airflow research, CFD modeling should be given preference.

The second chapter analyzes not only the main environmental parameters that affect the formation of the microclimate in the cabin and at the driver's workplace (temperature, air speed and humidity, average radiation temperature, amount of fresh air, intensity of solar radiation), but also takes into account the thermal insulation of clothing and activity level and analyzes the risks of non-compliance.

The main components of the bus interior heat balance equation are the amount of heat required to heat the infiltrated air, heat losses that occur at service stops when passengers exit/enter, heat losses through the surfaces of the bus body, heat losses through glazing elements, the amount of heat coming from passengers, and the amount of heat coming from the engine through the walls of the engine compartment.

It is proposed to equip the heating system with a device for extracting hot air from the outer surface of the exhaust manifold, the temperature of which is from 200°C on a warmed-up engine, which will allow to obtain up to 80% of the heat required to heat the cabin at subzero temperatures. In the summer, the heat load of the cabin can be reduced by up to 4% by using a protective foil for the windows.

The features of the operating modes of air and liquid heaters, interior stoves, convectors, air conditioners, and front boxes at the driver's workplace, as well as air intakes, ventilation hatches, and vents of the bus ventilation system are analyzed. For elements of natural and forced ventilation, depending on their design features, air flow diagrams were obtained in 3-D mode.

In the third chapter, the microclimate parameters were modeled using the PMV method according to ASHRAE standards. Using the CBE Thermal Comfort Tool, the dependencies of the heat loss components and air velocity were obtained as a function of the operating temperature, heat balance, and heat energy released by the metabolism of the passengers and the bus driver. At rest, an adult consumes 15 l/h of oxygen and emits 88 W of heat, and when performing physical work, this figure increases to almost 180 l/h and the amount of heat can reach more than 1000 W. A turbulent model was chosen that corresponds to the air flows in the bus interior and in which the basic equations for the air exchange system in the interior of the vehicle are

the Reynolds equation and the Navier-Stokes equation for three-dimensional gas flow.

The 3-D model of the bus interior was calculated in the ANSYS-Fluent software package, for which the allocated air space of the bus interior was saved in IGS or STEP format. The convection of the outer surfaces of the body is 5 times higher than the inner one, and the thermal conductivity of materials implies heat transfer in fixed media of constant density. The spatial model of the bus was originally created in Solidwork.

For the first time, the temperature distribution in the bus interior was studied for front-engine, base-mounted, and rear-engine layouts of the internal combustion engine, which are placed in opposition and in a vertical cabinet. An additional fan is mounted on the wall of the engine compartment and provides three operating modes: 1st - air velocity of 0.25 m/s and temperature of 45°C; 2nd - air velocity of 0.5 m/s and temperature of 50°C; 3rd - air velocity of 0.75 m/s and temperature of 55°C. The temperature distribution along the plane at the level of the left row of seats and the plane of the middle of the cabin in the area of the storage area in the area of the legs of a seated passenger was obtained. It was proposed to install an additional fan on the wall of the engine compartment to move the heat flow into the cabin through the air duct at the level of the legs, since it was found that the driver's cab is the least heated for the most common low-floor city bus in most EU countries with a rear-engine layout and a horizontal engine in the engine compartment.

For the first time, horizontal, vertical, and bottom-mounted “air curtain” heaters have been proposed for city buses. It turned out that the placement of this type of heaters above the door is less efficient by 40-50% than horizontally near the door by 50-60%, and the placement at the bottom at an angle has the lowest efficiency of 30-40%. The diffusers of such curtains through a series of air ducts will become elements of both heating, ventilation, and air conditioning systems of the bus, and the control can be easily integrated into a common HVAC interface. For this purpose, we analyzed temperature maps along the right row of seats in the bus interior when using combinations and modes of air curtains, since according to the

experimental data of the fourth section, the temperature value does not exceed 14°C on the storage area at the level of the legs of a seated passenger and is 10°C near the front door.

Chapter 4 analyzes and presents different types of buses that are used in Ukrainian cities. Based on this analysis, a 12-meter low-floor bus of the Electron A185 brand was selected for further experimental research. For this model, we calculated the heating system, determined the heat losses of the bus body in the cold season, ventilation parameters, and modeled air flows and temperatures in ANSYS-Fluent Workbench. Three temperature maps of the temperature distribution in the bus interior were obtained during the operation of the heating system on the left, right row of seats and in the middle of the cabin. Experimental measurements were made in the driver's cab (temperature, humidity, air volume, and CO₂ level) and the bus interior (temperature, humidity, air volume) using Arduino-based experimental equipment. The measurements were carried out in warm and cold seasons in the conditions of the urban bus cycle on the route in Lviv (ATP No. 1-Horodotska-Levandivka-Riasne 1-“ElectronMash” plant). In the driver's cab, measurements were made in the area of the legs, lumbar and head, as well as in the area of cold/hot air blowing near the driver's window.

Inside the cabin, measurements were made at the level of the legs and head in four areas of the bus cabin: above the front axles, on the storage area, above the rear axles, and in the rear of the bus. The graphs showed the temperature change at a certain point in the bus interior for 30-40 minutes. As a result of the experiment, it was determined that in the cold season there are points in the bus interior where there are low temperatures and high humidity, and in the warm season in the rear of the bus there are places where the temperature reaches 33...35°C and the humidity is lower than the standard value.

A promising direction for the implementation of HVAC for buses using the heat around the internal combustion engine space and electric heaters for electric buses is outlined.

Based on the analysis of experimental studies and calculations of heating and ventilation of the Electron A185 bus, the use of a combined heating system with air intake fans and air curtains was proposed. to improve air exchange, the use of roof injection fans was proposed.

Key words: city bus, bus driver's workplace, vehicle interior microclimate, comfort transportation, heating system, ventilation system, CFD modeling, air flows, heat balance, heat losses, air temperature.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА, В ЯКИХ ОПУБЛІКОВАНІ ОСНОВНІ НАУКОВІ РЕЗУЛЬТАТИ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Войчишин Ю.І., Круць Т.І., Зінько Р.В., Горбай О.З. Дослідження мікроклімату салону міського автобуса. Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті, №1 (14), 2020. С. 49-57.
2. Kernytskyu, I.; Yakovenko, Y.; Horbay, O.; Ryviuk, M.; Humenyuk, R.; Sholudko, Y.; Voichyshyn, Y.; Mazur, Ł.; Osiński, P.; Rusakov, K.; et al. Development of Comfort and Safety Performance of Passenger Seats in Large City Buses. *Energies* 2021, 14, 7471. (Scopus)
3. Yakovenko. E., Voichyshyn Y., Horbay O. Analysis of thermal comfort models of users of public urban and intercity transport // *Ukrainian Journal of Mechanical Engineering and Materials Science*. – 2022. – Vol. 8, №2. – P. 67-74.
4. Войчишин Ю.І., Яковенко Є.І., Горбай О.З., Голенко К.Е., Бур'ян М.В. Моделювання теплового комфорту міського автобуса PMV-методом за допомогою CBE Thermal Comfort Tool. Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті, № 2 (19), 2022. С. 32-41.
5. Ю.І. Войчишин, Д.А. Роман. Моделювання теплового комфорту міського автобуса PMV методом. Науково-прикладні аспекти автомобільної і транспортно-дорожньої галузей: матеріали VII міжнарод. наук.-прак. конф. (м. Луцьк, 14-16 черв. 2022р.). Луцьк, 2022. – С. 13-15.
6. К.Е. Голенко, Ю.І. Войчишин, Є.І. Яковенко, О.З. Горбай, О.Ю. Рудик. Аналіз впливу різних типів компоновки кузовів автобусів на особливості формування потоків повітря в умовах вимушеної конвекції салону. Вісник НТУ «ХПІ». Серія Автомобіле- та тракторобудування, №1, 2022. С. 3-13.
7. K. Holenko, Y. Voichyshyn, O. Horbai, M. Burian, V. Popovych, O. Makovkin. Thermal comfort formation of the bus interior depending on the power unit layout. *Problems of Tribology*, V. 27, No 4/106-2022, 58-68.
8. Ю. Войчишин, К. Голенко, М. Бур'ян, О. Горбай. Дослідження температурного впливу на стінки кузова під час роботи двигуна міського

автобуса із задньомоторною компоновкою. Міжнародна конференція «Покращення конструктивних та експлуатаційних показників автомобілів і машин». Збірник тез доповідей. – К.: НТУ, 2022. – С. 126 - 128.

9. Голенко К.Е., Войчишин Ю.І., Бабак О.П., Роман Д.А. Моделювання мікроклімату міських автобусів методом кінцевих елементів. XV міжнародна науково-практична конференція «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту». Збірник тез доповідей. – Житомир: Житомирська політехніка, 2022. – 166 с.

10. Methodology of analytical research of the microclimate of the bus drivers cab using the ANSYS-FLUENT software environment / Yurii Voichyshyn, Kostyantyn Holenko, Orest Horbay, Volodymyr Honchar // Scientific Journal of TNTU. — Tern.: TNTU, 2023. — Vol 109. — No 1. — P. 90–98.

11. Ю. Войчишин, К. Голенко, О.Горбай, О.Потеряєв. Експериментальні дослідження мікроклімату кабіни водія автобуса Електрон А18501 в помірну та холодну пору року. Сучасна наука та освіта: стан, проблеми, перспективи. Матеріали III міжнародної науково-практичної конференції. 20 – 21 березня, 2023, Полтава, С. 394-396.

12. Голенко К.Е., Войчишин Ю.І., Гончар В.А. Методика оцінки вентиляції міських автобусів на основі циркуляції повітряних мас. Інноваційні технології розвитку машинобудування та ефективного функціонування транспортних систем: матеріали тез IV Всеукраїнської науково-технічної конференції, 26-27 квітня 2023 року, Рівне. – 2023. – С. 173-177.

13. Yurii Voichyshyn, Kostyantyn Holenko, Dmytro Roman, Orest Horbai. Study of microclimate parameters in the bus driver's cabin in the warm season. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 1277 (2023) 012035. 11 p.

14. Ю. І. Войчишин, К. Е. Голенко, О. З. Горбай, А. П. Поляков, О. Ю. Рудик, Ю.В. Гай. Експериментальні дослідження параметрів мікроклімату в салоні автобуса в холодну пору року. Вісник машинобудування та транспорту №2(18), 2023. С. 38-45.

15. Ю.І. Войчишин, К.Е. Голенко, О.З. Горбай. Дослідження мікрокліматичних показників в зоні підвищеного виділення теплоти в салоні міського автобуса. Матеріали XVI Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 23-25 жовтня 2023 року: збірник наукових праць / Міністерство освіти і науки України, Вінницький національний технічний університет [та інш.]. – Вінниця: ВНТУ, 2023. С. 113-115.

16. Ю. Войчишин, О. Горбай. Експериментальні дослідження роботи дифузора системи опалення кабіни водія автобуса Електрон А185. Інноваційні технології розвитку машинобудування та ефективного функціонування транспортних систем: матеріали тез V Всеукраїнської науково-технічної інтернет-конференції 25–27 жовтня 2023 р. [Електронне видання]. Рівне: НУВГП, 2023. С. 12-15.

17. Войчишин Ю. І., Гай Ю. В., Горбай О. З., Голенко К. Е. Експериментальні дослідження мікрокліматичних показників робочого місця водія автобуса в теплу пору року // Актуальні задачі сучасних технологій: збірник тез доповідей XII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів, Тернопіль, 6–7 грудня 2023 р. – 2024. – С. 148–149.

18. Holenko, K., Dykha, A., Voichyshyn, Y., Horbay, O., Dykha, M., Dytyniuk, V. (2024). Determining the characteristics of contact interaction between the two-row windshield wiper and a curvilinear glass surface. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (7 (127)), 48–59. (Scopus)

19. Y. Voichyshyn. Study of Microclimate Indicators of a Bus Driver's Workplace in the Warm Season of the year. *Scientific Journal of the Ternopil National Technical University*, 2024, № 2 (114), 11-19 p.

20. Голенко К.Е., Войчишин Ю.І., Свідерський В.П., Клипко О.Р. Моделювання поведінки склоочисника під час контакту з криволінійною поверхнею, фактори впливу на безпеку водіння. Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті, № 2 (19), 2022. С. 32-41.

ЗМІСТ

СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	20
ВСТУП	21
РОЗДІЛ 1. МІКРОКЛІМАТ В САЛОНАХ КТЗ. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ.....	29
1.1. Аналіз наукових досліджень мікроклімату в салонах КТЗ	29
1.2. PPD, PMV та теплові манекени	39
1.3. Нормативна база та вимоги до мікроклімату салонів КТЗ	46
1.4. Комплекси та ПЗ для досліджень мікроклімату	51
Висновки до розділу 1	55
РОЗДІЛ 2. МІКРОКЛІМАТ В САЛОНІ АВТОБУСА.....	57
2.1. Аналіз чинників, які впливають на формування мікроклімату салону автобуса	57
2.1.1. Тепловий баланс салону автобуса	57
2.1.2. Ексергетичний аналіз салону автобуса	68
2.1.3. Параметри комфортності мікроклімату.....	71
2.2. Особливості теплообміну салону автобуса на основі циркуляції повітряних мас	74
2.3. Конструктивні особливості систем опалення та повітрообміну різних типів автобусів.....	80
2.3.1. Системи опалення автобусів.....	80
2.3.2. Системи вентиляції автобусів.....	85
2.4. Мікроклімат на робочому місці водія	91
Висновки до розділу 2	99
РОЗДІЛ 3. МОДЕЛЮВАННЯ МІКРОКЛІМАТУ В САЛОНАХ АВТОБУСІВ.....	102
3.1. PPD та PMV при формуванні структури матмоделі теплового манекену водія та пасажирів	102
3.2. Адаптація CFD-моделювання при дослідженнях повітряних потоків	107
3.3. Визначення впливу двигуна автобуса на стінки кузова автобуса.....	110
3.3.1. Визначення температурного впливу ДВЗ на стінки кузова автобуса	110

3.3.2. Аналіз використання додаткового вентилятора забору тепла залежно від розміщення ДВЗ	115
3.3. Аналіз впливу повітряних дверних завіс на мікроклімат салону автобуса	124
3.3.1. Використання повітряних завіс в ТЗ.....	124
3.4.2. Моделювання роботи повітряних завіс салону автобуса розміщених над дверима.....	127
3.4.3. Моделювання роботи повітряних завіс салону автобуса розміщених біля дверей	131
3.4.4. Моделювання роботи повітряних завіс салону автобуса розміщених внизу	135
Висновки до розділу 3	140
РОЗДІЛ 4. СИСТЕМА ОПАЛЕННЯ МІСЬКОГО АВТОБУСА.....	142
4.1. Обґрунтування параметрів та підбір автобуса для досліджень системи опалення та повітрообміну.....	142
4.1.1. Вибір моделі автобуса для досліджень.....	142
4.1.2. Тепловий розрахунок салону міського автобуса	145
4.1.3. Розрахунок повітрообміну міського автобуса	149
4.2. Моделювання роботи системи опалення та вентиляції автобуса	152
4.2.1. Моделювання роботи системи опалення міського автобуса	152
4.2.2. Моделювання роботи вентиляції міського автобуса.....	153
4.3. Експериментальний комплекс по дослідженню мікроклімату	154
4.4. Результати досліджень мікроклімату робочого місця водія автобуса	160
4.5. Результати досліджень мікроклімату салону автобуса.....	164
4.6. Рекомендації по покращенню роботи системи опалення та повітрообміну міського автобуса	171
4.6.1. Система опалення автобуса/електробуса з електричними опалювачами	171
4.6.2. Система повітрообміну автобуса/електробуса з примусовими нагнітаючими даховими вентиляторами	172
4.6.3. Використання альтернативних матеріалів, які забезпечують теплову ізоляцію кузова автобуса/електробуса.....	173

4.6.4. Варіант обігріву салону повітряними завісами та теплою від ДВЗ	175
Висновки до розділу 4	179
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	181
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	184
ДОДАТКИ.....	200
Додаток А.....	201
Додаток Б	202
Додаток В	204
Додаток Г	206
Додаток Е	207
Додаток Ж	212
Додаток З.....	221
Додаток И.....	222
Додаток Й.....	224
Додаток К.....	226
Додаток Л.....	227
Додаток М	228
Додаток Н.....	229
Додаток П.....	230
Додаток Р.....	231
Додаток С	239
Додаток Т	242

СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

КТЗ – колісний транспортний засіб

ТЗ – транспортний засіб

ВАТ – відкрите акціонерне товариство

ДТП – дорожньо транспортна пригода

ПЗ – програмне забезпечення

ДВЗ – двигун внутрішнього згорання

ККД – коефіцієнт корисної дії

KET – кінетична енергія турбулентності

САПР – система автоматизованого проектування

ASHRAE – American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (Американська асоціація інженерів з опалення, охолодження та кондиціонування повітря)

HVAC – Heating, Ventilation and Air Conditioning (опалення, вентиляція та кондиціонування)

PPD – Predicted Percentage of Dissatisfied (прогнозований відсоток незадоволених)

PMV – Predicted Mean Vote (прогнозований середній відсоток задоволених)

DTS – Distributed Temperature Sensing (динамічне теплове відчуття)

TS – Temperature Sensing (теплове відчуття)

CFD – Computational Fluid Dynamics (обчислювальна гідродинаміка)

BRT – Bus Rapid Transit (швидкісне автобусне сполучення)

ET – effective temperature (ефективна температура)

SET – standard effective temperature (стандартизована ефективна температура)

ppm – parts per million (кількість частинок на мільйон)

ВСТУП

Актуальність теми

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 ТЗ є: вібрація, шум, тепловий комфорт, якість повітря, освітленість та ергономіка. Однак, у більш загальному аналізі комфортності в АТЗ слід враховувати три класи факторів: організаційні, конструкційні та експлуатаційні.

Системи опалення та охолодження КТЗ споживають велику кількість енергії та впливають на паливну економічність в більшості випадків негативно. Однак, без відповідного комфорту пасажирські перевезення стає тепер реалізовувати вкрай важко.

Для забезпечення та створення необхідних параметрів мікроклімату салону чи робочого місця водія в ТЗ застосовують системи опалення, вентиляції та кондиціонування повітря. Дивлячись, які потрібно створити кліматичні умови, дані системи забезпечують повітряне середовище сприятливе для пасажирів та водія нагріваючи або охолоджуючи повітря залежно від потреби. 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.

На відміну від комфорту у закритих приміщеннях оцінка теплового комфорту в ТЗ пов'язана з його рухом, розглядається в динаміці і має крім стабільності передачі теплоти і сонячної радіації ряд особливостей, пов'язаних з гіршою теплоізоляцією, щільністю розміщення пасажирів на м. кв.,

необхідністю забезпечення повітрообміну, швидкого нагріву/охолодження салону, наприклад на зупинках та ін.

Оцінка теплового відчуття організму людини є суб'єктивною і подається в ASHRAE. за допомогою емпіричних кореляцій, одна з вимог стандартів полягає, в так званій термонеutralності. Це описується та оцінюється такими індексами: DTS (динамічне теплове відчуття), TS (теплове відчуття), PMV (прогнозований середній відсоток задоволених) і PPD (прогнозований відсоток незадоволених). Перші два індекси залежать від температури гіпоталамуса та середньої температури шкіри, а індекси PMV та PPD враховують такі шість параметрів: активність пасажирів, тип та ізоляцію одягу, температуру повітря, середню радіаційну температуру, швидкість повітря та вологість (згідно ISO 7730). На даний час керуються стандартом EN ISO 14505 «Оцінка теплового середовища в транспортних засобах», який поєднує суб'єктивний метод досліджень, результатів, зібраних під час анкетування і параметри комфорту, отримані експериментальним шляхом. Для вираження теплового відчуття використовується дев'ятибальна аналогова шкала.

В системі «людина- салон ТЗ» кузов ТЗ є відкритою термодинамічною системою, яка обмінюється з навколишнім середовищем енергією у вигляді реальної кількості теплоти чи холоду, які забезпечують опалювачі або кондиціонери рідинного чи електричного типу. Не залежно від типу система опалення є одна із найбільш енергоємних систем в конструкції автобуса. Великі міські автобуси оснащені, як правило, не менш ніж чотирма обігрівачами салону потужністю до 8 кВт, що кріпляться під пасажирськими сидіннями. Щодо електронагрівачів, то вони призводить до проблем з електробалансом автобуса/електробуса, особливо у холодний період року.

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 ДВЗ до електронагрівачів і пошук альтернативних джерел опалення салону автобуса є актуальними дослідницькими завданнями.

Ступінь розробленості теми дослідження

Теоретичною базою дослідження послужили роботи вітчизняних і зарубіжних вчених: Бокатов М.І., Вільковський Г.К., Возняк О.Т., Галич І.В., Гіссар В.В., Гнипович В.І., Голенко К.Е., Голубева Ю.В., Горбай О.З., Грибініченко М.В., Грицук І.В., Гухо В.Г., Данова К.В., Жуковський С.С., Зінько Р.В., Іванусь Е.М., Коцюмбас О.Й., Кравченко О.П., Крайник Л.В., Краснокутська З.І., Круць Т.І., Лук'яненко В.М., Матвеев Д.В., Михайловський Е.В., Нємий С.В., Палутін Ю.І., Парфьонов В.Н., Соколянський В.В., Тарасенко С.Є. Тригуб О.А., Хохряков В.П., Чуйко С.П., Bilgili M., Björklund M., Dimovski M., Eriksson M., Göhlich D., Matuška J., Trygstad E., Ünal Ş., Zhang L. та ін.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Роботу виконано в рамках науково-дослідної роботи кафедр автомобіледування та проєктування машин та автомобільного інжинірингу Національного університету «Львівська політехніка» за тематикою «Методологія конструктивного синтезу та параметричної оптимізації автомобілів і підіймально-транспортних машин» № 0119U101964.

Мета та завдання досліджень

Метою роботи є покращення ефективності опалення та повітрообміну робочого місця і салону великогабаритних автобусів категорії МЗ та електробусів на міських маршрутах.

Для досягнення мети поставлено і виконано такі завдання:

- проаналізувати стан питань, щодо мікроклімату в салонах АТЗ;
- розрахунок температурного балансу салону автобуса провести на основі багатофакторного підходу;
- дослідити варіанти обігріву салону за рахунок відбору теплоти від колектора ДВЗ;
- для системи опалення визначити ефективність теплових потоків, що утворюється навколо випускного тракту для різних варіантів розміщення ДВЗ в автобусі;

- оцінити ефективність примусового обігріву повітряними завісами встановленими над, біля та внизу дверної пройми;
- промодельовати роботу системи вентиляції на робочому місці водія і у салоні великого міського автобуса в залежності від конструктивних особливостей її елементів (повітропроводів, дифузорів, кватирок і люків);
- провести експериментальні дослідження основних параметрів мікроклімату (температуру та вологість повітря, кількість повітря, рівень шкідливих речовин) в холодну та теплу пору року в салоні та відділенні водія великогабаритного міського автобуса на середньостатистичному міському маршруті;
- на основі експериментальних досліджень визначити недоліки та надати рекомендації щодо їхнього усунення.

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.

Методи досліджень

В роботі використовуються 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 ПЗ ANSYS. Для експериментальних досліджень розроблено комплекс для фіксації параметрів мікроклімату. На основі запропонованої автором методики вимірювань параметрів мікроклімату було проведено експериментальні дослідження.

Наукова 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 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.

Достовірність результатів дослідження

Забезпечено коректним використанням відомих методів досліджень і основних положень теплотехніки, застосуванням сучасної виміральної 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.

Реалізація результатів роботи

Результати досліджень 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».

Практичне значення результатів дослідження

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).

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, 20] – автором запропоновано використати систему обігріву щіток склоочисника для CFD-моделювання.

Апробація результатів роботи

Основні теоретичні та практичні результати дисертації були представлені та схвалені на науково-практичних конференціях, а також на наукових семінарах кафедри автомобілебудування і кафедри проєктування машин та автомобільного інжинірингу; Всеукраїнської науково-практичної конференції «Науково-прикладні аспекти автомобільної і транспортно-дорожньої галузей» (Луцьк ЛНТУ, 2020); The 4-th International Symposium of education and values (Karabük, Turkey, 2020); LXXVII-ій науковій конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів Національного транспортного університету (Київ, НТУ, 2020); 78-ій студентській науково-технічній конференції (Львів, НУЛП, 2020); II-ій міжнародній науково-технічній конференції «Перспективи розвитку машинобудування та транспорту» (Вінниця, ВНТУ, 2021); International Scientific and Theoretical Conference "Modeling and Computer Engineering in Mechanical Engineering: Theory, Practice, and Innovation" (Львів, НУЛП, 2022); III-ій міжнародній науково-практичній конференції «Сучасна наука та освіта: стан, проблеми, перспективи» (Полтава, 2023); XVI-ій Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту» (Вінниця, ВНТУ, 2023); Міжнародній науково-практичній конференції «Енергетичні установки та альтернативні джерела енергії» (Харків, ХНАДУ, 2024); II Міжнародній науково-теоретичній конференції «Моделювання і комп'ютерний інжиніринг в машинобудуванні» (Львів, НУЛП, 2024).

Публікації

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); в збірниках матеріалів наукових конференцій опубліковано 9 доповідей.

Структура та обсяг роботи

Дисертаційна робота складається зі вступу, основного змісту, що включає 4 розділи, загальних висновків, списку використаних літературних джерел з 142 найменувань та додатків. Зміст роботи викладено загалом на 244 сторінках, включаючи 117 рисунків та 18 таблиць. Наведені висновки та положення, які обґрунтовані та достовірні.

РОЗДІЛ 1. МІКРОКЛІМАТ В САЛОНАХ КТЗ. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

1.1. Аналіз наукових досліджень мікроклімату в салонах КТЗ

Перша згадка про системи опалення КТЗ датується 1907 роком у журналі «Motor», де рекламувався пристрій, що подавав нагріте системою вихлопу повітря у салон. Іншого типу система опалення салону появилась лише в 1929 році на «Ford Model A». Компанія «Delco», і в ті ж роки запропонувала систему парового опалення для автомобіля, але котел системи встановлювався туди ж, на вихлопну трубу. Отримана пара нагрівала радіатори в салоні, а вони в свою чергу обдувались електричними вентиляторами. Серійне виробництво таких систем розпочалося у 1930 тих роках на «Harrison Radiator Division of General Motors». В них вже можна було відрегулювати нагрів опалювача та інтенсивність роботи вентилятора, а з системою вентиляції опалювач був не зв'язаний. Система вентиляції і опалення з 50-х вже була у всіх моделях «General Motors», а до 1962-го впроваджено інтегральні кліматичні установки. Вже з 1968 року виробництво автомобілів без системи опалення в США заборонено законодавчо. Системи вентиляції та опалення змінювалися, радіатор монтувався під чи частково під сидінням, також як і система підводу свіжого повітря. Це і було перенесено на системи обігріву у громадському транспорті.

На сьогоднішній день тематика досліджень мікроклімату салонів КТЗ є актуальною. В Україні, починаючи з 1980х впродовж багатьох років наукові співробітники всесоюзного конструкторсько-експериментального інституту (ВКЄІавтобуспром) досліджували питання покращення вентиляції салонів автобусів. Надалі, над створенням та дотриманням сприятливих мікрокліматичних умов та приведенням їх у відповідність до європейської нормативної бази в салонах автобусів та інших КТЗ виконуються під керівництвом проф. Л. Крайника у ВАТ «УкрАвтоБусПром» [21]. Роботи по

дослідженню впливу забрудненості повітря в салоні було проведено В. Гниповичом та В. Парфьоновим, С. Жуковським досліджувалось питання вентиляції, а саме впливу потоку повітря під час руху автобуса з врахуванням його аеродинамічних властивостей на температуру в салоні. С. Немий досліджував ефективність теплорозподільчих пристроїв системи опалення автобусів [22], яка є однією з найбільш енергоємних з точки споживання електроенергії. У цих дослідженнях проаналізовано вплив конструктивних особливостей теплорозподільчих пристроїв на ефективність системи опалення автобусів. Було виявлено, що це призводить до проблем з балансом електроенергії автобуса [23], особливо у зимових умовах експлуатації. Відповідно у [24] було запропоновано удосконалену методику розрахунку теплоти салону автобуса із врахуванням коефіцієнта теплопередачі однакового для усіх міських автобусів $K = 3,3 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

Експериментальні дослідження системи кондиціонування проведено на автобусі МАЗ-206 (під керівництвом професора О.Кравченка) [25]. Було підтверджено, що при зовнішній температурі повітря $+24^\circ\text{C}$ у салоні автобуса, при відповідних умовах перевезення, не забезпечується бажаний нормативний мікроклімат і система вентиляції салону потребує використання кондиціонування повітря [26].

Термодинамічний аналіз системи кондиціонування автобуса проводили у дослідженні [27]. Були отримані експериментальні дані та оцінено роботу компресора, коефіцієнт продуктивності та енергетична ефективність системи кондиціонування салону. Експериментальне дослідження було проведено на прототипі автобуса і було випробувано під час руху на трасі Адана-Джейхан у Туреччині [28]. Було виміряно внутрішню та зовнішню температури, температуру на вході та на виході випарника та значення відносної вологості [29].

Точна оцінка сприйняття пасажирів є необхідною передумовою для покращення комфорту в автобусі. У дослідженні [30] наведені результати опитування щодо оцінки відчуття комфорту з врахуванням двох об'єктивних

факторів, коефіцієнта пасажирського завантаження та часу перебування в КТЗ. Результати цих досліджень мали на меті допомогти автобусним перевізникам та органам влади розробити більш заходи для підвищення рівня комфорту в автобусах.

Дослідження комфортності перевезень автобусами можна розділити на дві категорії. Перша включає дослідження продуктивності КТЗ та його стану, оскільки ці поняття впливають на комфорт пасажирів, а другий тип включає в себе середовище експлуатації автобуса, що зроблено у даному дослідженні. Багато дослідників вивчали та доводили важливість пасажирського завантаження для визначення комфортності при перевезенні автобусами. У [31] оцінили сприйняття комфорту перевезень пасажирями приміського автобуса у трьох положеннях — сидячи, зручно стоячи та стоячи в натовпі — виявилось, що відчуття комфорту суттєво впливає на загальну кількість пасажирів. Велика кількість пасажирів не тільки негативно впливає на фізичний комфорт, але й впливає психологічно і підвищує відчуття вторгнення в особистий простір, стрес, тривогу; фактично виявлено, що різний рівень скупченості між конкуруючими маршрутами та незбалансоване навантаження ТЗ впливають на вибір пасажирами маршруту та ТЗ [32]. У [33] провели опитування, які показали, що коли перевізник пропонує комфортне середовище для поїздки, то час, проведений у дорозі, здається пасажиру меншим, ніж фактичний час поїздки.

Загалом, хоча існує значна кількість літератури про комфортність перевезень, вона значною мірою зосереджена на впливі пасажирського навантаження на рівень комфорту, хоча є й інші фактори, що впливають на комфортність перевезень. Дослідження [34] зосереджено на взаємозв'язку між відчуттям комфорту і завантаженістю та часом перебування в КТЗ. Судження пасажирів про певні атрибути обслуговування можна вважати суб'єктивним показником якості обслуговування, тоді як показники ефективності, що залежать від перевізників, можуть слугувати об'єктивними показниками якості обслуговування. У [35] запропонували, щоб на додаток до використання

об'єктивних показників (напр. пасажиропотоку), перевізники та органи влади повинні проводити опитування щодо сприйняття, для того, щоб отримати інформацію про суб'єктивну оцінку пасажирями послуг перевезення (напр., комфорт автобуса).

Значення теплового відчуття розраховували за допомогою емпіричних кореляцій, поданих ASHRAE [36]. У [37] для дослідження втрат кількості тепла через стінки кузова, пасажирський салон автобуса був поділений на 11 ділянок з врахуванням властивостей матеріалу та теплового режиму.

У дослідженні [38] було вивчено потік повітря через салон автобуса, який може стати основою для недорогих та екологічно чистих методів підвищення теплового комфорту для пасажирів. Для аеродинамічних досліджень було використано модель автобуса в масштабі 1:25.

У випробуваннях [39] показано методи управління потоком повітря та температурою в салонах автобусів трьох типів. Показано, як впливають відкриті вікна та люки в даху на забезпечення обміну свіжим повітрям. В результаті було підтверджено, що закрите середовище сприяє передачі вірусів, що особливо важливо під час епідемій, таких як, наприклад, коронавірус.

У роботі [40] проведено порівняльний аналіз класичної системи опалення автобусів із використанням охолоджувальної рідини двигуна та альтернативної з використанням електронагрівачів.

У дослідженні [41] наведено розробку прогресивного кондиціонування повітря за допомогою контролера, а сам процес виготовлення та проектування автоматичної системи клімат-контролю показано у роботі [42].

У дослідженні [43] запропоновано методику дослідження теплового комфорту для пасажирів автобусів під час тесту на охолодження всередині кліматичної камери. У [44] більш детально представлено дослідження оптимізації конструкції системи кондиціонування повітря автобуса з приводом від головного двигуна з використанням тепло-економічного підходу.

У дослідженні [45] вивчено вплив різних конструкцій елементів системи опалення автобуса салону та зроблено порівняльний аналіз їх характеристик.

Термодинамічний аналіз кондиціонування автобуса проводили у дослідженні [46]. Були отримані та детально оцінені корисна та непродуктивна роботи компресора, коефіцієнт продуктивності та енергетична ефективність системи кондиціонування салону.

На споживання енергії для забезпечення комфортного мікроклімату в салоні автобуса впливає потрапляння повітря з навколишнього середовища. У літературі описано дослідження додаткових варіантів зниження цього енергоспоживання, напр. використання повітряної завіси, яка зменшує проникнення зовнішнього повітря в автобус на зупинках [47].

Дослідження по розподілу шуму з аналізом звукового поля у системі опалення, вентиляції та кондиціонування повітря при зміні значення акустичного шуму, отриманого при певних швидкостях обертання подано у роботі [48].

Однією з проблем електробусів є споживання системою опалення салону енергії з акумуляторів, відповідно відбувається скорочення відстані проїзду. Одним із рішень [49] наведеної проблеми є накопичення тепла в теплових батареях, які заряджаються у той самий час, що й електричні. Відповідно у дослідженнях [50] досліджували з економічної точки зору різні системи кондиціонування та опалення міських електробусів на основі комплексного енергетичного моделювання. Також в [50] показано зонування пасажирського салону автобуса. Наведені дослідження [51] виконуються в науково-дослідному центрі VTT Фінляндії. Командою дослідників було розроблено методи дослідження споживання системи HVAC в умовах холодної пори року для міст Фінляндії на електричних міських автобусах з акумуляторами.

У роботі [52] проведено аналіз систем забезпечення мікроклімату електробусів, а також розглянуто різні варіанти застосування систем кондиціонування для таких типів ТЗ.

У дослідженнях [53] представлено розробку стратегії контролю температури та вологості на основі нечіткого логічного керування (FLC). Контролер на основі нечіткої логіки здатен добре працювати незалежно від

будь-яких початкових умов у салоні автомобіля або при різних зовнішніх умовах, досягаючи цільової температури в межах зони комфорту. Підхід нечіткого керування може бути застосований з урахуванням споживання енергії шляхом включення інструментів оптимізації, таких як генетичний алгоритм, у майбутню розробку системи керування. Таким чином можна досягти балансу між комфортом у салоні автомобіля та енергоефективністю.

Розрахунок коефіцієнта внутрішнього клімату та його оптимізацію для електробусів марки Volvo наведено у роботі [54]. Більш детально наведено дослідження електричних батарей електробусів у [55].

Дані виробника електричних автобусів з Тайваню показують, що в даний час широко застосовується технологія VRV (змінного об'ємного холодоагенту) або VRF (змінного потоку холодоагенту) [56].

Окрім вище наведених досліджень по салонах автобусів та електробусів, також існує низка досліджень на робочому місці водіїв. Наприклад, у роботі [57] проаналізовано основні параметри, які формують мікроклімат на робочому місці водія автобуса та проаналізовано ризики їхнього недотримання. У [58] показані результати експерименту чеських вчених, який дав змогу зробити порівняльний аналіз параметрів мікроклімату кабіни водія трамвая Tatra T3 та автобуса Karosa.

У проведених дослідженнях в Німеччині [59] показано, що існує висока залежність між недотриманням параметрів мікроклімату на робочому місці водія та ризиками ДТП, а методику більш детального аналізу мікрокліматичних умов робочих місць водіїв подано у [60].

Окрім автобусів та електробусів слід також звернути увагу на наукові дослідження для ТЗ інших типів.

У дослідженні [61] описано експеримент, що включає одночасне вимірювання та анкетне опитування. Були зібрані дані від 2129 респондентів, які оцінювали тепловий комфорт в автобусах і поїздах на короткі та далекі відстані.

На сьогоднішній день у великих містах Європи є тенденція розвитку міського рейкового транспорту (трамваїв, зокрема швидкісних ліній, міських електропоїздів та рейкових автобусів), напр.: S-Bahn (Німеччина, Швейцарія, Австрія), RER (Франція, Бельгія), FR (Італія), HEV (Будапешт), SKM (Польща), Cercanías (Іспанія) та ін., тому важливим є забезпечення комфортних умов для пасажирів у таких видах міського транспорту. У роботі [62] показано дослідження мікроклімату пасажирського приміського поїзда в Ефіопії при жарких умовах, натомість у [63] можна побачити подібні дослідження, але у більш холодніших умовах в Норвегії, а у [64] можна побачити технічні рішення по удосконаленню теплового насоса таких ТЗ. Розміщення датчиків для вимірювань показників мікроклімату в салонах автобусів наведено на рис.1.1.

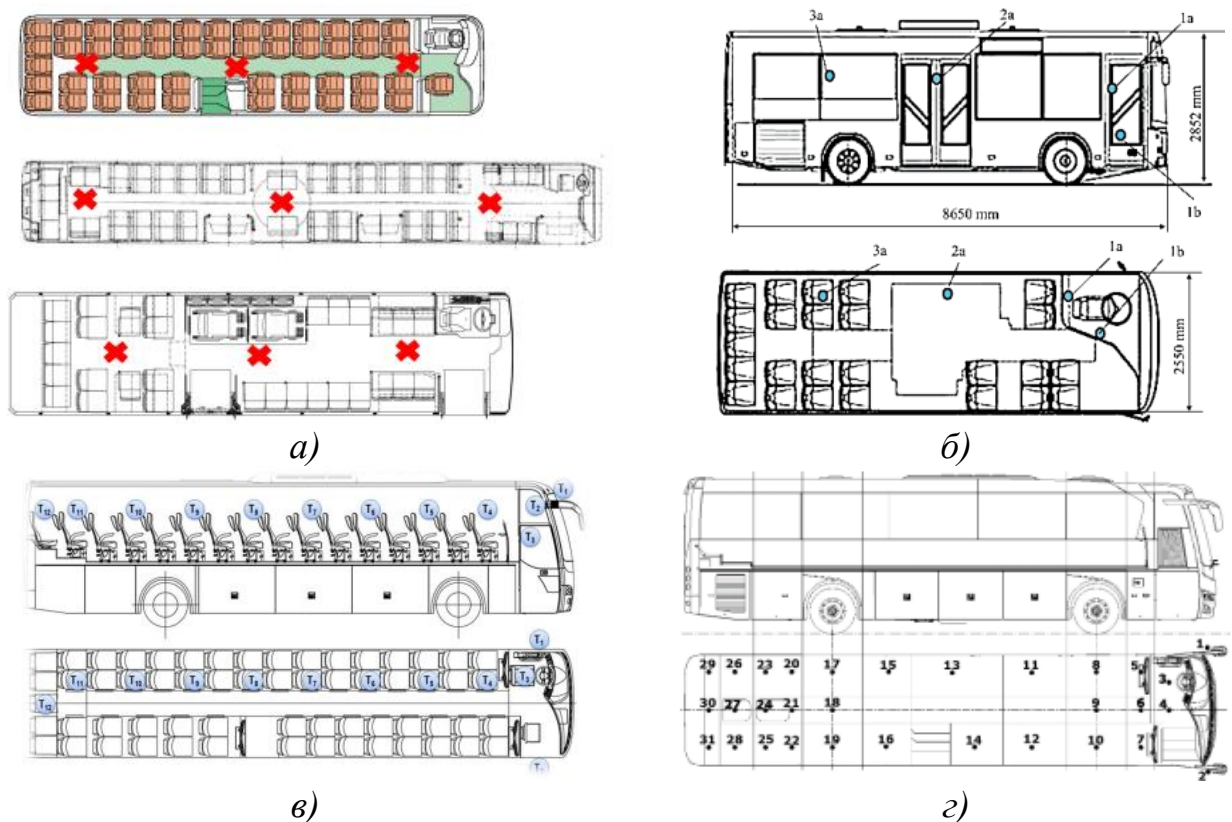




Рисунок 1.1 – Розміщення датчиків для вимірювань показників мікроклімату в салонах автобусів: а) приміському, міському та міському зчленованому [39]; б) міському малого класу [25]; в) туристичному великого класу [29]; г) туристичному середнього класу [37]; д) туристичному особливо великого класу [124]; е) мікроавтобусі [49]

У роботі [65] представлено метод контролю теплового комфорту для трамваїв, який забезпечує бажаний тепловий комфорт і мінімізує споживання електроенергії на опалення, вентиляцію та кондиціювання повітря. Викладено математичні моделі всіх відповідних частин (це частини вузлів трамваю та системи опалення, вентиляції та кондиціювання, що враховують як комфорт, так і споживання енергії), і ці моделі є лінеаризовані.

У [66] авторами проведено аналіз вимог до мікроклімату на робочому місці оператора мобільної сільськогосподарської машини.

У [67] вивчено можливі надходження і втрати теплоти в кабіні пожежного автомобіля, що перебуває під впливом теплових потоків відкритої пожежі. Із загального рівняння теплового балансу кабінки вибрані складові, які можуть бути початковими даними для розробки математичної моделі теплообміну кабінки автомобіля з довкіллям.

Дана тематика розглядається і у патентах, серед яких слід виділити нижче описані.

Корисна модель у патенті [68] належить до систем опалення ТЗ і може бути використана для автобусів міського і приміського сполучення. Система опалення міських і приміських автобусів містить встановлені під сидіннями

опалювачі з електроприводом вентиляторів, що використовують тепло системи охолодження двигуна і автономного підігрівача. Ця система додатково містить функціонально поєднаний з нею та опалювачами з електроприводом вентиляторів автономний підігрівач пасажирського салону, який додатково споряджений термостатом опалення.

Система опалення автобусів, описана в [69], містить в собі трапецієподібний повітропровід зі щілинними отворами в верхній частині, і відрізняється тим, що до верхньої частини повітропроводу прикріплена пустотіла панель з перфорованими фрагментами в місцях фіксованих сидінь і повздовжніми щілинними отворами в верхній частині для обдування вікон. На скошеній поверхні повітропроводу, в просторі між кріслами, і в його основі виконані отвори, причому за останніми встановлені трапецієподібні поворотні лопатки, шарнірно прикріплені до основи повітропроводу і похилені в напрямку руху повітряного потоку зі збільшенням кута нахилу. Для обдування ніг в фальш-підлозі виконані отвори з жалюзійними ґратками. Така система забезпечує нагрівання повітря по всій довжині автобуса, але не забезпечує тепла в водійському відсіку.

Система опалення пасажирського салону міських і приміських автобусів, наведена в описі до патенту [70] містить встановлені під сидіннями опалювачі з електроприводом вентиляторів, що використовують тепло системи охолодження двигуна і автономного підігрівача. В пасажирському салоні вздовж боковин кузова над підлогою встановлені конвектори, сполучені спільно з опалювачами трубопроводами і вентилями. Така система достатньо ефективно нагріває повітря в пасажирському салоні, але не забезпечує тепло в кабіні водія.

Система опалення пасажирського салону міського автобуса . запатентована у [71], сполучена з контуром рідинної системи охолодження двигуна і автономним рідинним підігрівачем, використовує тепло системи охолодження двигуна та автономного рідинного підігрівача і містить опалювачі

салону і трубопроводи для сполучення опалювачів з контуром системи охолодження двигуна і автономним рідинним підігрівачем [72].

Пристрій для електричного опалення кабіни водія, що містить відсік з термоелектричними нагрівниками, наведено у патенті [73]. В пристрій введені відцентровий вентилятор із напрямним кожухом та електродвигун, причому вентилятор із напрямним кожухом насаджено на вал електродвигуна, а вихід вентилятора із напрямним кожухом під'єднано до входу відсіку з тенами.

По даній тематиці проведено низка дисертаційних досліджень серед яких слід виділити дослідження систем вентиляції в салоні автобуса С. Жуковським (ВКСІавтобуспром, 1984р.), легкового автомобіля (Д. Матвеев), автоматизованої системи нормалізації мікроклімату в кабіні сільськогосподарського ТЗ (Ю. Голуб'єв), систем забезпечення мікроклімату у кабінах сільськогосподарської техніки (А.Гаврилов, С.Семикін), ефективність використання удосконалених вихревих труб на робочому місці водія приміського автобуса (К. Хохряков).

Серед нещодавніх, слід відзначити дисертацію С. Чуйка, виконану під керівництвом проф. О. Кравченка [74], у якій є оригінальна методика експериментальних досліджень при вимірюванні показників мікроклімату в салоні автобуса МАЗ на рейсовому міському маршруті м. Житомира та визначено критерії встановлення кондиціонера необхідної потужності з оцінкою впливу роботи системи кондиціонування на паливну економічність автобуса.

Метою дисертаційних досліджень М. Eriksson [75] системи кондиціонування повітря у вантажівці було розробити стратегію керування системою мікроклімату. Відповідно було розроблено модель системи клімат-контролю для створення ефективного контролера. Модель була розроблена таким чином, щоб охопити всі основні функції, які має система кондиціонування. Натомість в роботі М. Björklund [76] показано створення моделі, яка має імітувати температуру в кабіні вантажівки Scania.

У дисертації J. Matuška [77] показані результати проведення чеськими вченими вимірювань вентилюваного сидіння з особливим акцентом на тепловий комфорт пасажирів, який на ньому сидить, крім того, для порівняння різних комбінацій інтенсивності вентиляції та повітря проаналізовано розподіл повітря, що надходить у салон в місцях розташування таких сидінь.

У виконаній в Мілані дисертаційній роботі M. Dimovski [78] досліджував можливості існуючих альтернативних рішень для сприяння або покращення роботи мобільної системи кондиціонування повітря в жарку погоду. Основна увага дослідження спрямована на приватні КТЗ, які більше страждають від дисбалансу температури влітку, оскільки вони залишаються на стоянці до кількох годин на добу під гарячими сонячними променями.

У [79] подано дослідження німецьких вчених вертикальної системи охолодження салону легкових автомобілів, подано методику її випробування та дано оцінку теплового комфорту та енергоефективності.

1.2. PPD, PMV та теплові манекени

Найпопулярніші моделі теплового комфорту та методи оцінки теплового комфорту в салонах ТЗ розглянуто в роботі [80]. Автори показали, що більшість із цих методів і моделей обмежені конкретними стаціонарними, термічно однорідними середовищами, і лише деякі з них стосуються реакції людини як на неоднорідні, так і на перехідні умови. Вони підкреслили той факт, що стандартизовані моделі були визначені два-три десятиліття тому і з тих пір залишаються незмінними.

У роботі [81], на оцінку та прогнозування стану теплового комфорту в салоні автомобіля впливають просторово-часові характеристики цього середовища. Дійсно, середня температура у легковому автомобілі зазнає значних і швидких змін і на неї сильно впливають зовнішні умови. Наприклад, температура всередині автомобіля може сягати 52°C влітку при зовнішній температурі 34°C і при значеннях сонячної радіації близько 800 Вт/м²

відповідно до експериментальних результатів показаних у [82]. У більшості випадків повітророзподільні решітки, які дозволяють контролювати навантаження на обігрів або охолодження в кабіні, встановлюються лише в передній частині ТЗ, при цьому стан теплового комфорту для пасажирів у задній частині ТЗ досягається складніше.

Було проведено багато досліджень, щоб знайти відповідь щодо теплового комфорту в ТЗ, дотримуючись трьох способів підходу зі стандартів EN ISO 14505. Деякі з цих досліджень враховують суб'єктивні методи, засновані на результатах, зібраних під час анкетування, тоді як інші оцінюють якість навколишнього середовища на основі експериментальної оцінки параметрів комфорту за допомогою приладів. У більшості випадків як на практиці, так і в стандартах температура повітря є найбільш спостережуваним і обговорюваним із цих параметрів. Комфортне значення температури зазвичай фіксується всередині кабіні, як фіксоване задане значення, відповідно до температури зовнішнього повітря. Одним із методів, який зараз використовується для оцінки теплового комфорту як функції температури повітря, є використання датчиків для вимірювання значень температури повітря у визначених точках на рівні голови та щиколоток. Основна мета цього підходу полягає в тому, щоб визначити, як швидко буде підвищуватися або знижуватися температура в холодному або теплому салоні ТЗ, вивчити неоднорідність між температурою на рівні ніг і голови і встановити, чи рівень температури знаходиться в допустимих межах. У будь-якому випадку, за допомогою цього методу вимірюється лише один із необхідних параметрів, які стосуються відчуття теплового комфорту, а будь-який вплив швидкості повітря та холодного чи гарячого потоку нехтується, що призводить до хибних висновків. Цей факт є особливістю теплового середовища в салоні ТЗ, де система кондиціонування повітря призводить до високих локальних швидкостей повітря.

Відносна вологість повітря, яка безпосередньо пов'язана з температурою повітря, є ще одним фактором, який має великий вплив на тепловий комфорт [83]. Вологість усередині автомобіля впливає на випаровування поту зі шкіри

пасажира, тому дуже важливо підтримувати відносну вологість у належному діапазоні, оскільки в жаркому середовищі це обмежить втрату тепла тілом. Відносна вологість між 30...70% не впливає на тепловий комфорт за певних температур, але коли відносна вологість перевищує 70%, а внутрішня температура перевищує цей температурний діапазон – це запобігатиме випаровуванню поту, а потім може викликати задушливе відчуття, що призведе до дискомфорту. Коли вологість повітря нижча 30% - це викликає відчуття сухості. Відносну вологість можна оцінити, вимірявши будь-яку точку спеціальним датчиком. Відносна вологість повітря корелюється з температурою повітря, але менше піддається неоднорідності.

У той же час, беручи до уваги раніше означений неоднорідний характер розподілу температури в салоні, теплові параметри ТЗ різко змінюються протягом перших кількох хвилин перебування в салоні ТЗ. Беручи до уваги, що період використання ТЗ іноді є дуже коротким і недостатнім для отримання рівномірного теплового середовища, і знаючи, що 85% подорожей автомобілями включає відстань менше 18 км із тривалістю від 15 до 30 хв., у цей період може бути важко досягти реального стану теплового комфорту [84]. Автори намагалися оцінити перехідний розподіл температури в кабіні автомобіля в реальних умовах експлуатації протягом холодної пори року. Температуру повітря вимірювали в кількох місцях у кабіні автомобіля в природних зимових умовах у Південному Китаї за допомогою дискретних термопар і спостерігали за температурою шкіри на різних частинах тіла пасажирів одночасно. Тіло людини поділялося на дев'ять сегментів, локальне теплове відчуття пасажирів безперервно фіксувалось на рівні голови, тіла, верхніх та нижніх кінцівок. Температуру фіксували за допомогою дискретних термопар, а локальне теплове відчуття оцінювали за семибальною шкалою теплового комфорту. Результати показали, як і очікувалося, що температура повітря всередині ТЗ дуже неоднорідна. Автори виявили кореляцію між температурою шкіри різних частин тіла та місцевим тепловим відчуттям. Вони показали, що існують суттєві відмінності між температурою шкіри та

місцевими відчуттями частин тіла через нерівномірність теплового середовища та суб'єктивні теплові реакції. Вони припустили, що моніторинг температури шкіри може бути хорошим підходом до оцінки теплового відчуття людини у цьому тепловому середовищі.

Сонячна радіація, пов'язана з сильним перехідним тепловим режимом є одним з основних факторів теплового дискомфорту як прямо, так і опосередковано. Kilic та ін. [85] зафіксували значення температури на 12°C вище у випадку використання датчиків, які піддаються впливу сонячного світла, порівняно з датчиками, розміщеними в затінених зонах, тоді як відсоток від 18 до 31% потужності системи охолодження використовується для зменшення навантаження, викликаного прямим впливом сонячної радіації. У цьому випадку важливе значення має колір вікон, оскільки він може значно зменшити споживання енергії для охолодження, контролюючи кількість свіжого повітря, що надходить у ТЗ [86].

Srisilpsophon та ін. [87] запропонували кореляцію між TSV, отриманим за допомогою анкетного опитування щодо прямої сонячної радіації. Експерименти проводилися в кліматі Бангкока у Таїланді, коли всі вікна, крім лобового скла, були покриті 40% плівкою для захисту від сонця. На основі експериментальних даних авторами запропоновано набір емпіричних моделей для оцінки температури поверхні вікон і стінок кабіни. Було помічено, що середня температура випромінювання в салоні була ближчою до температури повітря навколишнього середовища у разі використання захисної плівки, ніж без неї. Для плівок із 40, 60 та 80% ефективністю зменшення проникнення сонячного випромінювання, коли температура зовнішнього повітря була нижчою за 25°C, вже 40%-ва плівка для захисту від сонячного випромінювання мала характеристики, подібні до більш темної плівки. Коли зовнішня температура була вищою за 25°C, 80%-ва плівка продемонструвала перевагу в зниженні середніх значень температури випромінювання. У результаті вони спостерігали зменшення сонячного тепла на 14, 18 та 20% відповідно, та зменшення споживання палива на 11,7, 14,4 та 18% відповідно, порівняно з

випадком, коли вікна були без захисної плівки. Крім того, опитані пасажери відчували себе комфортніше в ситуації із захисною плівкою.

З точки зору якості повітря, бажаний ефект системи розподілу повітря в кабіні полягає в тому, щоб забезпечити свіжим повітрям, а також компенсувати потреби в теплі чи холоді та створити приємну атмосферу. Іноді на відчуття теплового комфорту впливає відчуття браку свіжого повітря, пов'язане з високим рівнем CO_2 . Kilic та ін. вивчали вплив режиму вентиляції, а саме вплив подачі свіжого повітря в порівнянні з режимом рециркуляції на відчуття температури та якості повітря пасажирами. Автори вимірювали температуру повітря, відносну вологість, швидкість повітря та концентрацію CO_2 протягом літа. Вони виявили, що в режимі рециркуляції повітря рівень CO_2 в салоні перевищив у перші 5 хв. порогове значення в 1200 частин на мільйон, прийнятне для безпечної їзди, і може перевищити значення 3200 частин на мільйон через годину.

Sepehr та ін. [88] використовували контролер з нечітким логічним управлінням у своєму дослідженні, щоб контролювати два параметри: швидкість повітря на випускній решітці та відсоток рециркуляційного повітря. Автори показали, що за допомогою контролера потрібно менше часу для досягнення бажаної внутрішньої температури $+20^\circ\text{C}$, що може відобразитися на споживанні енергії. Використання багатозональних систем повітророзподілу є ще одним способом зниження витрати палива ТЗ. Статистика показує, що якщо ТЗ має низький рівень заповнюваності, звичайні монозональні системи фіксують непотрібне споживання енергії для охолодження в незайнятому просторі. Дотримуючись тієї ж ідеї оптимізації розподілу повітря та місцевого теплового мікросередовища, як і у [81], застосування показника температури шкіри до проектування та керування параметрами HVAC (опалення, вентиляція та кондиціонування повітря) може стати новим способом отримання вигоди з точки зору покращення теплового комфорту та зменшення споживання енергії.

Врахування впливу системи кондиціонування на споживання палива розглянуто у дослідженнях [89]. У цій роботі автори досліджували ефект,

отриманий завдяки досягненню більш ефективного охолодження навколо пасажирів. Вони модифікували систему розподілу повітря, встановили вентиляційні решітки для задніх пасажирів, таким чином, що повітря надходить через випускні решітки з панелі приладів для передніх пасажирів і дахові випускні решітки для задніх пасажирів. Індекс PMV оцінювався на основі моделювання процесів гідродинаміки, які корелювалися з емпіричними співвідношеннями. Експериментальна перевірка моделювання полягала в оцінці ефективності системи кондиціонування повітря при різних витратах повітря та температурах повітря. Енергія, яка споживалась локалізованою системою кондиціонування повітря, зменшилася на 20,8 і 30,2% відповідно.

Ще одна інноваційна система розподілу повітря була досліджена Lee та ін. [90]. Вони дійшли висновку, що для найшвидшого досягнення параметрів комфорту найкраще установлювати додаткові вентиляційні дифузори за заднім рядом сидінь. У теплу пору року автори зафіксували значення індексу PMV між -0,3 і 0,2, що повністю відрізняються від значень -0,1 і 1, отриманих для ситуації без випускної решітки позаду задніх пасажирських сидінь. Крім того, автори помітили нерівномірність розподілу температури, виміряної на рівні грудей між передньою та задньою частинами ТЗ, яка перевищувала 2°C.

Одна з вимог стандартів, яку необхідно виконати, полягає в тому, щоб людина перебувала в так званій термонеutralності. Це описується та оцінюється такими індексами: DTS (динамічне теплове відчуття), TS (теплове відчуття), PMV (прогнозований середній відсоток задоволених) і PPD (прогнозований відсоток незадоволених). У даній роботі автори оцінюють тепловий комфорт людини в двох зонах салону. З математичної точки зору організм людини можна розділити на дві взаємодіючі системи терморегуляції: керуючу активну систему та керовану пасивну систему. Активна система моделюється за допомогою кібернетичних моделей, що передбачають регуляторні реакції, тобто тремтіння, вазомоцію та потовиділення. Пасивна система моделюється шляхом імітації фізичного тіла людини та явищ теплопередачі, що відбуваються в ньому та на його поверхні.

Це описується та оцінюється такими індексами: DTS), TS, PMV і PPD. Перші два індекси залежать від температури гіпоталамуса та середньої температури шкіри, а індекси PMV та PPD враховують такі шість параметрів: активність пасажера, тип та ізоляцію одягу, температуру повітря, середню радіаційну температуру, швидкість повітря та вологість (згідно ISO 7730). Взаємодія конвективного, радіаційного і кондукційного теплообміну в салоні КТЗ дуже складна. Різне сонячне випромінювання та вплив неоднорідної температури повітря та швидкості повітря від системи вентиляції або кондиціонування повітря автомобіля створює мікроклімат, який може значно змінюватися в просторі та часі, тому ефективність системи забезпечення мікроклімату оцінюється з урахуванням еквівалентної температури та температури поверхні одягу пасажирів, для прикладу манекен FIALA-FE забезпечує ряд термофізіологічних параметрів моделі людського тіла.

З математичної точки зору організм людини можна розділити на дві взаємодіючі системи терморегуляції: керуючу активну систему та керовану пасивну систему. Активна система моделюється за допомогою кібернетичних моделей, що передбачають регуляторні реакції, тобто тремтіння, вазомоцію та потовиділення. Пасивна система моделюється шляхом імітації фізичного тіла людини та явищ теплопередачі, що відбуваються в ньому та на його поверхні.

Таким чином, фізичне тіло складається з елементів, які наближено виглядають як циліндри або сфери (напр. голова), вони розділені на сектори та підрозділяються на: шкіру, жир, м'язи, кістки (згідно Paulke, S., та Ellinger, M.), а на ступінь теплового комфорту людини впливають шість параметрів: рівень активності, ($\text{Вт}/\text{м}^2$), теплоізоляція одягу, ($\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт}$), температура повітря, ($^\circ\text{C}$), середня радіаційна температура, швидкість повітря, ($\text{м}/\text{с}$) та коефіцієнт вологості, (%) [60].

1.3. Нормативна база та вимоги до мікроклімату салонів КТЗ

Перші стандарти з вимогами до теплових манекенів розроблено в 1980-х роках. Данія стала першою країною, яка включила стандарти INSTA в національні стандарти. Інші скандинавські країни також планували це зробити, але публікація нових директив ЄС щодо засобів індивідуального захисту (ЗІЗ) у 1989 році зупинила впровадження національних стандартів для членів ЄС. У 1986 році було запропоновано чотири стандарти для вимірювання теплоізоляції захисного одягу від холоду INSTA 352-355, з яких перша містила визначення, одиниці та символи, а друга детально описувала форму, конструкцію та вимірювання теплового манекена, наступні визначали умови і процедури вимірювання окремої частини одягу (INSTA 354) і повного комплекту одягу (INSTA 355), відповідно. Дві нові директиви стосуються мінімальних вимог до безпеки та охорони здоров'я при використанні ЗІЗ (Директива ЄС-89/656 1989 р.), а також випробувань, виробництва та маркетингу ЗІЗ (Директива ЄС-89/686 1989р.). Як наслідок, Європейська організація зі стандартизації (CEN) розробила велику кількість стандартів, щоб дати можливість виробникам тестувати свою продукцію і гарантувати відповідність. Необхідність забезпечення більш високих вимог, ніж мінімальні, у багатьох ситуаціях вимагала стандартів, в яких ЗІЗ класифікувалися за результатами випробувань.

Згідно CEN TC162/WG4 в комплекті одягу термоманекена вимірюється базове значення ізоляції або різницю загального значення та ізоляції поверхневого шару повітря. У нинішній версії стандарту ENV-342 2003 деталі тестування на манекенах виключені. Замість цього зроблено посилання на ISO 15831 2003. Загальне значення ізоляції у CEN/TC162/WG8 вимірюється при швидкості вітру 4 м/с. Результат відноситься до одного з чотирьох класів ізоляції.

У CEN TC161/WG1 переглянуто стандарт EN 344 в частині тестування холодозахисних властивостей взуття і внесено нову пропозицію щодо тестування холодозахисних властивостей з використанням термомоделі стопи.

ISO 7933 (ISO-7933 2002) є стандартом теплового навантаження і забезпечує розрахунок з урахуванням тепловіддачі одягу, використовуючи значення тепла і вологи, які є виміряні або розраховані. Остання версія стандарту включає алгоритми для корекції значень ізоляції та паронепроникності. Чотири основні кліматичні параметри, рівень активності та параметри одягу є вхідними значеннями для розрахунку. Програма розраховує підвищення температури та інтенсивності потовиділення для заданого часу експозиції. Також розраховується час досягнення певних для визначених змінних критичних значень.

На рівні ISO наразі існує два стандарти, які базуються на вимірюваннях на манекені ISO-15831, в якому описуються вимірювання та функції термоманекена, а також процедури вимірювання та розрахунку теплоізоляції та стандарт ISO 9920, який також коротко описує термоманекена, але в основному це є база даних значень, зібраних з різних джерел. Чинними стандартами, які пропонують методи оцінки теплового комфорту в салоні автомобіля є EN ISO 14505, розділений на три частини, та американський ASHRAE - 55.

Європейський стандарт EN ISO 7730 використовується для оцінки теплового комфорту в будівлях і базується на відомій теорії Фангера та на еквівалентній моделі. На основі чотирьох основних кліматичних параметрів (температура повітря, середня промениста температура, швидкість руху повітря та вологість), рівня активності та теплоізоляції одягу розраховується PMV-індекс. PMV - це "міра" теплового відчуття людей, які перебувають у приміщенні.

ISO/FDIS 11079 розраховує необхідну теплоізоляцію одягу IREQ на основі активності та кліматичних умов. Якщо теплоізоляція системи одягу відома, стандарт розраховує рекомендований час використання.

Європейський дослідницький проект вивчав різні методи оцінки теплового середовища в ТЗ. Одним з результатів стала пропозиція використання теплового манекена як відповідного і надійного методу. Зокрема, багатосегментний тепловий манекен здатний виявляти тепловий вплив на

невеликі частини людського тіла в асиметричному тепловому середовищі. На основі цього дослідження було запропоновано стандарт для оцінки теплового середовища в ТЗ ISO/CD-14505/2 2003, а відповідна методологія, наведена в ISO 14505-2:2006, може бути обрана для включення в конкретні експлуатаційні стандарти для тестування систем опалення, вентиляції та кондиціонування повітря для ТЗ та подібних замкнутих просторів.

EN ISO 7730 включає індекси PMV та PPD, запропоновані Фангером понад 50 років тому. Досліджувалися суб'єкти, які мали стандартний одяг, виконували стандартну діяльність людини та піддавалися різним температурним умовам. За своїми відчуттями досліджувані оцінювали за шкалою ASHRAE із семи значеннями (-3 – холодно, -2 – прохолодно, -1 – злегка прохолодно, 0 – нейтрально, 1 – злегка тепло, 2 – теплий, 3 – гарячий). В інших дослідженнях суб'єктів змінено одяг, температуру навколишнього середовища тощо, щоб отримати задовільний тепловий стан. Проаналізувавши систему терморегуляції та теплообміну організму людини, Фангер запропонував індекс PMV - Predicted Mean Vote і Predicted Mean Option, відповідно до шкали ASHRAE вводячи зовнішні фізичні величини, що впливають на явища теплопередачі (повітря температура, середня температура випромінювання, парціальний тиск водяної пари та відносна швидкість повітря) та індивідуальні зміни (термостійкість одягу, рівень активності та середня температура шкіри). Тобто отримується залежність між виробленим і виділеним теплом тіла. Коли рівняння теплового балансу виконується, тепло, що виділяється тілом людини розсіюється без підвищення активності системи терморегуляції організму. Значення індексу PMV знаходяться між -3 і 3 за шкалою ASHRAE. Він кількісно оцінив відчуття групи досліджуваних про стан комфорту. З цим параметром пов'язаний індекс PPD (прогнозований відсоток незадоволених), що вказує на відсоток, які відчувають тепловий дискомфорт. Інтервалу відповідає значення 10% індексу PPD від -0,5 до +0,5 для PMV за шкалою Фангера. Навіть для PMV=0 приблизно 5% пасажирів відчувають дискомфорт.

Як стандарт ASHRAE 55, так і стандарт EN ISO 7730 визначають методи оцінки теплого середовища з метою отримання певного рівня комфорту при певному рівні активності та типу одягу. ASHRAE 55 використовує або метод PMV-PPD, або стандартну ефективну температуру SET для зон комфорту в приміщеннях з кондиціонерами. Він також представляє адаптивний підхід для визначення прийнятних теплових умов у приміщеннях з природною вентиляцією, тоді як EN ISO 7730 пропонує підхід PMV-PPD. Стандарт EN ISO 14505 «Оцінка теплого середовища в транспортних засобах» складається з трьох частин: 1. Принципи та методи оцінки теплового стану; 2. Визначення еквівалентної температури; 3. Оцінка теплового комфорту людиною. У першій частині стандарту зроблено посилання на EN ISO 7730, який пропонує використовувати PMV та PPD. На жаль, ці два індекси генеруються, зокрема, для однорідних середовищ всередині приміщень. У другій частині стандарту пропонується індекс T_{eq} - еквівалентний температурний індекс. Це локальний та глобальний індекс запропонований Нільссоном у його докторській дисертації [91]. Більшість дослідників використовує той самий метод розрахунку, де робоча температура береться для швидкостей навколишнього повітря до 0,1 м/с. Вона являє собою середню температуру повітря і середню температуру випромінювання, яка залежить відповідно від коефіцієнту конвективної тепловіддачі. Тут можна виділити кілька типів температур: спрямована еквівалентна температура – відноситься до теплообміну в межах півпростору теплообміну в півпросторі перед нескінченно малою площиною і описується як нормальний вектор до вимірювальної площини в кожній точці, що визначається величиною і напрямком; спрямована еквівалентна температура по площині в кожній точці, що визначається величиною та напрямком; спрямована еквівалентна температура, яка є навколо частини тіла або всього тіла, яка вимірюється, як правило, еліпсоїдним датчиком; температура всього тіла людини, яка є стандартизованою величиною та локальна еквівалентна температура, пов'язана з однією або кількома частинами тіла. Всі ці температури можуть бути визначені за допомогою одного або декількох

датчиків з плівкою або еліпсоїдів, або за допомогою теплового манекена, як описано в стандарті EN ISO 14505/2. Метод еквівалентної температури з використанням спрямованих датчиків або теплового манекена для оцінки теплових відчуттів у ТЗ має недолік, оскільки теплові відчуття, оцінюються за допомогою незалежних від одягу діаграм теплового комфорту.

У третій частині стандарту EN ISO 14505 представлено прямий метод оцінки теплового комфорту в автомобілях основним показником якого є інформаційне повідомлення про теплові відчуття TSV опитуваних пасажирів. Цей суб'єктивний метод кількісно оцінює та реєструє реакцію людей на їхнє теплове відчуття в навколишньому середовищі, за тією ж шкалою значень, що і для PMV. TSV враховує лише психологічні та фізіологічні фактори. Дослідження з використанням цього методу включає стандартизованих опитувальників для контрольованої та репрезентативної вибірки населення. Узагальнивши отримані результати, можна скласти уявлення про конкретні досліджувані ситуації.

Загалом, стандарт ISO 14505 здається більш чутливим до параметрів теплового середовища і менш чутливим до параметрів холодного середовища, порівняно з іншими підходами для неізотермічних середовищ, такими як модель Берклі [92]. Це може означати, що стандарт ISO 14505 підходить для термічно нейтральних ситуацій лише тоді, коли прихована теплота випаровування становить дуже малу частину загальної тепловіддачі людського тіла. Більше того, якщо ми говоримо про тепловий комфорт у кабіні ТЗ, інші параметри конструкції можуть впливати на відчуття пасажирів у непередбачуваний спосіб. Одним з таких параметрів є теплові відчуття, які створюють автомобільні сидіння, наприклад, коефіцієнт теплопровідності оббивки сидінь [93].

1.4. Комплекси та ПЗ для досліджень мікроклімату

Чисельний експеримент є практично завжди менш затратним ніж натурний, тому він в свою чергу отримав широке застосування. Це привело до створення для інженерних та наукових розрахунків комерційних програмних продуктів, частина з яких є безкоштовними з відкритим кодом. Великі компанії, такі як Autodesk, Dassault Systemes, ANSYS та ін., створюють разом з програмами для розрахунку потоків повітря також програми САПР, в яких можна побудувати геометрію об'єкта досліджень.

При дослідженнях повітряних потоків особливу роль слід надавати CFD-моделюванню. У дослідженнях [94] колективом авторів під керівництвом проф. Р. Зінька можна побачити як вчені моделюють повітряні потоки по салону автобуса із застосуванням спрощеної просторової моделі салону, а у [1] наведено методику просторового моделювання роботи системи вентиляції в салоні автобуса при трьох режимах їзди.

За допомогою просторових моделей наведених у дисертації [95] можна візуально побачити рух повітряних мас в салоні електробуса та на етапі проектування усунути побачені проблеми. В роботі [96] показано аналіз зовнішнього та внутрішнього повітряного потоку в міському автобусі. Цей аналіз виконується за допомогою CFD моделювання. Розглянуто два випадки: повне та часткове відкриття вікон, а також три швидкості руху автобуса: 20, 40 та 60 км/год. Подібні дослідження проводили у роботі [97] на шкільному автобусі. Вчені досліджували вентиляцію салону автобуса за допомогою CFD-моделювання при трьох режимах швидкостей.

Для проведення моделювання [98] було використано програмне забезпечення ANSYS CFX 12.1. Розглянуто два випадки граничних умов, перший отриманий на основі проектних розрахунків, другий - тільки на основі інформації, що міститься в стандартах. Автори роботи [99] розробили обчислювальний метод для прогнозування ризиків передачі інфекцій повітряно-крапельним шляхом в автобусних салонах, використовуючи

моделювання гідродинаміки, оцінюючи мікроклімат і контрзаходи, такі як перегородки і носіння масок, а у [100] на прикладі спалаху COVID-19 китайські вчені за допомогою CFD-моделювання в приміщенні та на вулиці досліджували вплив оптимізованої природної вентиляції та дахових вітроуловлювачів на розсіювання крапель з патогенами та ризик інфікування в міжміському автобусі з урахуванням таких змінних, як швидкість руху автобуса, місцезнаходження інфікованого та температура навколишнього середовища. Також у [101] оцінюється, як стратегії вентиляції впливають на дисперсію респіраторних крапель в міжміському автобусі, використовуючи Ansys-FLUENT для моделювання траєкторій крапель і структури повітряних потоків з індивідуальною вентиляцією і без неї, і показано, що посилений повітрообмін, особливо через індивідуальні вентиляційні отвори, значно знижує концентрацію крапель і ризик інфікування повітряно-крапельним шляхом. Тема об'ємної вентиляції та параметрів мікроклімату продовжена в [102], де піднімається питання важливості вентиляції салону автобуса під час пандемії COVID-19, а саме ставиться задача дослідити процес проходження природної вентиляції міського [103] та шкільного автобуса [104] із застосування програмного комплексу Ansys-FLUENT. Також подібними методами досліджують різні типи систем вентиляції салонів автобусів, як природних [105], так і примусових [106].

У роботі [107] досліджується явище самозабруднення в шкільних автобусах, де викиди потрапляють в салон, з використанням CFD-моделювання для імітації дисперсії гексафториду сірки SF₆ в якості газу-індикатора. Перевірка моделі за допомогою попередніх досліджень показала похибку в 12-17% для внутрішніх і зовнішніх концентрацій. Автори роботи [108] порівняли моделі Ейлера та Ейлера-Лагранжа для моделювання переносу мікронних частинок у вентильованих приміщеннях, виявивши, що обидві моделі є точними для повітряного потоку, але мають відмінності в моделюванні концентрації частинок і взаємодії зі стінками, що визначило вибір для досліджень переносу забруднювачів у приміщенні. Використання комп'ютерної

динаміки рідини і частинок CFPD разом з комп'ютерним моделюванням пасажирів CSP для оцінки того, як розташування вентиляційних систем і щільність пасажирів впливають на ризик передачі інфекції повітряно-крапельним шляхом у приміських автобусах, описано в роботі [109], а оцінку ефективності опалення та теплового комфорту можна знайти в роботі [110].

На рис. 1.2 показано приклади CFD-моделювання.

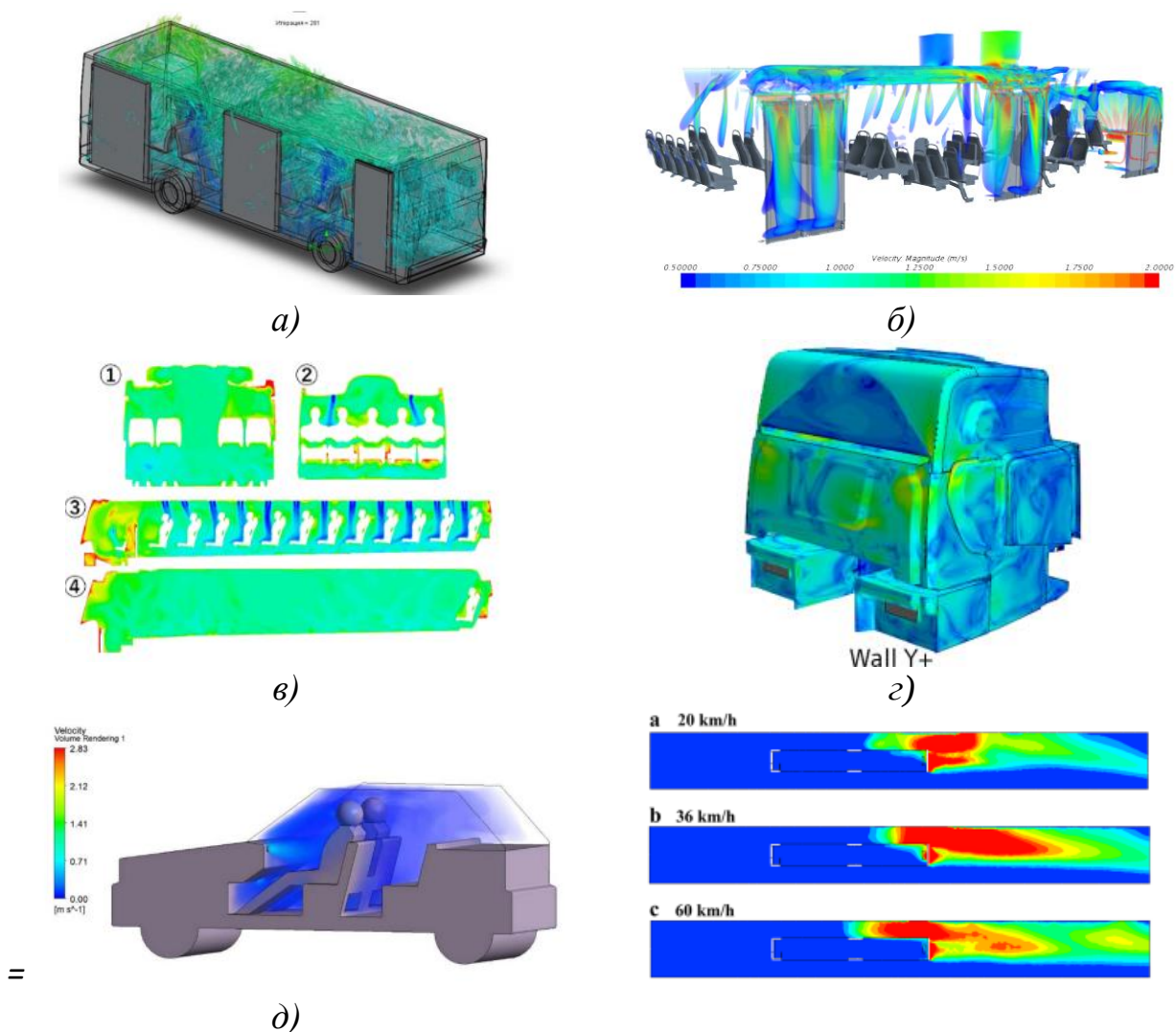


Рисунок 1.2 – Приклади CFD-моделювання повітряних потоків у: а) міському автобусі [88]; б) електробусі [89]; в) туристичному автобусі [93], г) кабіні вантажівки [111]; д) легкового автомобіля [113]; е) метробуса [114]

У роботі [111] експериментально досліджено теплове середовище та тепловий комфорт людини в салоні автомобіля за різних режимів руху влітку.

Модель попередньої оцінки комфорту пасажирями та модель еквівалентної температури в основному відповідають фактичному тепловому комфорту людського тіла під час простою та в умовах водіння зі зміною часу.

У дослідженнях [112] тепловий комфорт моделювався за допомогою аналізу потоку, а також було визначено розташування вентиляційних отворів кондиціонера в кабіні трактора. Випробування на нагрівання трактора в екологічній камері було проведено для отримання даних про температуру при тепловій рівновазі, і цей результат використовувався як гранична умова для моделювання.

У роботі [113] наведено аналіз схем побудови програмно-моделюючих систем CFD моделювання. Висвітлено основні недоліки більшості існуючих загальновідомих програмно-моделюючих систем та досліджено перспективні напрямки подолання виявлених недоліків, а у [114] проаналізовано також різні програми для теплотехнічних розрахунків та наведено деякі із них.

У дослідженнях німецьких вчених [115] показано методику моделювання повітряних потоків в кабіні КТЗ на основі мови програмування Modelica, а метою дослідження [116] є визначення математичних моделей, які будуть використовувати інтелектуальні алгоритми управління, які гарантують комфорт людини у приміщенні, енергозбереження та водночас менше викидів CO₂. Пропонуються три моделі для концентрації CO₂, температури та вологості, відповідно, для приміщення в будівлі.

У дисертації [117] використовується обчислювальна гідродинаміка CFD для розробки методології моделювання інтер'єру салону автобуса щодо мікроклімату. Автор описує поведінку потоку внутрішнього клімату та вплив циклу відкривання дверей на стан мікроклімату салону, а також у дисертації [118] можна побачити методику проектування системи опалення кабіни вантажівки-тягача.

У роботі [119] наведено деталізовану методику дослідження мікроклімату салону пасажирського автобуса за допомогою CFD-моделювання, а також на основі результатів комп'ютерних розрахунків проаналізовано якість

забезпечення теплової комфортності в межах салону. Натомість у роботі [120] наведено аналогічні дослідження італійських вчених проведені на автомобілі, автобусі та літаку.

У роботі [121] автори досліджували роботу системи вентиляції автобусів BRT у місті Богота у Колумбії засобами CFD. Результати показали, що концентрація забруднюючих речовин залишається низькою протягом більшості поїздок на маршруті.

Метою роботи [122] був аналіз внутрішнього мікроклімату в міських автобусах. Дослідження виконано з допомогою чисельного моделювання, його результати експериментально перевірені на автобусах міської системи Риму.

У наукових дослідженнях К. Голенка, О. Горбая застосовано CFD-моделювання при дослідженнях мікроклімату [6], повітряних потоків в салоні автобуса [7], використовується три коефіцієнти, які впливають на мікроклімат салону автобуса, а саме коефіцієнт розташування двигуна, коефіцієнт, який залежить від сезону та коефіцієнт стилю експлуатації автобуса. Ця методика також застосована при дослідженнях обдуву автомобільного лобового скла [18].

У роботі [123] наведено С. Немим методику дослідження швидкісного руху автобуса на маршруті, а також промодельовано осцилограми руху та проаналізовано частоту відкривання дверей на маршруті, адже в подальшому ці аспекти можуть впливати на мікроклімат салону автобуса.

Висновки до розділу 1

1. У більшості міст України частка перевезення пасажирів середньо- та великогабаритними автобусами міського типу становить понад 45% і залишиться домінуючою особливо в умовах блекаутів.

2. На основі проведеного огляду науково-технічної літератури щодо комфортності пасажирських перевезень в салонах КТЗ можна прорангувати

основні напрями досліджень у наступній послідовності: плавність руху, мікроклімат, вібрації та шуми.

3. Міжнародна практика наукових досліджень свідчить, що визначення і нормування параметрів мікроклімату салонів громадських КТЗ здійснюється в основному за результатами експериментальних досліджень. Оцінка рівня комфорту проводиться індексами теплового комфорту PMV та PPD, визначення яких проводиться згідно стандарту EN ISO 14505.

4. Дослідження мікроклімату в ТЗ проводяться в напрямках вдосконалення систем вентиляції, обігріву і кондиціонування з урахуванням вимог державних та міжнародних нормативних документів. В системах вентиляції досліджуються складові, такі як вентилятори, елементи повітропроводів, розміщення дифузорів і ін. та їх вплив на ефективність системи вентиляції в цілому. В системах обігріву досліджуються параметри і характеристики теплових потоків при різних режимах роботи агрегатів цієї систем. В системах кондиціонування досліджуються перехідні процеси їх роботи, забезпечення стабільності основних параметрів і характеристик, що формують мікроклімат пасажирського салону.

5. На сьогоднішній день немає єдиної нормативної документації щодо мікроклімату салонів КТЗ і більшість країн керується вимогами розроблених внутрішньодержавних стандартів. В Україні, крім стандарту, що стосуються залізничних вагонів, параметри мікроклімату у салонах ТЗ не регламентовані.

6. В дослідженнях систем вентиляції, опалення та кондиціонування салонів КТЗ застосовуються системний техніко-економічний аналіз, натурний експеримент і математичне моделювання. На комерційному ринку програмного забезпечення існують програми в яких можна побудувати геометрію об'єкта досліджень для розрахунку систем вентиляції, опалення та кондиціонування. Перевагу слід надавати CFD-моделюванню.

РОЗДІЛ 2. МІКРОКЛІМАТ В САЛОНІ АВТОБУСА

2.1. Аналіз чинників, які впливають на формування мікроклімату салону автобуса

2.1.1. Тепловий баланс салону автобуса

Згідно ASHRAE 55-92 тепловий комфорт людини у салоні КТЗ визначається як «стан, що виражає задоволення чи відсутність дискомфорту». Людина оцінює умови навколишнього середовища за допомогою органів чуття, і цей тип комфорту є суб'єктивним поняттям. На енергетичну гармонію між тілом пасажирів та навколишнім середовищем (в даному випадку салоном КТЗ) впливають різні явища, а саме [124]: метаболічне теплоутворення від механічної роботи, яке в свою чергу залежить від втрати тепла шкірою шляхом конвекції та на випромінювання, загальної втрати тепла на випаровування від шкіри, втрати тепла від дихання та випаровування при диханні, а також включають накопичення тепла в шкірі та в активній зоні перебування пасажирів.

Рекомендації щодо температурних діапазонів наведено у SAE J2234, а також у стандарті ISO NP 14505.

Поняття ефективної температури (ЕТ – effective temperature) було введено вченими Houghten та Yaglou, як результат емпіричного індексу із їхніх статистичних досліджень. Пізніше Gagge та ін. запропонували новий показник, який широко використовується в наш час, він визначається як температура середовища з відносною вологістю 50%. Рівняння ефективної температури має вигляд (2.1):

$$ET = t_0 + w i_m LR(p_a - 0,5 p_{ET,s}), \quad (2.1)$$

де t_0 – робоча температура; w – фракція вологості шкіри; i_m – індекс проникності вологості; LR – коефіцієнт Льюїса (зв'язок між конвективним

теплообміном і масообміном, зазвичай $16,5 \text{ }^{\circ}\text{C кПа}^{-1}$ в умовах приміщення); p_a – тиск водяної пари в навколишньому повітрі; p_{ET} – тиск водяної пари при конкретному значенні ефективної температури.

Як бачимо із (2.1), такі параметри як температура повітря, радіаційна температура, швидкість повітря і відносна вологість є включені в розрахунок ефективної температури; однак для даного середовища значення ET залежить від одягу та активності пасажера. Щоб уникнути цієї залежності, Kohri ввів поняття стандартизованої ефективної температури (SET – standard effective temperature).

SET визначається як еквівалентна температура повітря ізотермічного середовища при 50% відносної вологості в якому стандартизується тип одягу суб'єкта та вид його діяльності.

Теплопередача в салоні автобуса є складною через конструктивні особливості ТЗ (вікна, стіни різних шарів, підлога, дах і двері), а також через наявність усіх трьох теплопередач теплопровідності, конвекції і випромінювання [125].

Теплопровідність виникає всередині стінок або між декількома шарами (згідно закону Фур'є) з градієнтом температури всередині матеріалу необхідної для теплопередачі. Таким чином, розглядаючи один вимір як напрямок x , а твердий матеріал, для якого k — теплопровідність, тоді для локального теплового градієнта $\frac{dT}{dx}$, теплопровідний потік (q_{cond}) через матеріал можна розрахувати за допомогою рівняння (2.2):

$$q_{cond} = -k \frac{dT}{dx}, \quad (2.2)$$

Тому будемо досліджувати передачу тепла шляхом теплопровідності у салоні в таких місцях, як вікна, стінки кузова, дах, підлога, двері і сидіння.

Конвекція в опалювачах є важливим способом теплообміну для антифризу, як всередині нього, так і при контакті з радіаторами, і це може бути

природна або вимушена конвекція. Враховуючи температуру рідини T_{fluid} і температуру тіла T_{body} , тепловий потік від конвекції q_{conv} в результаті можна обчислити, як показано в рівнянні (2.3), де константа h є величиною коефіцієнту тепловіддачі:

$$q_{conv} = h(T_{fluid} - T_{body}), \quad (2.3)$$

Конвекція в автобусах відбувається за рахунок контакту між поверхнями стінки та рідиною, тобто повітрям всередині і зовні автобуса або дощовою водою (снігом) зовні автобуса. У той час як усередині конвекція має низькі коливання, зовні вона посилюється під час збільшення швидкості автобуса.

На основі закону Стефана–Больцмана для чорного тіла теплове випромінювання енергії можна розрахувати як (2.4):

$$q_{rad}(T) = \varepsilon \sigma T^4, \quad (2.4)$$

де ε – випромінювальна здатність тіла; σ – стала Стефана–Больцмана; T – температура тіла.

Основне радіаційне теплове навантаження на автобус створюється сонцем, і в залежності від погодних умов та пори року може мати великий вплив у теплове навантаження теплового балансу протягом сонячного дня опівдні або це може мати слабкий вплив на нагрівання автобуса під час похмурої та холодної погоди в зимовий день.

Метод теплового балансу є поширеним методом розрахунку теплового балансу в заданому просторі чи зоні [54]. Для оптимального проектування системи опалення всередині автобуса важливо точно визначити теплові навантаження, оскільки недооцінка їх може призвести до теплового дискомфорту, або значно збільшити виробничі та експлуатаційні витрати [126, 127].

Серед основних складових є: кількість теплоти інфільтрованого повітря, теплові втрати через стінки кузова автобуса, тепловиділення від двигуна та пасажирів, а також від електричних акумуляторів (у випадку електробуса).

Необхідно враховувати різні теплові навантаження, а саме як показано на рис. 2.1:

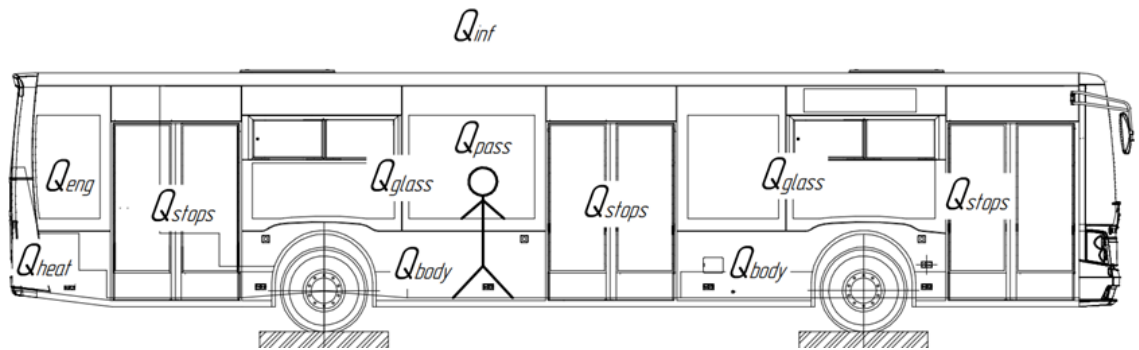


Рисунок 2.1 – Основні складові теплового балансу салону автобуса

При розгляді термодинамічної системи «салон автобуса», складемо рівняння теплового балансу салону та розглянемо його складові [24, 128].

Рівняння теплового балансу салону автобус матиме наступний вигляд (2.5):

$$Q_{heat} = Q_{inf} + Q_{stops} + Q_{body} + Q_{glass} \pm Q_{pass} \pm Q_{eng}, \quad (2.5)$$

де, Q_{heat} – сумарна кількість теплоти, яку має забезпечити автономний опалювач, щоб нагріти салон автобуса; Q_{inf} – кількість тепла, необхідна для нагрівання інфільтрованого повітря; Q_{stops} – теплові втрати, що виникають на службових зупинках при виході і вході пасажирів; Q_{body} – теплові втрати через поверхні кузова автобуса; Q_{glass} – теплові втрати через елементи оскління; Q_{pass} – кількість теплоти, що надходить від пасажирів; Q_{eng} – кількість теплоти, що надходить від ДВЗ через стінки мотовідсіку.

Кількість тепла, необхідну для нагрівання інфільтрованого повітря визначаємо за рівнянням (2.6):

$$Q_{inf} = c_{air} G_{inf} \Delta T \frac{3600 - t_{stops}}{3600}, \quad (2.6)$$

де, c_{air} – теплоємність повітря; G_{inf} – вагове надходження інфільтрованого повітря у салон; ΔT – різниця між зовнішньою та внутрішньою температурами; t_{stops} – загальна тривалість зупинок за годину експлуатації.

Вагове надходження інфільтрованого повітря визначається за (2.7):

$$G_{inf} = \rho_{air} V_{inf}, \quad (2.7)$$

де, ρ_{air} – густина повітря; V_{inf} – об'ємне надходження інфільтрованого повітря у салон.

Тривалість зупинок за одну годину експлуатації визначається за (2.8):

$$t_{stops} = \frac{t_{onestop} S_{bus}}{S_{stop}}, \quad (2.8)$$

де, $t_{onestop}$ – тривалість однієї зупинки; S_{bus} – шлях, пройдений автобусом за одну годину; S_{stop} – розрахункова відстань між зупинками.

Теплові втрати, що виникають на службових зупинках при виході і вході пасажирів визначаємо за (2.9):

$$Q_{stops} = c_{air} n_{doors} G_{door} t_{stops} \Delta T, \quad (2.9)$$

де, n_{door} – кількість дверей автобуса; G_{door} – мінімальна кількість повітря, що надходить через відкриті двері.

Непрозорі стінки кабіни водія автобусів складаються з декількох шарів: металевої обшивки, антикорозійного покриття, термоізоляційного та шумопоглинального шарів та гідроізоляційного плівкового покриття.

Для внутрішнього облицювання міських автобусів використовуються більш якісні шумопоглинальні і теплоізоляційні матеріали та практично відсутні нещільності кузова для проникнення інфільтрованого повітря ззовні. Схема шибки та багатошарової стінки кабіни водія автобуса відповідно показано на рис. 2.2 а і б.

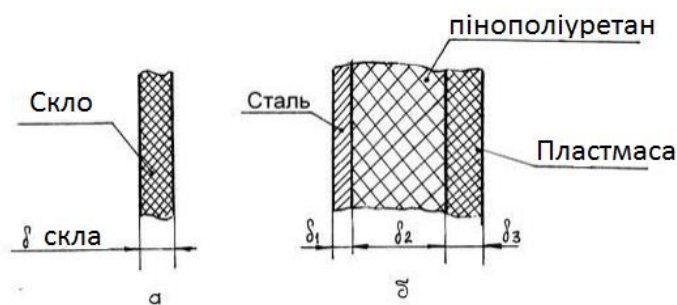


Рисунок 2.2 – Стінки кабіни автобуса: а – шибка; б – багатошарова стінка кабіни водія автобуса

Теплові втрати через поверхні кузова автобуса можна визначити за (2.10):

$$Q_{body} = AK\Delta T, \quad (2.10)$$

де, A – сумарна площа поверхонь кузова автобуса, через яку відбувається теплопередача; K – коефіцієнт теплопередачі поверхонь кузова автобуса.

Коефіцієнт теплопередачі кузова визначаємо за (2.11):

$$K_i = \frac{1}{\frac{1}{a_{inside}} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{a_{outside}}}, \quad (2.11)$$

де, δ_i – товщина шару стінки кузова; λ_i – коефіцієнт теплопровідності матеріалів пакету стінки кузова автобуса; $\alpha_{outside}$, $\alpha_{outside}$ – коефіцієнти теплообміну на внутрішній та зовнішній поверхні стінок кузова автобуса.

Коефіцієнти a_{inside} та $a_{outside}$ визначаємо за (2.12):

$$a_{inside} = 4,9 + 15,1\sqrt{v_{inside}}, \quad a_{outside} = 4,9 + 15,1\sqrt{v_{outside}}, \quad (2.12)$$

де, v_{inside} – середня швидкість руху повітря по салону автобуса; $v_{outside}$ – середня швидкість руху автобуса.

Кількість теплоти, що надходить від пасажирів за (2.13):

$$Q_{pass} = q_{pass} n_{pass}, \quad (2.13)$$

де, q_{pass} – питоме тепло, яке виділяє один пасажир; n_{pass} – кількість пасажирів.

Кількість теплоти, що надходить від двигуна через стінки мотовідсіку визначаємо за (2.14):

$$Q_{eng} = 0,1...0,25(Q_{inf} + Q_{stops} + Q_{body} + Q_{glass} - Q_{pass}), \quad (2.14)$$

Температура на зовнішній поверхні випускного колектора ДВЗ може змінюватися залежно від кількох факторів, включаючи навантаження двигуна, тип КТЗ та матеріал колектора. Температура може коливатись в межах:

1. Холостий хід і низьке навантаження на ДВЗ – 200–300°C.
2. Нормальні робочі умови – 400–800°C. Вихлопні гази всередині колектора значно гарячіші, досягають температури до 1000°C.
3. Високе навантаження або висока продуктивність – 900–1000°C або більше.

За допомогою рівняння 2.15 можна визначити кількість теплоти, яка віддається елементами ДВЗ (випускним колектором та випускною трубою):

$$Q = hA\Delta T, \quad (2.15)$$

де: h – коефіцієнт тепловіддачі матеріалу випускного колектора та труби;
 A – площ поверхонь віддачі теплоти; ΔT – різниця внутрішньої та зовнішньої температури.

Тепловий потік від теплообмінника можна виразити як (2.16):

$$Q = UA\Delta T, \quad (2.16)$$

де UA – параметр матеріалу; ΔT – середня логарифмічна температура.

Середня логарифмічна температура становить (2.17):

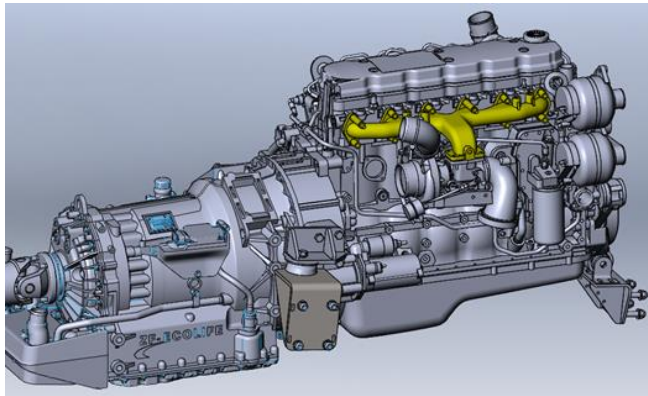
$$\Delta T = \frac{(T_{h2} - T_{c2}) - (T_{h1} - T_{c1})}{\ln[(T_{h2} - T_{c2}) / (T_{h1} - T_{c1})]}, \quad (2.17)$$

де T_{h1} і T_{h2} — температури охолоджувальної рідини, що надходить і виходить з теплообмінника відповідно; T_{c1} і T_{c2} - температура повітря до і після теплообмінника.

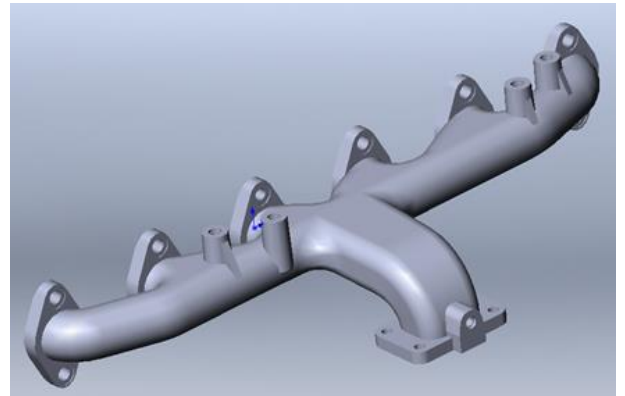
Температура відпрацьованих газів у вихлопній трубі ДВЗ може варіюватись в залежності від різних факторів, таких як тип ДВЗ, його навантаження, обороти, паливо та умови роботи.

Зазвичай температура відпрацьованих газів у вихлопній трубі знаходиться в діапазоні від 400 до 800°C, але в деяких випадках може досягати і до 1000°C, особливо в ДВЗ, що працюють при високих оборотах або великих навантаженнях. ДВЗ, що працюють на бензині, зазвичай мають температуру в межах 400-600°C, тоді як дизельні ДВЗ можуть мати більшу температуру. Під час високих оборотів чи інтенсивної роботи температура може підвищуватись.

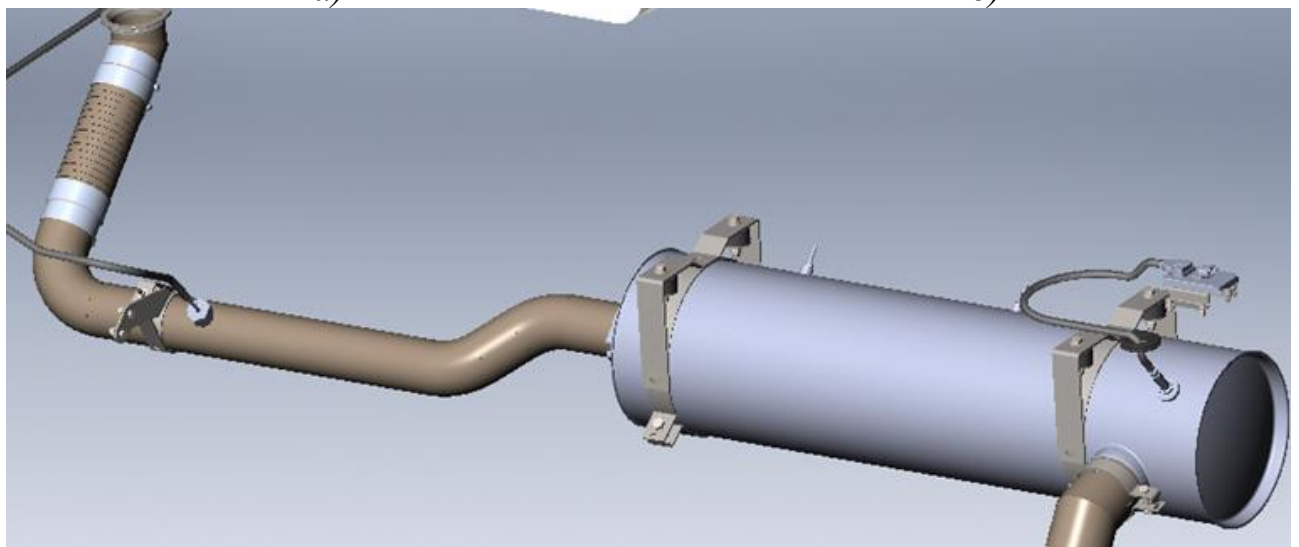
Надалі розглянемо можливість забору теплоти від нагрівання випускного колектора ДВЗ та вихлопної труби на прикладі моделі Cummins Euro5 (рис. 2.3а та б).



а)



б)



в)

Рисунок 2.3 – Елементи випускної системи ДВЗ автобуса: а) силовий агрегат; б) випускний колектор; в) випускна труба із глушником

Визначивши площу випускного колектора, яка становить $0,22 \text{ м}^2$ та випускної труби $0,4 \text{ м}^2$ можна визначити скільки тепла ми можемо забрати для обігріву салону автобуса.

Для того, щоб обчислити кількість теплоти, яка виділяється від вихлопної системи, нам слід використати вже відому формулу по розрахунку конвекції, тоді кількість теплоти, яка виділяється від поверхні випускного колектора становитиме:

$$Q_{\text{кол}} = hA_{\text{кол}}\Delta T_{\text{кол}} = 15...30 \times 0,22 \times 690 = 2,27...4,55 \text{ кВт}$$

кількість теплоти, яка виділяється від поверхні випускного тракту становитиме:

$$Q_{\text{тр}} = hA_{\text{тр}}\Delta T_{\text{тр}} = 15...30 \times 0,4 \times 290 = 1,74...3,48 \text{ кВт}$$

де: $h = 15...30 \text{ Вт/м}^2\cdot^\circ\text{С}$ – коефіцієнт тепловіддачі конвекції; $A_{\text{кол}} = 0,22 \text{ м}^2$; $A_{\text{тр}} = 0,4 \text{ м}^2$ – площа поверхні віддачі випускного колектора та вихлопного тракту; $\Delta T_{\text{кол}} = 690 \text{ К}$; $\Delta T_{\text{тр}} = 590$ – різниця температур між поверхнею та навколишнім середовищем.

Отже, загалом кількість теплоти становитиме:

$$Q_{\text{ДВЗ}} = Q_{\text{кол}} + Q_{\text{тр}} = 2,27...4,55 + 1,74...3,48 = 4,01...8,03 \text{ кВт}$$

На рис. 2.4 наведено залежність кількості теплоти, яку можливо отримати за рахунок різниці температури між мотовідсіком та салоном. Отриманої кількості теплоти від площі.

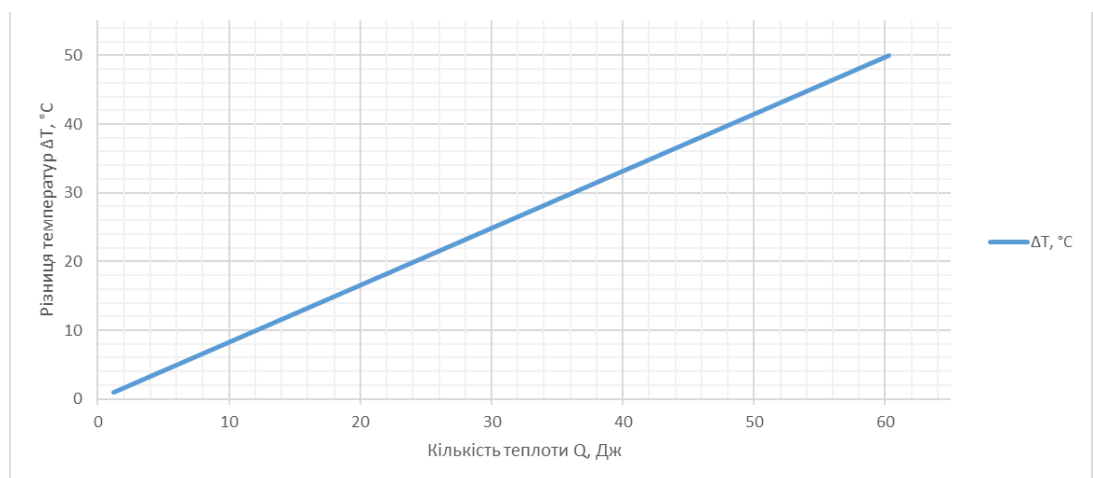


Рисунок 2.4 – Залежність кількості теплоти, яку можливо отримати за рахунок різниці температури між мотовідсіком та салоном

Отже, як показують розрахунки теплоти, в середньому можна зняти теплоту еквівалентну 1...2 опалювача салонного, що дасть можливість позбутись частини існуючих опалювачів в пасажирському салоні автобуса.

Для моделювання термодинамічної системи «салон автобуса» розглянемо особливості побудови відповідної фізичної моделі White / Black Box [76]. У першому випадку необхідно мати всі параметри для рівнянь цієї системи. Для моделювання White-Box частина рівнянь є з інтерполяційними коефіцієнтами. Наприклад, це стосується рівняння (2.18):

$$Q = mc_p(T_2 - T_1), \quad (2.18)$$

Прикладом труднощів є те, що потрібно використати цей вираз для обчислення підвищення температури повітря, коли додається тепло. У повітрі є певна кількість вологості. Це означає, що якщо ми додаємо теплоту, то частина цього тепла підвищить температуру вологості в цьому повітрі. Вода має більшу теплоємність, ніж повітря, тому підвищення температури буде не таким значним як це було б, якби повітря було сухим.

Black-Box-моделювання дає кращу відповідність між моделлю та вимірними даними і зазвичай є сукупністю певних модельних структур, які працюють для багатьох різних типів систем, а параметри оцінюються за допомогою методу найменших квадратів. Тому застосуємо ARX-структуру, де вихід $y(t)$ є сумою входів $u(t)$ з певних кількостей часових кроків. Це означає, що структура моделі дещо відрізняється від структури моделі просторових станів. ARX-модель має структуру в дискретному часі (2.19):

$$A(q)y(t) = B(q)u(t - nk) + e(t), \quad (2.19)$$

де $y(t)$ – функція виходу; $u(t)$ – функція входу.

$$\begin{aligned} A(q) &= 1 + a_1 q^{-1} + \dots + a_{na} q^{-na} \\ B(q) &= b_1 + b_2 q^{-1} + \dots + b_{nb} q^{-nb} \end{aligned} \quad (2.20)$$

Оператор q_i - це лаговий оператор. Виходить, що $q^i u(t_k) = u(t_{k+i})$. Параметри na , nb та nk визначають порядок моделі. Параметри a_i та b_i оцінюються методом найменших квадратів.

Для моделі простору станів оцінюємо вектор параметрів θ у (2.21):

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= A(\theta)x(t) + B(\theta)u(t) \\ y(t) &= C(\theta)x(t) + D(\theta)u(t) \end{aligned} \quad (2.21)$$

Оскільки кузов ТЗ є відкритою термодинамічною системою, яка обмінюється з навколишнім середовищем енергією у вигляді теплоти, то для підтримання системи в стаціонарному нерівноважному стані внаслідок незворотності процесів, що протікають, система обмінюється ентропією з навколишнім середовищем. Тому структуру моделі просторового стану салону КТЗ слід будувати на основі другого закону термодинаміки, для якого всі форми енергії складаються із ексергії та анергії.

2.1.2. Ексергетичний аналіз салону автобуса

Ексергія і анергія при зворотних і незворотних процесах дозволяє, згідно другого закону термодинаміки, сформулювати для термодинамічної системи, яка розглядається, наступне: коли у всіх незворотних процесах ексергія перетворюється в анергію повністю або частково, у всіх процесах сума ексергії і анергії залишається постійною та ексергія залишається постійною тільки при зворотних процесах.

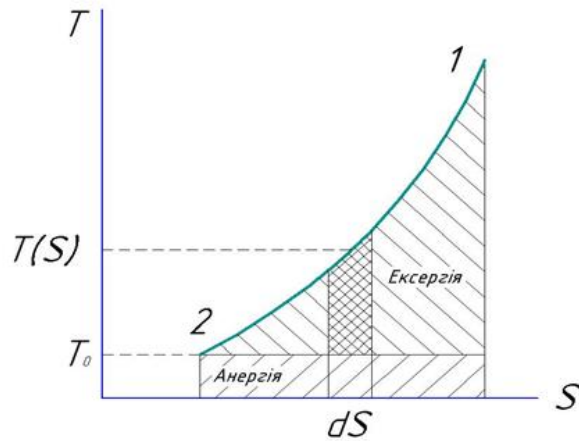


Рисунок 2.5 – Графік визначення ексергії: T – температура, S – ентропія

В нашому випадку під термодинамічним середовищем розуміємо салон автобуса всередині і зовні. Граничні умови закладаються при початковій температурі в салоні рівній температурі навколишнього середовища і розглядаємо випадок, коли потрібно нагріти салон після тривалої стоянки автобуса при низькій температурі. Графік ексергії салону автобуса наведено на рис. 2.5.

В даному випадку розглядається простий випадок нагріву (крива 2-1) робочого тіла постійної маси, причому початкова температура співпадає із температурою навколишнього середовища T_0 . Ексергію процесу можна знайти, виділивши елементарну зміну ентропії dS та виконавши інтегрування для всього інтервалу температур. Ексергії процесу відповідають площі фігури T_0 — 1— S — T_0 під кривою нагріву / охолодження.

Втрати ексергії внаслідок різниці температур визначаємо за (2.22) [129]:

$$D_{\Delta T} = T_0 \Delta S_{\Delta T} = T_0 Q \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right), \quad (2.22)$$

де T_0 – температура навколишнього середовища; T_1 та T_2 – початкова та кінцева температура салону автобуса; Q – теплоємність потрібна для повного нагрівання салону автобуса.

Питому ексергію потоку повітря в салоні автобуса визначаємо за (2.23):

$$ex = c_p (T_2 - T_1) - T_0 \left(c_p \ln \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{p_2}{p_1} \right), \quad (2.23)$$

де c_p – питома теплота повітря; $p_1 = p_2 = 101\,325$ Па – тиски зовнішнього та внутрішнього середовища; R – постійна газова стала.

Результуюча ексергія становить (2.24):

$$Ex = Gex, \quad (2.24)$$

де G – кількість інфільтрованого повітря в салоні.

Визначення максимального значення ексергії (2.25):

$$Ex_{\max} = Q - T_1 \frac{Q}{T_2 - T_1} \ln \frac{T_2}{T_1}, \quad (2.25)$$

Ексергетичний ККД — це відношення фактично виконаної роботи до її максимально можливого значення, тобто до ексергії досліджуваного процесу. Якщо звичайний енергетичний ККД показує степінь корисного використання енергії і дозволяє порівняти по цьому показнику теплові машини, то ексергетичний ККД характеризує ефективність використання енергії (термодинамічна досконалість процесу) і відповідає на питання теоретичної можливості і практичної цілеспрямованості підвищення ефективності теплової машини: в порівнянні невеликого значення енергетичного ККД може відповідати близьке до 100 % [60] значення ексергетичного ККД, коли дальніше підвищення енергетичного ККД неможливе із-за обмежень, трактованих законами термодинаміки. Значне відхилення ексергетичного ККД від одиниці показує наявність принципово ліквідованих втрат ексергії, зменшення котрих можливо при більш раціональному проведенні процесів.

Значення ККД ексергії можна визначити за (2.26).

$$\eta_{ex} = \frac{Ex}{Ex + D_{\Delta T}}, \quad (2.26)$$

2.1.3. Параметри комфортності мікроклімату

Система терморегуляції в організмі людини підтримує температуру тіла в безпечних межах, уникаючи гіпертермії або гіпотермії, які можуть спричинити різні проблеми зі здоров'ям. Центр, який контролює різні фізіологічні процеси, розташований у гіпоталамусі, і він підтримує температуру навколо значення, визначеного як функція швидкості метаболізму зазвичай від 36,8 до 37,9 °С для високоактивної людини.

Основними факторами комфорту автомобіля є: вібрація, шум, тепловий комфорт (температура), якість повітря, освітленість та ергономіка. При аналізі комфортності поїздки слід враховувати три класи факторів: організаційні, конструкційні та експлуатаційні.

Комфорт при експлуатації КТЗ на маршруті можна аналізувати за трьома різними аспектами: динамічні фактори (вібрації, удари та прискорення), фактори навколишнього середовища (тепловий комфорт, якість повітря, шум, градієнти тиску...) і фактори, що стосуються ергономіки положення пасажирів або/чи водія.

Пасажир піддається впливу різних вібрацій, що поширюються на все тіло з різних джерел. Вібрація всього тіла виникає, коли тіло людини (стоячи, лежачи або сидячи) контактує з вібраційною поверхнею. Коливання в діапазоні частот від 1 до 80 Гц, а іноді і вище в існуючих стандартах називають вібраціями. Для більш високих частот організм людини стає все менш чутливим. Є визначено часові межі впливу на організм людини певного вібраційного навантаження з урахуванням трьох критеріїв: збереження комфорту, збереження працездатності, збереження здоров'я та безпеки.

Для пасажирів ТЗ розглядаються два діапазони частот: 0,5–80 Гц для здоров'я, комфорту та сприйняття; і менше 1,0 Гц для заколисування. Дослідження впливу вібрації на організм людини має враховувати, що воно складається з різних частин і реагує по-різному.

На рис. 2.4 зображено біомеханічну модель людського тіла, в якій кожна частина має еквівалентну масу, пружні та демпфуючі елементи і вказано власні частоти різних частин відповідно. Система координат людського тіла застосовується для трьох різних положень (сидячи, стоячи та лежачи) для оцінки впливу вібрації на все тіло людини, а також частоти та вагових коефіцієнтів, що використовуються для коригування розрахункових значень еквівалентного прискорення a_{eq} для людського сприйняття.

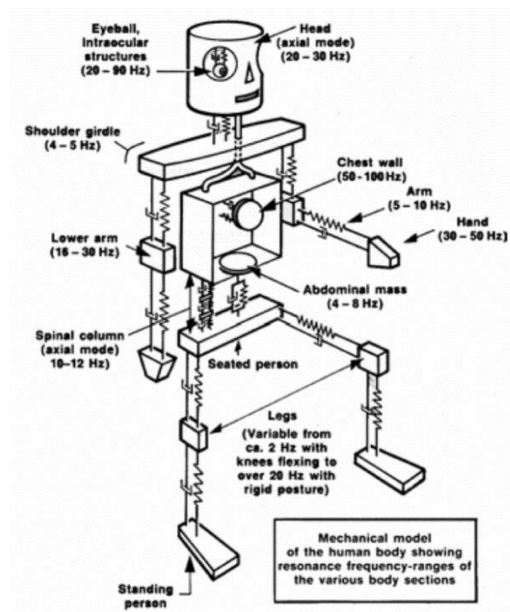


Рисунок 2.6 – Біомеханічна модель людського тіла [130]

Чутливість людського тіла до вібрації відрізняється в трьох просторових напрямках, і це враховується при розрахунку a_{SUM} , загального дескриптора вібрації (2.27):

$$a_{SUM} = (1,4a_x)^2 + (1,4a_y)^2 + (a_z)^2, \quad (2.27)$$

Індекс під назвою *SEAT*, який оцінює характеристики автомобільних сидінь – це співвідношення дискомфорту, який відчуває пасажир на сидінні в ТЗ, що не рухається, і дискомфорту, який відчувався б, якби сидіння було жорстким, у діапазоні частот вібрації.

$$SEAT = 100 \sqrt{\frac{\int G_{ss} W^2 d\omega}{\int G_{ff} W^2 d\omega}}, \quad (2.28)$$

де: G_{ss} – спектральна щільність потужності прискорення, виміряна на сидінні; G_{ff} – спектральна щільність потужності прискорення, виміряна на підлозі; W – ваговий коефіцієнт збурювання, що сприймається людиною, для відносної осі вібрації.

Зазвичай частоти від 20 Гц до 20 кГц – це коливання тиску повітря з часом навколо середнього значення, що відповідає місцевому атмосферному тиску на вуха людини у фіксованому положенні.

Таким чином на ступінь теплового комфорту людини впливають шість параметрів (рис. 2.5).

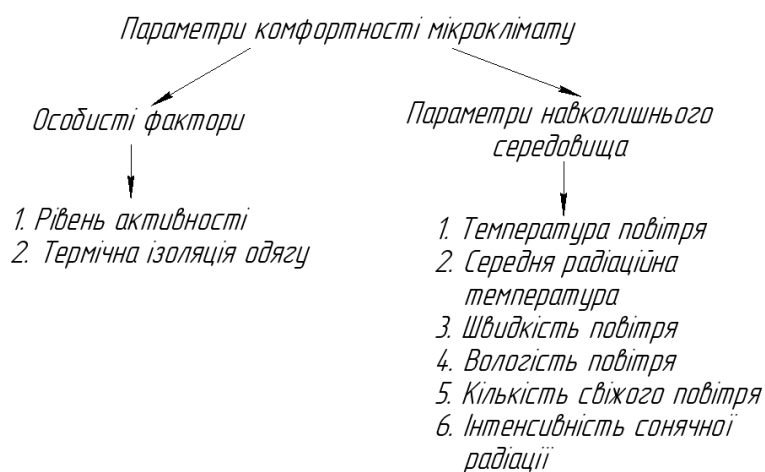


Рисунок 2.7 – Параметри мікрокліматичної комфортності*

*узагальнено автором

Як бачимо з рис. 2.7 на комфортність перевезень впливають не тільки температура, швидкість та вологість повітря, а і рівень активності пасажирів та тип його одягу (термічна ізоляція одягу), а також, крім цього ще впливають кількість свіжого повітря в салоні автобуса та інтенсивність сонячної радіації.

2.2. Особливості теплообміну салону автобуса на основі циркуляції повітряних мас

Якість повітря в салоні автобуса є однією з головних складових самого поняття комфортності перевезень. Дослідження показують, що не відповідна якість повітря може призвести до різних проблем, таких як втома, головний біль, кашель, нежить і нудота. Це може бути наслідком високого рівня вуглекислого газу CO_2 в повітрі салону, який виникає в результаті викидів автобуса, а також з дихальних шляхів самих пасажирів.

Одним з основних факторів, який впливає на якість повітря в салоні автобуса, є система вентиляції. Недостатньою вентиляцією можна викликати появу запахів, відчуття задущливості та перенасичення повітря в салоні, тощо. У той же час, занадто потужна вентиляція може створювати надмірний шум, який також впливає на комфорт пасажирів. Важливою складовою якості повітря в салоні є вологість. Низький рівень вологості може спричинити сухість в очах та шкірі, тоді як високий рівень вологості може викликати відчуття задухи та незручності. Оптимальний рівень вологості в салоні автобуса повинен бути в діапазоні від 40 до 60%. Нижче наведено ключові показники мікроклімату автобуса та методи їх визначення [12].

Вміст вуглекислого газу CO_2 в салоні автобуса розраховується за формулою (2.29):

$$CO_2 = \frac{V \frac{F_{CO_2}}{F_{air}}}{1 + V \frac{F_{CO_2}}{F_{air}}} \cdot \frac{F_{air}}{V_0 \times C_a}, \quad (2.29)$$

де: CO_2 – вміст вуглекислого газу в салоні автобуса; V – об'єм повітря, що пройшов через салон за годину; F_{CO_2} та F_{air} – об'єми витрат CO_2 та повітря відповідно; V_0 – об'єм салону автобуса; C_a – концентрація CO_2 в зовнішньому повітрі.

За даними ЕПА США, ця концентрація зазвичай становить близько 400 ppm (parts per million) або 0.04%. Тобто, $C_a = 0.0004$.

Рівень витрати повітря в салоні автобуса F_{CO_2} може бути виміряний з використанням датчиків, що встановлюються в системі вентиляції салону. $F_{CO_2} = 22$ л/людина/год (за припущенням, що кожен пасажир видихає 22 л CO_2 за годину).

Рівень витрати повітря на зовнішній стороні автобуса F_{air} може бути визначений шляхом вимірювання вітрової швидкості та площі вентиляційних отворів на зовнішній стороні автобуса. $F_{air} = 500$ л/людина/год (за припущенням, що кожен пасажир вдихає близько 500 л повітря за годину).

Якщо значення вмісту CO_2 в салоні автобуса перевищує рекомендований рівень (більше 1000 ppm), то це може призвести до зниження концентрації кисню та збільшення ризику виникнення симптомів дискомфорту та погіршення здоров'я пасажирів. Щоб запобігти цьому, необхідно забезпечувати ефективну вентиляцію та зменшувати витрати CO_2 шляхом використання більш екологічних палив та енергозберігаючих технологій.

Для розрахунку ppm (parts per million) необхідно знати об'ємну частку CO_2 у повітрі. Це можна знайти, поділивши кількість CO_2 в міліграмах на загальний об'єм повітря в мілілітрах, і помноживши на мільйон. Отже, для розрахунку ppm визначаємо кількість CO_2 в міліграмах у повітря (2.30):

$$ppm_{CO_2} = \left(\frac{CO_2}{31900000} \right) \times 10^6, \quad (2.30)$$

При розрахунку рівняння (2.29) приймаємо значення CO_2 , яке базується на 6-кратній оновлюваності повітря в салоні ($V=6264 \text{ м}^3/\text{год}$). Згідно стандарту EN 13779: 2007 при такій кратності повітря пасажери будуть себе нормально почувати протягом поїздки.

Наступним показником, що впливає на комфортність перевезень є вологість. Найпоширенішим методом вимірювання вологості є використання гігрометра, який вимірює точку роси - це температура, при якій волога в повітрі починає конденсуватися. Однак, вологість може бути також розрахована за допомогою формул, що використовуються в метеорології. Нижче наведено дві найпоширеніші формули для її розрахунку:

- абсолютна вологість (A_B) – це маса водяної пари в одиниці об'єму повітря (2.31):

$$A_B = \frac{PH}{RT}, \quad (2.31)$$

де: P – тиск повітря; H – вологість повітря; R – універсальна газова стала; T – температура.

- відносна вологість (B_B) – це відношення маси водяної пари в повітрі до максимальної маси водяної пари, яку може містити повітря при даній температурі (2.32):

$$B_B = \frac{A_B}{A_{B_{\max}}} \times 100\%, \quad (2.32)$$

де: $A_{B_{\max}}$ - максимальна абсолютна вологість при даній температурі.

Отже, для розрахунку вологості в салоні автобуса можуть бути використані наведені формули, що базуються на параметрах тиску,

температури та вологості повітря. Проте, для більш точного реального вимірювання вологості рекомендується використовувати спеціальні прилади, наприклад, гігрометри. Також для розрахунку вологості в повітрі можна використовувати формулу абсолютної вологості (2.33):

$$W = \frac{622p \frac{H}{100}}{RT}, \quad (2.33)$$

де: 622 – молекулярна маса водяної пари (18.01528 г/моль) поділена на молекулярну масу сухого повітря (28.966 г/моль) (число виникає при переведенні вологості повітря з масової частки у молярну концентрацію);

W – абсолютна вологість; p – атмосферний тиск; H – відносна вологість; R – газова стала; T – температура.

Ця формула дозволяє розрахувати кількість водяної пари у повітрі на основі відносної вологості та температури.

Відтак, значення вологості повітря в салоні можна визначити за таким рівнянням (2.34):

$$V = \frac{18,02 \times 10^{-3} \times P_w \times 1000}{R(T + 273,15)}, \quad (2.34)$$

де: M_{air} – молярна маса повітря в кілограмах на моль; V – об'ємна концентрація водяної пари; P_w – частковий тиск водяної пари;

Для розрахунку P_w можна використати наступну формулу (2.35):

$$P_w = \frac{Wp}{0,622 + 0,378W}, \quad (2.35)$$

де: p , W були визначені у (2.33) та залежать від кліматичних та погодних умов, особливостей експлуатації автобусу.

Визначення повітрообміну за вуглекислим газом (2.36):

$$G_{\Pi} = \frac{\rho V_{CO_2}}{B_{ГДК} - B_{\Pi}}, \quad (2.36)$$

де V_{CO_2} – кількість CO_2 , що виділяється; $B_{ГДК}$ – гранично допустима концентрація CO_2 в салоні; B_{Π} – вміст CO_2 в припливному повітрі.

$$V_{CO_2} = v_{CO_2} N, \quad (2.37)$$

де v_{CO_2} – питомі виділення CO_2 від однієї людини; N – кількість пасажирів в автобусі.

Визначення повітрообміну за нормованою кратністю (2.38):

$$G_{\Pi} = \frac{3\rho K_{pmin} V_c}{H}, \quad (2.38)$$

де K_{pmin} – мінімальна кратність повітрообміну; V_c – об'єм салону автобуса. Об'єм салону розраховуємо за формулою (2.39):

$$V_c = k_c LBH, \quad (2.39)$$

де L, B, H – довжина, ширина та висота салону відповідно; k_c – коефіцієнт наповненості салону, приймається в межах 0,75...0,9.

Визначення надлишкового наявного тепла (2.40):

$$G_{\Pi} = \frac{3,6Q_{\text{я}}}{c_{en}(t_g - t_n)}, \quad (2.40)$$

де $Q_{я}$ – надлишки явного тепла у приміщенні; c_{cp} – питома теплоємність сухого повітря.

$$Q_{я} = q_{я} N , \quad (2.41)$$

де $q_{я}$ – питоме виділення наявного тепла.

Визначення надлишкового повного тепла (2.42):

$$G_{\Pi} = \frac{3,6Q_{\Pi}}{I_B - I_{\Pi}} , \quad (2.42)$$

де Q_{Π} – загальні теплонадходження повного тепла; I_B, I_{Π} – ентальпія повітря, що виділяється та припливає.

$$Q_{\Pi} = q_{\Pi} N , \quad (2.43)$$

де q_{Π} – питоме виділення надлишкового тепла.

Визначення надлишкової вологи (2.44):

$$G_{\Pi} = \frac{M_W}{d_{\epsilon} - d_{\Pi}} , \quad (2.44)$$

де M_W – надлишки вологи у приміщенні; d_{ϵ}, d_{Π} – вологовміст повітря, що видаляється та припливного.

$$M_W = m_W N , \quad (2.45)$$

де m_W – питоме нахождення вологи від людини.

Визначення вологовмісту повітря (2.46):

$$d_s = 622 \frac{P_{II}}{P_6 - P_{II}}, \quad d_n = 622 \frac{P_{II}}{P_6 - P_{II}}, \quad (2.46)$$

де P_{II} , P_6 – барометричний тиск.

2.3. Конструктивні особливості систем опалення та повітрообміну різних типів автобусів

2.3.1. Системи опалення автобусів

Розвиток сучасного автобусобудування сфокусовано в першу чергу на забезпеченні достатньо великого об'єму пасажиропотоку у середніх та великих містах, чим і продиктована поява відносно нових для України типів кузовів автобусів, як Low-floor чи Low-entry.

Розглянувши існуючі компоновки двигунів таких міських автобусів, можна констатувати, що найбільш популярним є розташування двигуна автобуса в задньому звісі [131] зі зміщенням вліво. Деякі моделі таких автобусів, які виготовляються та є популярними у країнах східної Європи, наведено у додатку А.

Далі слід проаналізувати різні типи автобусів, щодо компоновки двигуна, адже залежно від розташування силового агрегату залежить внутрішня компоновка того чи іншого автобуса (див. додаток Б).

Передньомоторне компонування є притаманне автобусам малих габаритів та мікроавтобусам. Компонування такого типу може бути двох типів, із розташуванням мотовідсіку в салоні автобуса спереду над передньою віссю. Зазвичай при такій компоновці водій має вбудовані власні окремі двері. Автобуси такого типу можна побачити на вулицях українських міст, так звані «маршрутки». Або з капотною компоновкою, які характерні для деяких марок автобусів, що експлуатуються в США чи країнах Південної Америки. Найбільш поширеним таким варіантом автобусів великого класу є американські

шкільні автобуси, які виготовляються по сьогодні. В більшості міст світу передньокапотні автобуси можна зустріти у вигляді мікроавтобусів чи малих автобусів виготовлених на шасі типу Mercedes Sprinter, Vario та т.п. При передньомоторній компоновці тепле повітря потрібно подавати у напрямку руху.

Середньомоторне компонування є теж сьогодні мало популярним, навіть менш популярним ніж передньомоторне, та є характерним виключно для деяких виробників (Volvo, Van Hool, MAZ). Таке компонування двигуна існує двох типів при розміщенні двигуна під підлогою та вертикально у спеціальній шафі. При розміщенні двигуна під підлогою стає неможливим виконання салону 100 %-во з низькою підлогою, а при розташуванні двигуна вертикально, який встановлюють в місцях де зазвичай є накопичувальна площадка, втрачаються стоячі місця для пасажирів, які могли би знаходитись там уразі наявності накопичувальної площадки, але за такої схеми можливо забезпечити 100 % низький рівень підлоги, тому такий тип компонування навіть як виготовляють, то хіба що, здебільшого у двох- чи трьохсекційних автобусах. Тепле повітря слід подавати при середньомоторному компонуванні у напрямку і проти руху автобуса.

В основному найбільш популярним є задньомоторне компонування. Може бути два варіанти, коли двигун є під задніми сидіннями або коли двигун є розміщений вертикально в спеціальній шафі, яка є зміщена вліво. При розміщенні двигуна під сидіннями в принципі неможливо зробити 100% - не низьке підлогове виконання, а при розташуванні двигуна зміщеного в шафі ззаду виникає проблема втрати декількох сидячих місцях, але є можливість 100 %-го виконання низько підлогового автобуса. При такому компонуванні тепле повітря в системі опалення автобуса слід подавати в протилежну сторону рухові.

Для автобусів обладнаних системою кондиціонування подача повітря в салоні залежить від місця де розміщено кондиціонер. На рис. 2.6 наведено різні

типи мікрокліматичних установок, які застосовуються на різних типах міських автобусів.

В громадському транспорті здебільшого застосовуються системи опалення рідинного типу, оскільки вони забезпечують оптимальну температуру в салоні. Також важливою функцією такої системи опалення є простота обслуговування та можливість при експлуатації підтримання оптимальної температури охолоджуючої рідини перед пуском двигуна. Суть роботи системи рідинного опалення полягає у виробленні тепла в підігрівачі, після цього підігрівається теплоносії і він розподіляється в мале коло обігріву, яке обігріває ДВЗ, салон та робоче місце водія (рис. 2.8). Така система може працювати в трьох режимах: додаткового опалення, опалення при стоянці та економний режим.

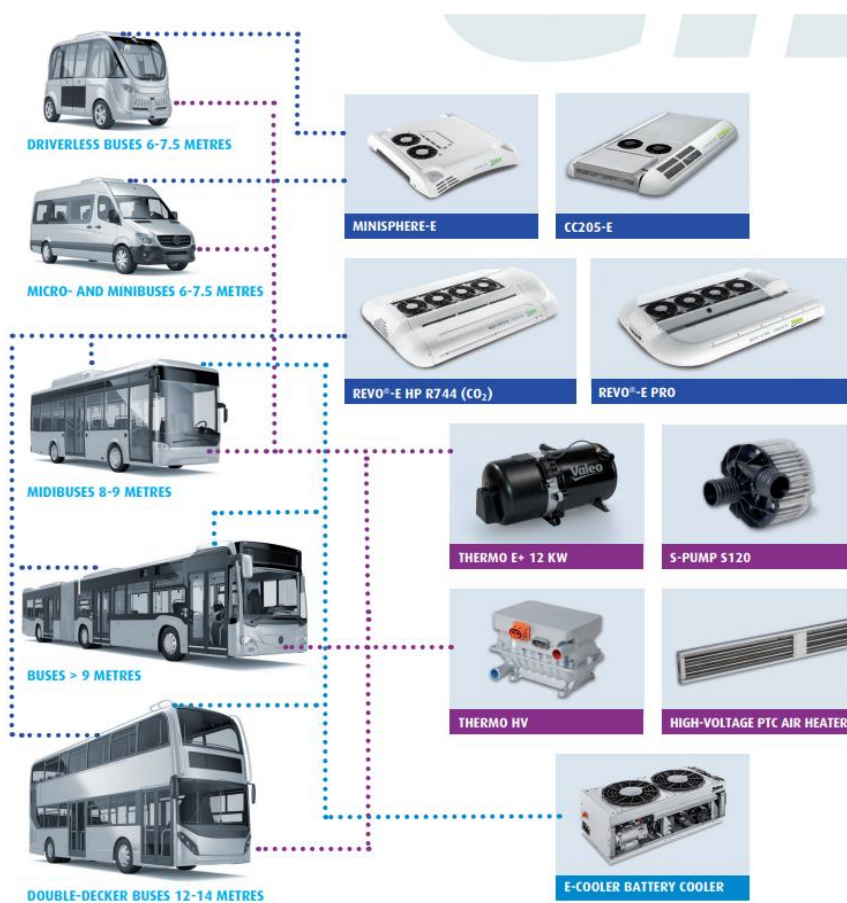


Рисунок 2.8 – Кліматичні установки, що застосовуються на різних типах автобусів

Принципова схема типової системи опалення міського автобуса наведена на рис. 2.9, де зображено автономний обігрівач (більш детальні технічні характеристики наведено у додатку В), салонну пічку та конвектор. Автономні обігрівачі можуть працювати, як від двигуна, так і автономно. Вони під'єднуються до системи охолодження двигуна, системи подачі палива та до системи електрообладнання. Їх зазвичай встановлюють в задній частині автобуса в мотовідсіку. Під час згоряння палива в камері згоряння котла утворюється тепло. Через теплообмінник системи опалення тепло надходить в контур охолодження. Завдяки сигналам датчика температури, електронний блок управління регулює вмикання та вимикання пальника.

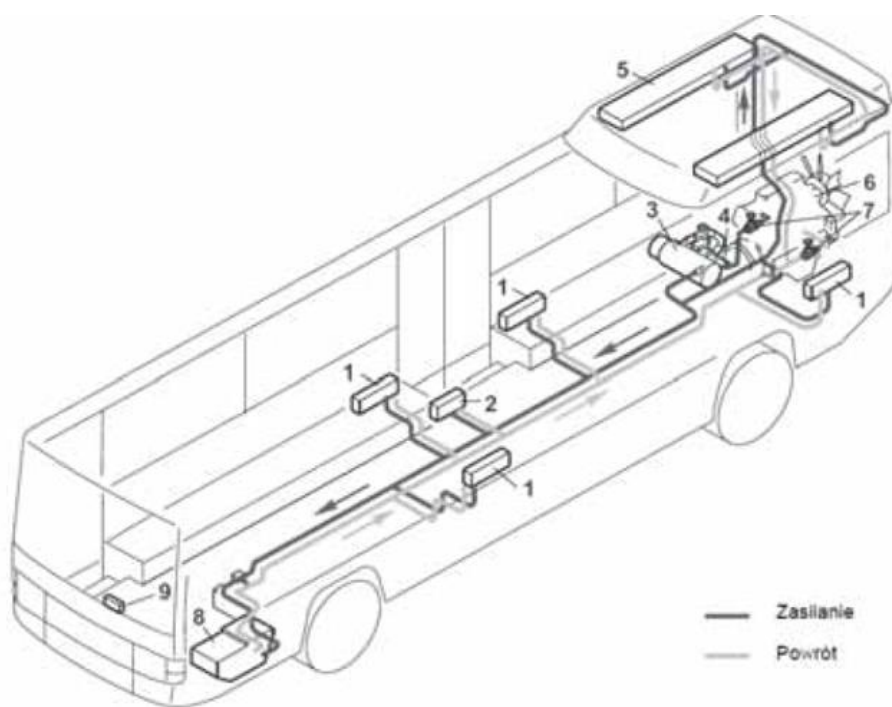


Рисунок 2.9 – Схема типової рідинної системи опалення автобуса:
 1 – Настінні обігрівачі з повітрорудкою; 2 – Впускний теплообмінник; 3 – Опалювач; 4 – Циркуляційна помпа; 5 – Даховий теплообмінник; 6 – ДВЗ;
 7 – Запірний клапан; 8 – Обігрів місця водія; 9 – Пристрій керування

У рідинній системі опалення джерелом живлення є опалювач (котел), а опалювачами є так звані пічки та конвектори (див. рис. 2.10).



а)



б)



в)

Рисунок 2.10 – Автобусні салонні опалювачі: а) автономний опалювач; б) салонна пічка; в) конвектор

Система HydroHot — це модуль, який розміщуватиметься там само, що й традиційний водонагрівач, тому його можна модернізувати в існуючих КТЗ, хоча для підключення до радіаторів знадобиться більша кількість комплектуючих. HydroHot має 3 зонну систему нагріву. Це означає, що на ньому можна встановити одну температуру в передній частині автобуса, а в задній — іншу. Котел увімкнеться, і відповідний електромагнітний клапан відкриється, дозволяючи гарячій воді надходити до відповідних радіаторів, а потім увімкнуться відповідні вентилятори. Даний опалювач також має функцію обігріву багажного відділення автобуса. Технічні характеристики такого опалювача наведено в додатку В.

Опалювач Hydro-Hot використовує електричну енергію від бортової сітки автобуса, щоб ще більше заощадити паливо. Електричний нагрівальний елемент може не забезпечити достатньо тепла, але за потреби опалювач можна ввімкнути лише на час нагріву. Це залежатиме від кількості води, яка використовується, і від того, наскільки гарячою вона має бути. При споживанні великої кількості гарячої води HydroHot тимчасово зупиняє систему опалення на цей час, щоб зосередити всю свою енергію на нагріванні води. Коли потік води припиниться, система опалення автоматично перезапускається.

2.3.2. Системи вентиляції автобусів

Системи вентиляції (повітрообміну) салону автобуса є здебільшого природніми, припливно-витяжними. Є наявні розсувні кватирки у вікнах салону та вентиляційні люки на даху (рис. 2.11а та 2.11б), а також на деяких моделях автобусів застосовуються спеціальні витяжні вентилятори (рис. 2.11б).

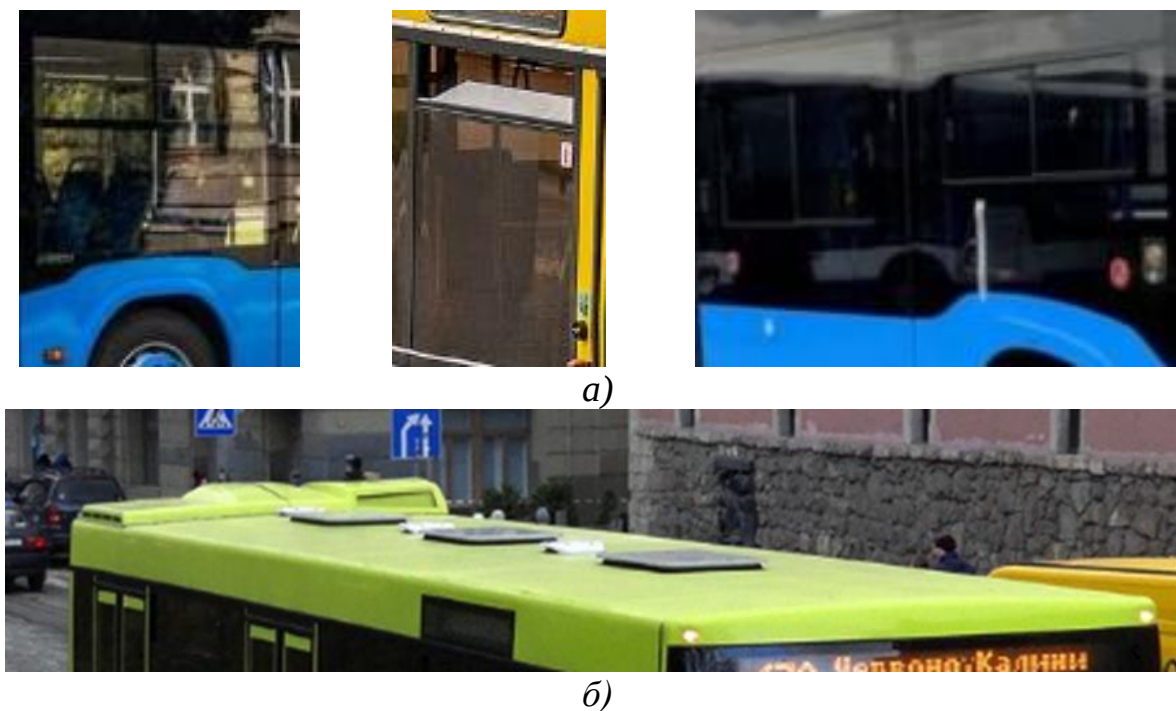


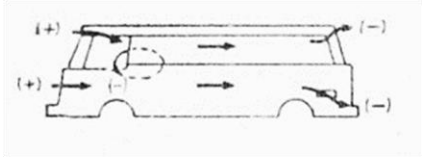
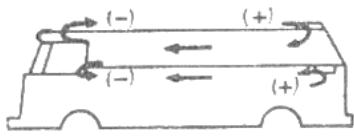
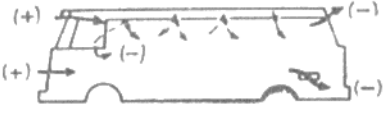
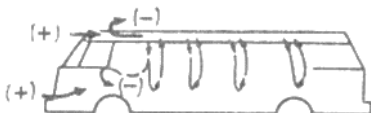
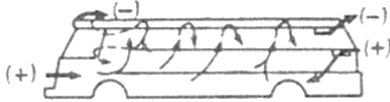
Рисунок 2.11 – Елементи системи вентиляції салону автобуса: а) віконні; б) дахові

Як видно із рис. 2.11, два основні типи кватирок, а саме: відсувні та відкидні. Вентиляційні люки здебільшого застосовуються однакового типу та встановлюються на даху автобуса у кількості 2...3 шт. на автобус 10...13 м. витяжні вентилятори зазвичай розміщуються в даху автобуса та його частині над кабіною водія (якщо вона є закрыта від салону). Такі вентилятори можуть бути як автоматичні, так і механічні.

У таблиці 2.1 наведено різні типи систем вентиляції автобусів та наведено їх переваги та недоліки.

Таблиця 2.1

Типи систем вентиляції автобусів

Система вентиляції	Ескіз	Переваги та недоліки
Вільне продування потоком зустрічного повітря		Важко регулювати інтенсивність обміну повітря, можливість утворення протягів при відкриванні в різних комбінаціях вікон та вентиляційних люків на даху; втрата ефективності при відкриванні вікна навпроти сидіння водія
Вільне продування кузова повітрям в напрямку від задньої стінки кузова до передньої		Ефективність зберігається також і при відкриванні вікна навпроти сидіння водія, змінюється лише інтенсивність обміну повітря
Повітряні проводи в даху з вихідними патрубками		Рівномірність розподілу повітря по салону. Найбільш сприятливий для пасажирів спосіб подачі свіжого повітря («повітряний душ»). Інтенсивність обміну повітря зазвичай помірна; при відкриванні вікна навпроти сидіння водія ефективність вентиляції значно знижується
Повітряні проводи в даху з відкритими вихідними отворами (без патрубків)		Хороша рівномірність обміну повітря залежить від параметрів отворів для виходу повітря із салону
Повітропроводи, які підводять та відводять повітря в даху з вихідними патрубками		Дуже висока рівномірність обміну повітря в салоні. Відсутність протягів. При відкриванні вікна навпроти сидіння водія ефективність вентиляції знижується
Повітропроводи в бокових стінках кузова		Хороша рівномірність обміну повітря в салоні. Висока кратність обміну повітря. При задньому розположенні отворів для виходу повітря ефективність вентиляції значно знижується при відкриванні вікна навпроти сидіння водія

На рис. 2.12 показано процес вентиляції салону автобусів різних типів.

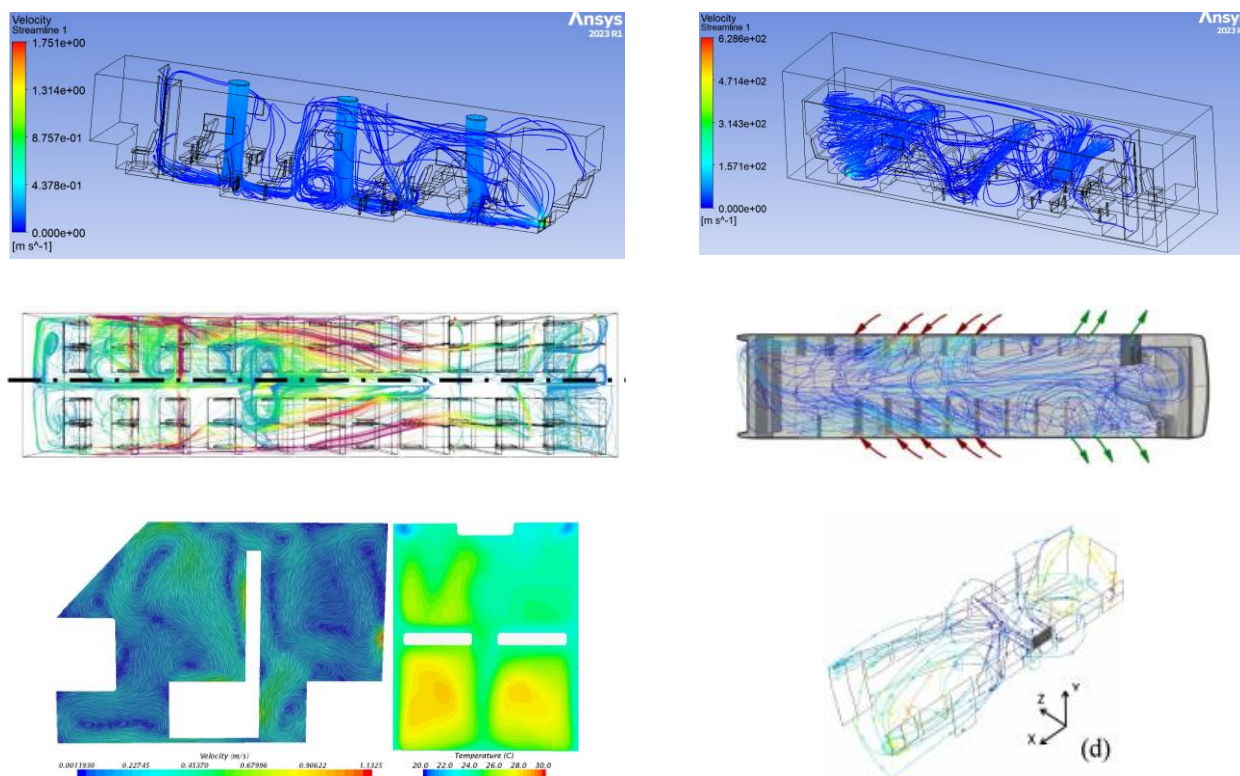


Рисунок 2.12 – Вентиляція салонів автобусів різних типів

Для кращого забезпечення подачі повітря в салон використовується вентилятор осьового, радіального, діаметрального, діагонального або іншого типу. На сьогодні найбільш розповсюдженими є двоконсольні радіальні вентилятори, оскільки вони мають відносно малі розміри та велику продуктивність. Для приводу вентилятора застосовують електродвигуни постійного струму. Більш детально різні типи вентиляторів наведено на рис. 2.13.

випадку працює як радіальний вентилятор), а також в площині обертання робочого колеса утворює поперечний потік повітря, який під тиском надходить у випускний канал. Завдяки подвійному проходженню повітряного потоку через решітку робочого колеса такий тип вентилятора створює більш високвищий тиск, ніж осьовий.

Найбільш розповсюдженим в КТЗ є радіальні двоконсольні вентилятори з двостороннім всмоктуванням (рис.2.13е). Такий вентилятор має робоче колесо 2 і спіральний корпус 3. Під час оборотів робочого колеса, повітря виходить в спіральний корпус і далі надходить до вихідного патрубку вентилятора. Робоче колесо радіального вентилятора складається з лопаток, заднього і покривного дисків. Лопатки можуть бути радіальними, загнутими вперед чи назад.

Вентилятор діагонального типу в теперішній час є малодослідженим.

Діагональний вентилятор завдяки прямоточності бігу в меридіональній площині січення має підвищену зносостійкість при роботі в забрудненому середовищі. Оскільки аеродинамічні втрати на вході у цього вентилятора найменші, струмінь потоку в міжлопаткових каналах можна зробити більш просторовим при меншому числі лопаток, що знижує втрати в міжлопаткових каналах.

Також при дослідженнях вентиляції слід враховувати інтенсивність впливу сонячної радіації. Якщо врахувати, що вікно зазвичай має вертикальне розташування, кількість сонячної енергії, що падає на нього, може бути дещо меншою, оскільки інтенсивність залежить від кута падіння променів. В залежності від нахилу вікна та інших факторів, на вертикальні поверхні може припадати від 500 до 1000 Вт/м² в умовах прямої сонячної радіації в сонячний день. Відповідно для більш кращої непроникності теплового навантаження до салону автобуса, як варіант можна застосовувати спеціальні віконні плівки (рис. 2.14).



Рисунок 2.14 – Захисна віконна плівка

Така плівка – це сонцезахисна система, що клеїться на віконне скло і дає ефект тонування. Полімерне полотно з багатошарового композитного матеріалу має клейову прошарок, завдяки якій плівка герметично приклеюється до вікна. Це ергономічний, надійний і доступний спосіб захисту від сонця та інших впливів.

Інтенсивність прямої сонячної радіації [132, 133], Вт/м², на поверхні, перпендикулярній до напрямку променів, можна з достатньою точністю визначити за допомогою рівняння (2.47):

$$J = 1361 \frac{\sinh}{\sinh + \frac{1-p}{p}}, \quad (2.47)$$

де, J – максимальне значення повної сонячної енергії, яка довільно падає на поверхню шибки; h – висота Сонця; p – коефіцієнт прозорості атмосфери.

Значення висоти Сонця визначається за допомогою рівняння (2.48):

$$\sinh = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos \gamma, \quad (2.48)$$

де, φ – широта; δ – нахил Сонця; γ – часовий кут.

Сонячна радіація дає 600-800 Вт на 1 м² шибки. В залежності від захисної плівки є можливим зменшити теплові навантаження влітку на 16 % і заощадити до 7 % Вт взимку.

2.4. Мікроклімат на робочому місці водія

Серед основних чинників, що формують стан мікроклімату на робочому місці водія автобуса можна назвати радіаційний та конвективний теплообмін із навколишнім середовищем, тепловиділення через стінки кузова автобуса, які обмежують кабінку водія, тепловиділення від електро- та гідро/пневмообладнання, а також тепловиділення від водія. На рис. 2.15 можна схематично побачити чинники формування мікроклімату на робочому місці водія КТЗ.

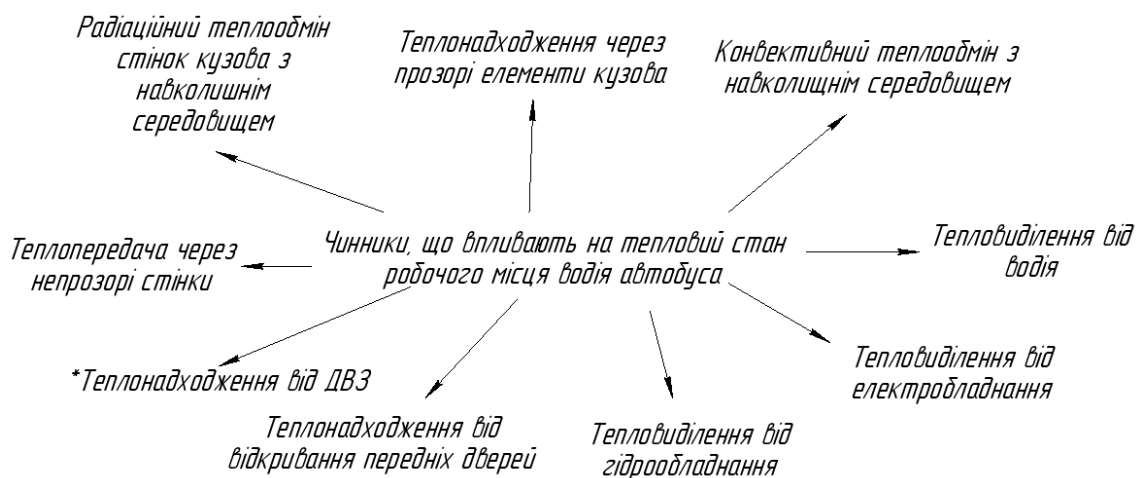


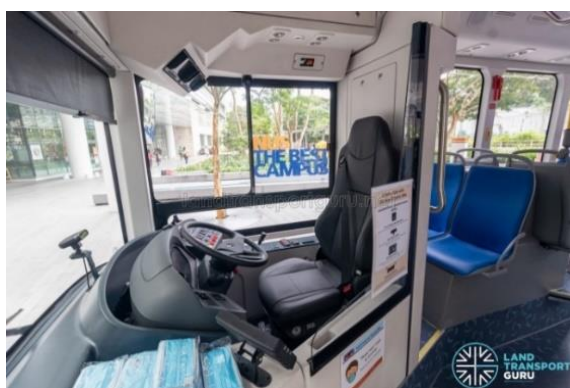
Рисунок 2.15 – Чинники, що впливають на тепловий стан кабінки водія автобуса

*особиста розробка автора.

Мікроклімат на робочих місцях водіїв знаходиться в прямій залежності від сезону року та кліматичних умов, в яких водії працюють. Наприклад, робота при температурі повітря вище +25°C сприяє розвитку втоми, при якій

знижується увага та подовжується час реакції на різні роздратування, а при температурі $+35^{\circ}\text{C}$ та вище розумова діяльність погіршується, заповільнюється реакція організму на різні подразники, pojawiaються помилки, знижується концентрація уваги на 10 та більше відсотків. З іншої сторони, низька температура повітря в кабіні негативно впливає на роботу м'язів, швидкість та точність рухів. Результати статистичних досліджень показують, що при температурі повітря в кабіні автомобілів нижче 13°C відбувається більше ДТП, ніж при комфортній температурі. Температура повітря в кабіні водія міських автобусів в теплу пору року може підвищуватись паралельно збільшенню температури зовнішнього повітря. Влітку температура зовнішнього повітря може підвищуватись від початку до кінця зміни з 21 до 36°C , а температура повітря в кабіні водія з 23 до 39°C . В окремі дні температура повітря в кабіні водія може досягти навіть 44°C при температурі зовнішнього повітря 40°C .

В сучасних низькопідлогових автобусах розрізняються два типи робочих місць водія: закрите та відкрите (див. рис. 2.16).



а)



б)

Рисунок 2.16 – Типи робочих місць водія автобуса: а) відкрите; б) закрите

На рис. 2.16а показано робоче місце водія відкритого типу. Такий тип використовується на більшості міських низькопідлогових автобусів та дає змогу збільшити площу відкривання передніх дверей. Натомість закритий тип (рис. 2.16б) наглухо закриває робочий простір водія від пасажирського салону,

що негативно впливає на площу відкривання передніх дверей, адже в такому разі відкривається тільки одна передня дверка із двох.

В основному система опалення в кабіні водія є сполучена із загальною, та має в наявності опалювач (фронт-бокс) (див. рис. 2.17).

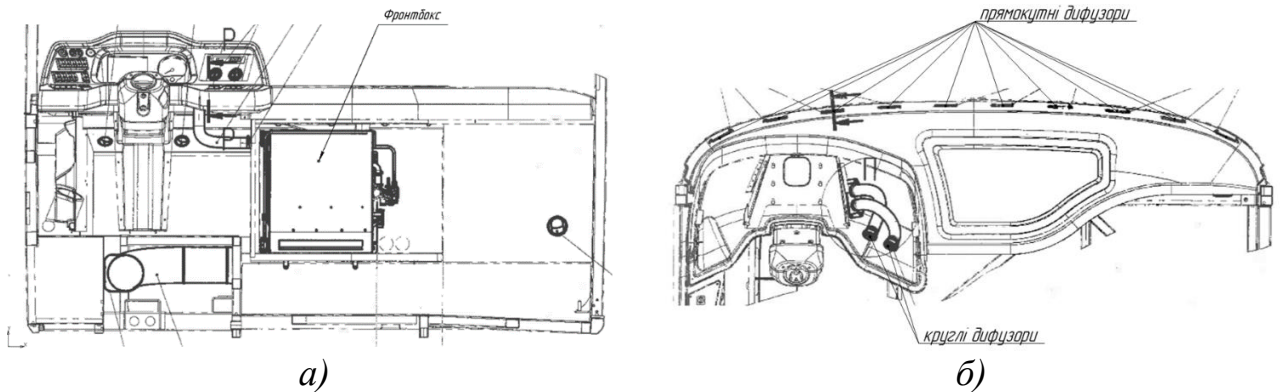


Рисунок 2.17 – Приклад розташування елементів системи опалення кабіни водія автобуса згідно вимог стандартів ISO 7730: а) розташування фронт-боксу; б) розташування дифузорів

Видування нагрітого повітря в кабіну водія здійснюється через дифузори системи опалення та вентиляції (див. рис. 2.18).



Рис. 2.18 Дифузори: а) круглий з рухомий; б) круглий нерухомий; в) прямокутний

Для прикладу наведемо моделювання в програмному середовищі ANSYS-Fluent, де нам потрібно задати швидкість видуву повітря 0,5 м/с та температуру видуву повітря 300 К [10].

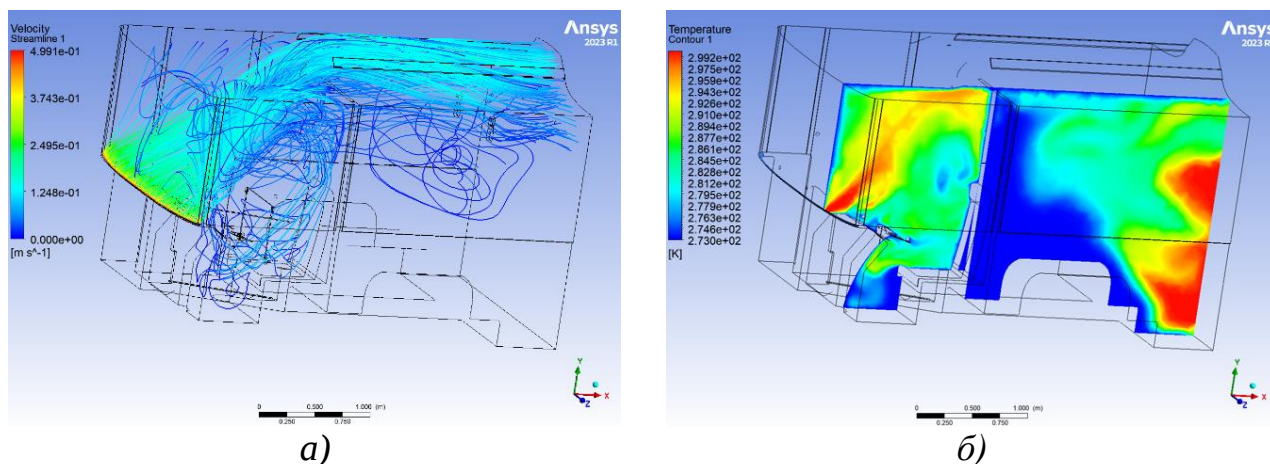


Рисунок 2.19 – Моделювання повітряних потоків в кабіні водія автобуса: а) 3D-модель частини салону автобуса; б) розподіл швидкостей повітря; в) розподіл температур; г) розподіл повітряних мас

З рис. 2.19а видно вихід повітряного потоку із дифузорів розташованих попри лобове скло зі швидкістю повітря $0,5 \text{ м/с}$ та температурою 27°C . Потік повітря прямує вгору. З рис. 2.19б видно, що зона голови водія буде обігріватись найбільше, що і повинно бути забезпечено. Далі повітряні потоки направляються в салон автобуса зі швидкістю повітря приблизно $0,25\text{-}0,3 \text{ м/с}$. На рівні голови пасажирів присутня інтенсивна циркуляція повітря з температурою $18\text{-}20^{\circ}\text{C}$. Виходить, що в зоні поясу та ніг водія швидкість повітря коливатиметься в межах $0,1\text{-}0,15 \text{ м/с}$.

На рис. 2.19б можна побачити, що найбільш гаряче повітря в кабіні водія сконцентровано на рівні голови та становить приблизно $+21\text{--}22^{\circ}\text{C}$, та далі поступово спадає до температури $+18\text{--}21^{\circ}\text{C}$. В зоні поясу температура приблизно становить $+18\text{--}21^{\circ}\text{C}$. Температура в зоні ніг водія становить $13\text{--}15^{\circ}\text{C}$.

Далі більш детально розглянемо процеси видування через дифузори робочого місця водія автобуса.

На рис. 2.20 та 2.21 наведено результати моделювання процесу видування повітря із прямокутного та круглого дифузора, враховуючи наступні вихідні дані (режим 1 – 45°C та $0,25 \text{ м/с}$, режим 2 – 50°C та $0,5 \text{ м/с}$, режим 3 – 55°C та $0,75 \text{ м/с}$).

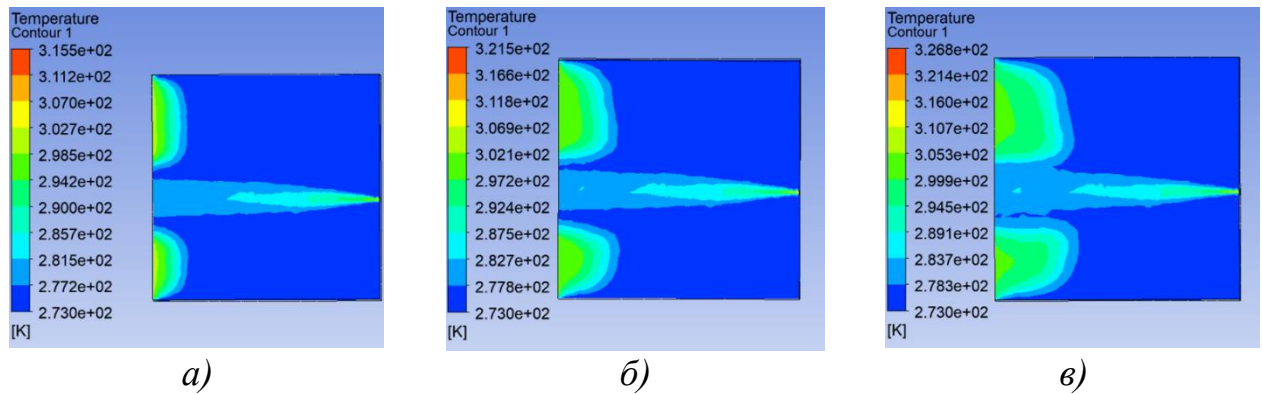


Рисунок 2.20 – Процес видування теплого повітря із прямокутного дифузора

На рис. 2.20 добре видно процес розподілення повітряних мас під час його видування із прямокутного дифузора. Можна побачити, що повітряний потік розсіюється із отворів дифузорів вертикально вгору. Найгарячіші повітряні маси знаходяться на невеликій віддалі від отворів дифузорів. Далі повітря дещо охолоджується та його швидкість розподілення теж зменшується.

Аналогічно проаналізуємо процес видування повітря із круглого дифузора (рис. 2.21).

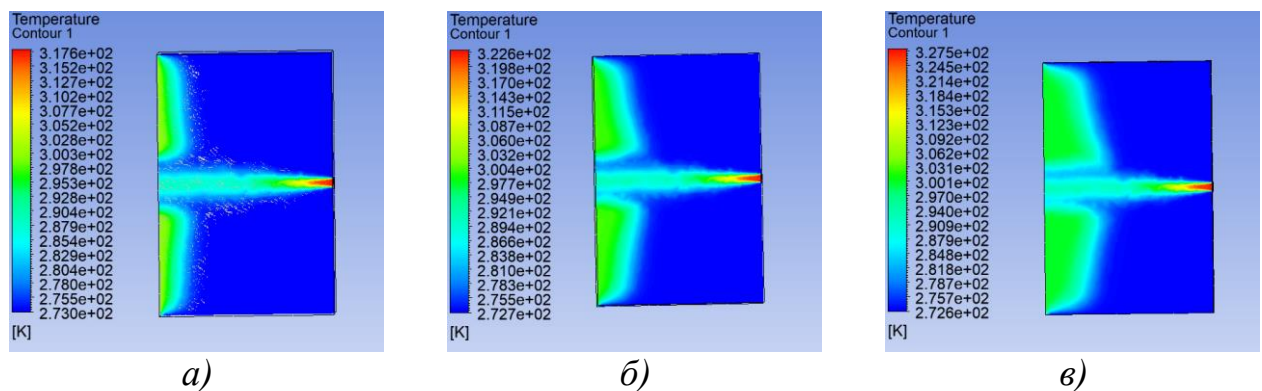


Рисунок 2.21 – Процес видування теплого повітря із круглого дифузора

На рис. 2.21 видно рівномірніший процес розподілу повітряних мас під час його видування із круглого дифузора. Повітряний потік розсіюється із круглого дифузора вертикально вгору. Видув повітря відбувається більш ефективно, найгарячіші повітряні маси знаходяться на невеликій віддалі від

отворів дифузорів. Далі повітря дещо охолоджується та його швидкість розподілення теж зменшується.

Ще одним із можливих варіантів організації мікроклімату робочого місця водія є підігрів сидіння водія (див. рис. 2.22). Серед українських виробників така опція є передбачена в автобусі моделі ЛАЗ А183 [72].

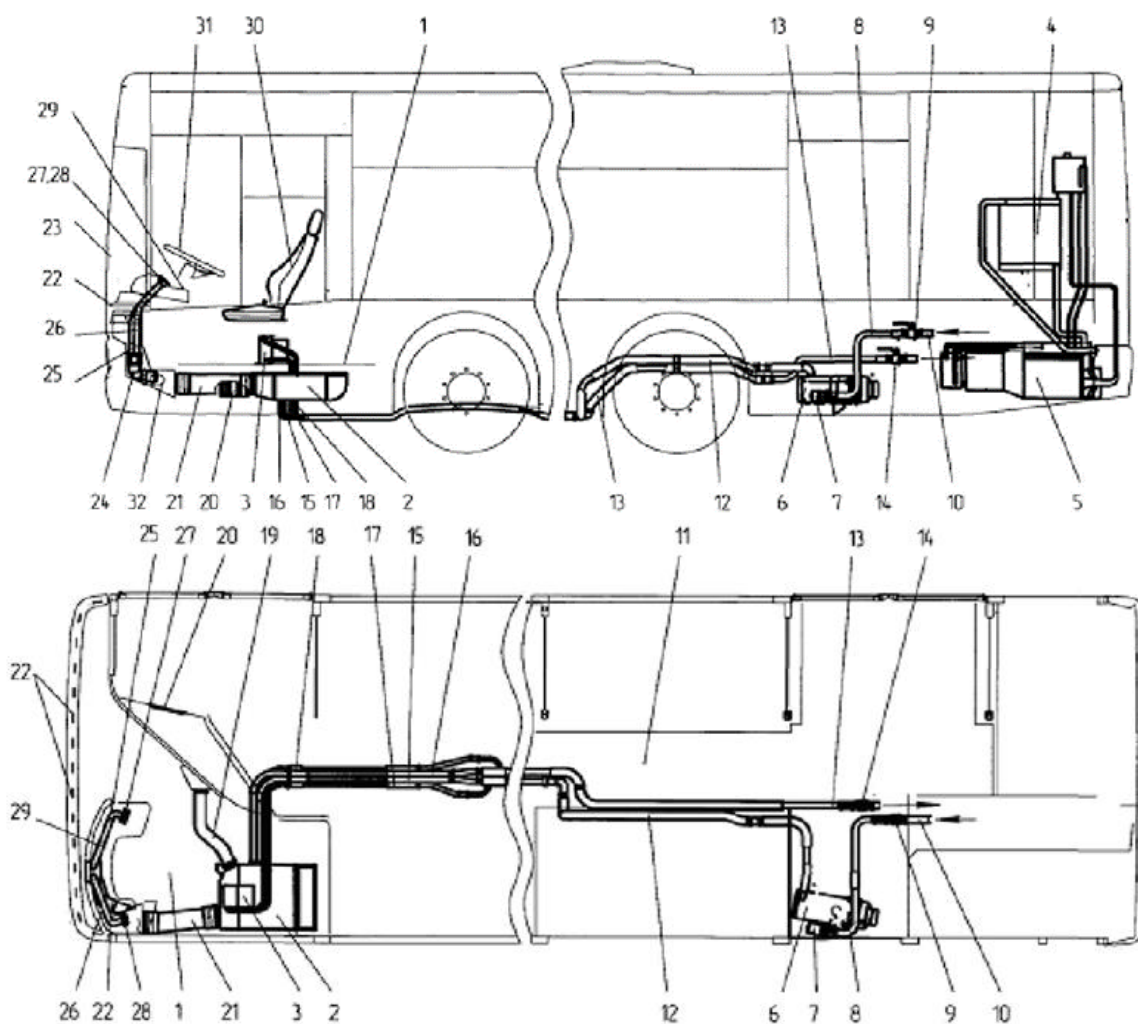


Рисунок 2.22 – Система обігріву сидіння водія автобуса [72]: 1 – підлога робочого місця водія; 2 – передній радіаторний обігрівач з електроприводом двох відцентрових вентиляторів; 3 – радіаторний обігрівач з електроприводом вентилятора; 4 – система охолодження ДВЗ; 5 – ДВЗ; 6 – автономний підігрівач; 7 – циркуляційна помпа; 8, 15, 16, 17, 18 – труба; 9, 14 – вентиль; 10 – відвідна труба; 11 – підлога пасажирського салону; 12 – труба для нагнітання нагрітої рідини в систему опалення робочого місця водія; 13 – зворотна труба

Така система обігріву водійського сидіння може бути застосована і як елемент охолодження та вентиляції, а саме можна використати вентиляцію продувки водійського сидіння. На рис. 2.23 наведено розташування вентиляторів у корпусі сидіння водія.

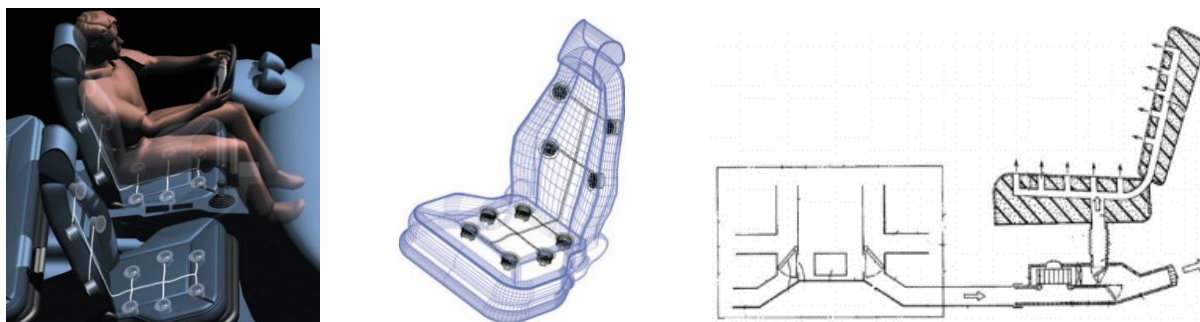


Рисунок 2.23 – Розташування вентиляторів в сидінні водія [135]

Також можливий варіант охолодження сидіння водія системою кондиціонування [134]. Через повітроводи системи кондиціонування, повітря подається до сидіння з трубопроводу і виходить із поверхні сидіння, на якій розташовані спеціальні отвори (порти) (рис. 2.23). Здебільшого повітроводи охолодження сидінь водія під'єднуються до системи кондиціонування як відгалуження від каналу основної коробки блоку керування переднім кондиціонером, і відповідно таким ж самим чином може підключатись і обігрів сидіння.



Рисунок 2.24 – Елементи вентиляції кабіни (робочого місця) водія автобуса: а) квартира водія; б) вмонтований витяжний вентилятор

Вентиляція робочого місця водія автобуса є здебільшого комбінована: природня – припливно-витяжна через ручну кватирку водія, примусова – через передній опалювач та даховий нагнітаючий вентилятор, що працює як на вдув, так і видув повітря. Вентилятори мають дві-три робочі швидкості.

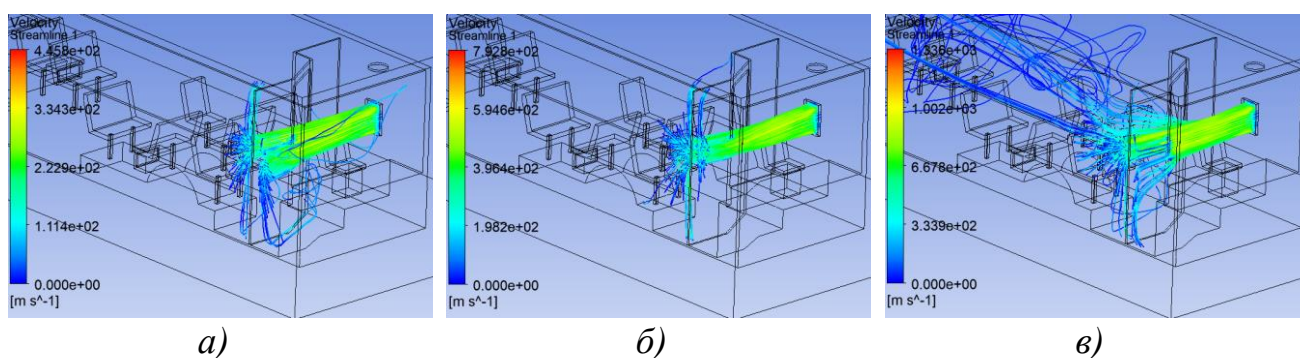
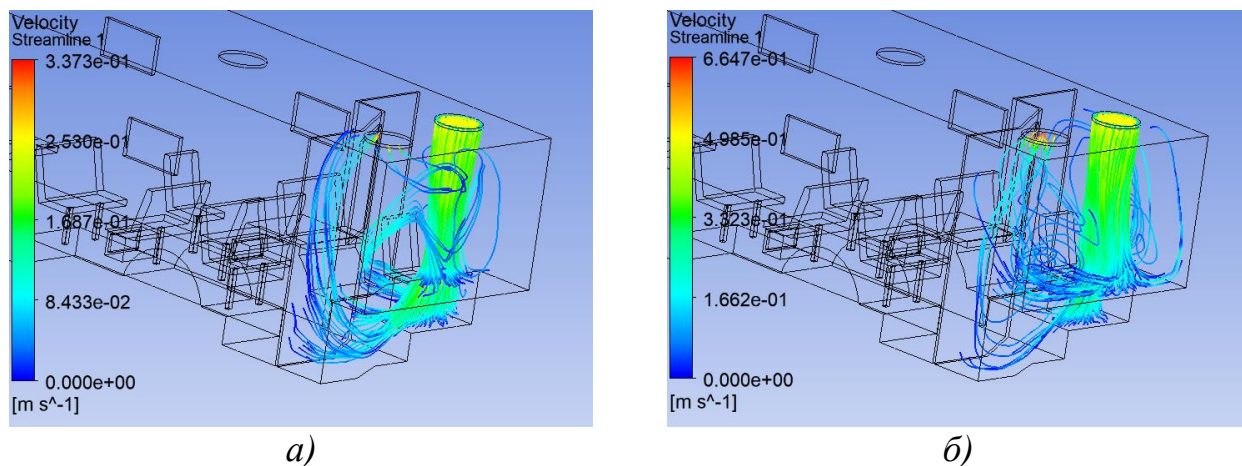


Рисунок 2.25 – Природня вентиляція робочого місця водія автобуса при швидкості руху: а) 20 км/год; б) 40 км/год та в) 60 км/год

На рис. 2.25 показано процес природної вентиляції міського автобуса під час руху на трьох швидкостях 20, 40 та 60 км/год. При нижчих швидкостях 20...40 км/год відбувається інтенсивний забір повітря через відкриту кватирку водія. При 50...60 км/год та вище відбувається більш інтенсивний забір повітря, а також розподілення повітряних потоків в незначних кількостях в передню частину салону автобуса.



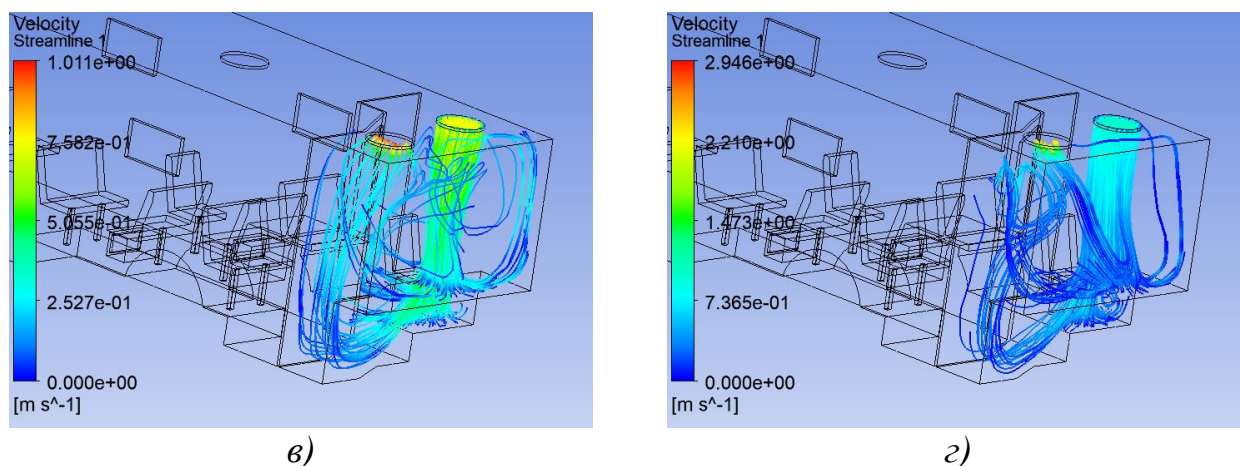


Рисунок 2.26 – Примусова вентиляція робочого місця водія автобуса: а) 0,25; б) 0,5; в) 0,75; г) 1,0 м/с

На рис. 2.26 наведено процеси повітрообміну по кабіні водія автобуса при 4-х режимах роботи вентилятора. Вентиляція працює наступним чином: над сидінням водія є встановлений нагнітаючий вентилятор, який працює на забір повітря в салон, такий вентилятор може також працювати і на охолодження повітря, а справа біля дверей водія є в даху вмонтований вентилятор, який працює на виведення повітря із салону. В результаті, як видно із рис. 2.25 швидкість повітря здебільшого зберігається сталою та сягає нормативних значень 0,1...0,3 м/с і може досягати до 0,5 м/с при інтенсивній вентиляції, що є дуже актуальним влітку.

Висновки до розділу 2

1. Принципи та методи оцінки теплового середовища і теплового комфорту людини в ТЗ регламентується стандартом EN ISO 14505 у якому ефективну температуру ЕТ для зон комфорту визначається PMV-PPD методом при адаптивному підході до оцінки мікрокліматичних умов салонів ТЗ з природною вентиляцією.

2. Біомеханічну модель людського тіла пасажирів можна розділити на дві взаємодіючі системи терморегуляції: керуючу активну систему та керовану пасивну систему. Активна система моделюється за допомогою кібернетичних

моделей, що передбачають регуляторні реакції. Пасивна система моделюється шляхом імітації фізичного тіла пасажирів та явищ теплопередачі, що відбуваються в ньому та на його поверхні.

3. Кузов ТЗ є відкритою термодинамічною системою, яка обмінюється ентропією з навколишнім середовищем. Теплопередача в салоні автобуса є складною через конструктивні елементи, пов'язані з оглядом, сендвіч-панелями, підлогою, дахом, дверима за наявності усіх трьох теплопередач: теплопровідності, конвекції і випромінювання. Сумарна кількість теплоти, яку має забезпечити опалювач в салоні автобуса складається з кількості тепла, необхідної для нагрівання інфільтрованого повітря, теплових втрат, що виникають на службових зупинках при виході/вході пасажирів, теплових втрат через поверхні кузова автобуса, кількості теплоти, що надходить від пасажирів та ДВЗ.

4. Комфортний мікроклімат салону залежать від температури, вологості, якості і кількості за нормованою кратністю повітрообміну в салоні, інтенсивності сонячної радіації і рівня активності та термічної ізоляції одягу людини. Повітрообмін базується на 6-кратній оновлюваності повітря в салоні та припущенні, що кожен пасажир видихає в стані спокою 15...22 л CO_2 за годину. Рекомендований рівень вмісту CO_2 в салоні автобуса не повинен перевищувати 400 ppm. Концентрація шкідливих речовин у повітрі робочої зони водія не повинна перевищувати при роботі ДВЗ – вуглеводнів – 300 мг/м³, окису вуглецю – 20 мг/м³, оксидів азоту, металолу та формальдегідів – по 5мг/м³; а також: свинцю – 0,01 мг/м³; акролеїну – 0,2 мг/м³. Контроль повітряного середовища в кабіні автобуса повинен включати в себе оцінку запиленості.

5. Проаналізовано ефективність теплоносіїв від двигуна, коли стінки мотовідсіку нагріваються майже до 80°C, зовнішньої поверхні випускного колектора, температура якого коливається 200-800°C в залежності, навантаження та матеріалу колектора і довжини випускного тракту системи випуску відпрацьованих газів з якого можна отримати в середньому до 8...10

кВт/год. Серед розглянутих передньомоторній, у базі і задньомоторній компоновках двигуна, які розташовуються опозитно і у вертикальній тумбі виявлено, що кабіна водія є найменш обігрітою для найбільш розповсюдженого у більшості країн ЄС низькопідлогового типу міського автобуса з задньомоторною компоновкою і розташуванням двигуна горизонтально в мотовідсіку. Запропоновано встановлення на стінці мотовідсіку додаткового вентилятора, який переміщатиме у салон тепловий потік у повітропроводі на рівні ніг з крісла водія на трьох режимах; 1-й – швидкість повітря 0,25 м/с та температура 45°C; 2-й – швидкість повітря 0,5 м/с та температура 50°C; 3-й – швидкість повітря 0,75 м/с та температура 55°C.

6. В більшості моделей міських автобусів вентиляція робочого місця водія здебільшого комбінована та складається з припливно-витяжної через квартиру водія та примусової вентиляції через даховий 2-х або 3-х швидкісний вентилятор, що працює як на вдув повітря, так і на видув. Один, вмонтований в даху вентилятор може забезпечити нормативні значення швидкості повітря 0,1...0,3 м/с і до 0,5 м/с при інтенсивній вентиляції.

7. У розрахунках теплового балансу слід враховувати пряму сонячну радіацію, яка залежно від кута нахилу поверхні вікна може становити від 500 до 1000 Вт/м². У салоні зменшити цей нагрів улітку можна до 16 %, а при холодній порі заощадити до 7 % Вт тепла за рахунок наклеєної на вікно плівки.

РОЗДІЛ 3. МОДЕЛЮВАННЯ МІКРОКЛІМАТУ В САЛОНАХ АВТОБУСІВ

3.1. PPD та PMV при формуванні структури матмоделі теплового манекену водія та пасажирів

Важливим елементом рівняння теплового балансу є теплова енергія, що виділяється внаслідок метаболізму пасажирів і водія автобуса. Метаболічні процеси, що протікають в організмі людини (процес поглинання, збереження і виділення продуктів життєдіяльності), обумовлюють кругообіг затрат енергії на окиснення поживних речовин, обмін речовин теплопродукції і механічну роботу м'язів. При цьому енергетичний баланс підтримується, якщо кількість виробленої організмом енергії (яку фізично визначають по об'єму споживаного кисню) є рівним кількості виділеної енергії.

В стані спокою доросла людина споживає [60] 15 л/год кисню (з виділенням теплоти 88 Вт), при виконанні фізичної роботи ця цифра росте майже до 180 л/год (при цьому кількість теплоти може досягати 1060 Вт).

По кількості спожитого кисню метаболічна теплова енергія, Вт/м², визначається по формулі:

$$M = 5,8V \frac{V_{O_2}}{F_d}, \quad (3.1)$$

де 5,8 – енергетичний еквівалент 1 л кисню при нульовій температурі і нормальному барометричному тиску; V – відношення кількості видихнутого вуглекислого газу і вдихнутого кисню; V_{O_2} – споживання кисню в нормальних фізичних умовах, л/год; F_d – площа поверхні тіла людини, м²:

$$F_d = 0,203 G^{0,425} L^{0,725}, \quad (3.2)$$

де $G = 75$ кг, маса середньої людини; $L = 175$ см, середній зріст людини.

Індeksi PMV і PPD можна визначити за математичними залежностями [135] (3.3):

$$PMV = [0,303 \exp(-2,100 \times M) + 0,028] \times [(M - W) - H - E_c - C_{res} - E_{res}], \quad (3.3)$$

де M – швидкість метаболізму; W – ефективна механічна потужність; H – чутливі теплові втрати; E_c – теплообмін що випаровується на шкірі; C_{res} – теплообмін за рахунок конвекції при диханні; E_{res} – випаровування тепла при диханні.

З іншого боку формулу (3.3) можна представити у вигляді (3.4):

$$PMV = [0,303 \exp(-2,100 \times M) + 0,028] \times \left[(M - V) - 3,05 \times 10^{-3} [5733 - 6,99(M - V) - p_a] - 0,42[(M - V) - 58,15] - \right. \\ \left. \times [-1,7 \times 10^{-5} \times M(5867 - p_a) - 0,0014M(34 - t_a) - \right. \\ \left. - 3,96 \times 10^{-8} f_{cl} [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4 - f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a)] \right], \quad (3.4)$$

де p_a – парціальний тиск пари; t_a – температура повітря; f_{cl} – коефіцієнт фактора одягу; t_{cl} – середня температура поверхні зовнішнього одягу; $\bar{t}_r$ – середня радіаційна температура; h_c – коефіцієнт конвективної тепловіддачі; V – швидкість повітря.

У деяких випадках значення PMV, розраховане для всього тіла, знаходиться в межах комфортного діапазону, але людина може висловлювати роздратування через локальний дискомфорт, викликаний небажаним охолодженням або нагріванням деяких частини тіла. PPD, чи відсоток людей, незадоволених через недостатньої кількості вологи, прогнозується, як функція температури повітря, швидкості повітря та інтенсивності турбулентності, використовуючи такий вираз (3.5):

$$PPD = (34 - t_0)(\bar{V}_a - 0,05)^{0,6223} (0,3696 \bar{V}_a \times T_u + 3,1439), \quad (3.5)$$

Або вираз (3.5) може бути представлено у іншому вигляді (3.6):

$$PPD = (34 - t_0) - 95 \exp(-0,00353 \times PMV^4 + 0,2179 \times PMV^2), \quad (3.6)$$

Робоча температура визначається як рівномірна температура чорного радіаційного корпусу [3], і розраховується за (3.7):

$$t_0 = \frac{h_r t_r + h_c t_a}{h_r + h_c}, \quad (3.7)$$

де: h_r - коефіцієнт променистої тепловіддачі.

Спрощені рівняння для оцінки наведені в стандартах ISO 7730 і ASHRAE 55. Математично це відповідає середньому значенню середньої радіаційної температури та температури навколишнього повітря, враховуючи їхні відповідні коефіцієнти теплопередачі.

За допомогою програми CBE Thermal Comfort Tool було пораховано по PMV-методу та змодельовано процеси враховуючи основні параметри мікроклімату згідно стандартів ASHRAE.

Для побудови графічних залежностей використані наступні вихідні дані: температура повітря 22°C, швидкість повітря 0,1 м/с, вологість повітря 60% рівень метаболізму для водія автобуса 1,5 та коефіцієнт для ізоляції одягу 1,5.

Задавши потрібні параметри, вказані вище, за допомогою вищенаведеної програми розраховано параметри комфортності.

Графічні залежності побудовані за допомогою CBE Thermal Comfort Tool показані на рис. 3.1.

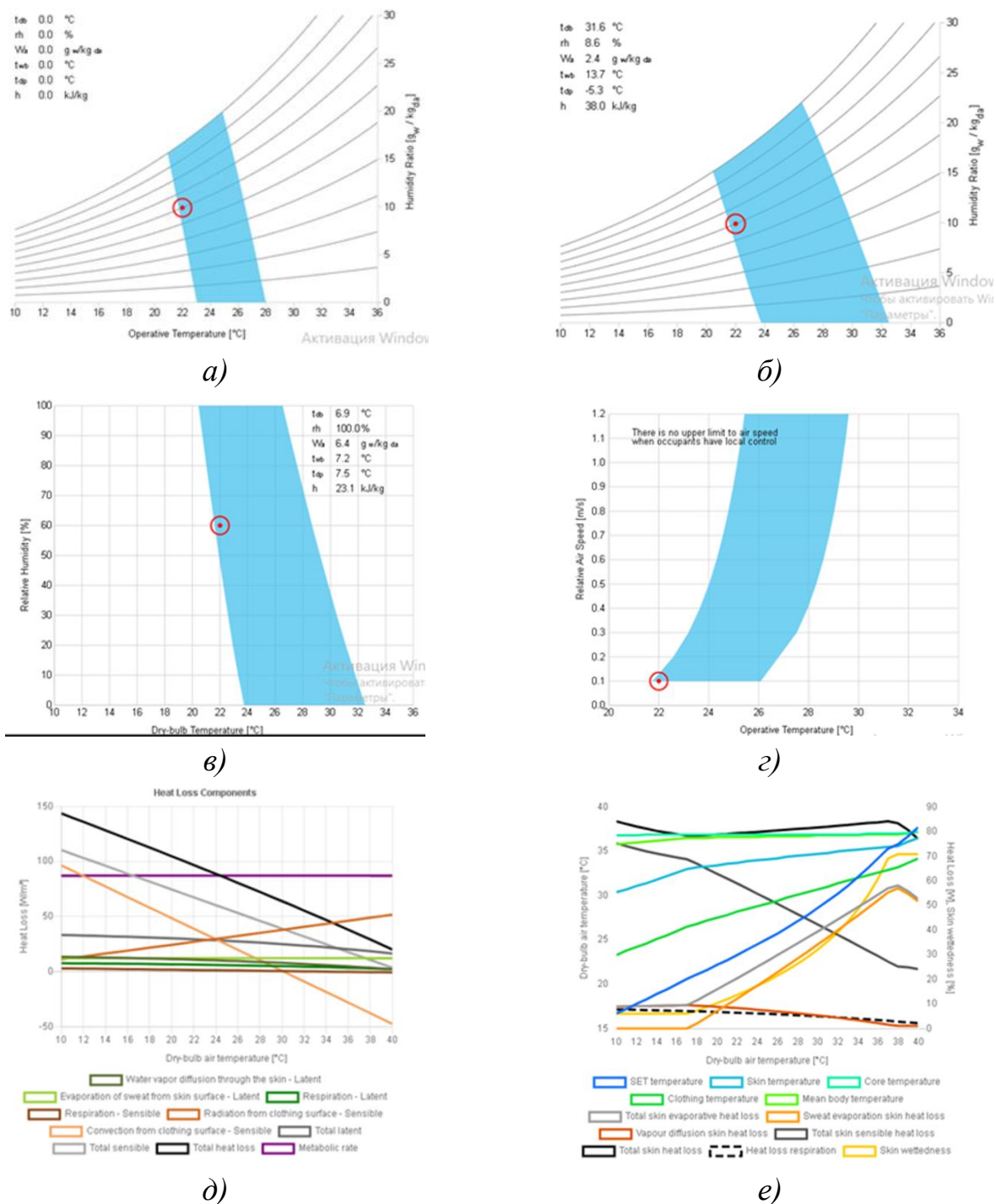


Рисунок 3.1 – Графічні залежності побудовані за допомогою CBE Thermal Comfort Tool: а) психрометрична діаграма за робочою температурою повітря; б) психрометрична діаграма за температурою сухого термометра; в) діаграма залежності вологості від температури за сухим термометром г) залежність швидкості повітря від робочої температури; д) графік залежності компонентів втрат тепла від температури; е) залежність теплових втрат параметрів від температури

У психрометричній діаграмі (рис. 3.1а) по абсцисі наведено робочу температуру. Зона комфорту становить комбінацію умов з одними і тими ж DBT і MRT, для яких PMV знаходиться в межах від -0,5 до +0,5, відповідно до стандарту. Цей стандарт не поширюється на: а) ізоляцію одягу яка перевищує значення 1,5; б) пасажирів чий одяг є надто вологонепроникний; с) пасажирів, які сплять, лежать у дотику до поверхні.

У психрометричній діаграмі (рис. 3.1б) по абсцисі наведено температуру сухого термометра. Середня температура випромінювання MRT є фіксована. Кожна точка на діаграмі має однакову MRT, яка визначає межу зони комфорту. Отже, можна побачити, як зміна в MRT впливає на тепловий комфорт.

Діаграма (рис. 3.1в) показує значення температури за сухим термометром і відносної вологості.

На діаграмі (рис. 3.1г) наведено залежність швидкості повітря від його робочої температури. Робочу температуру для кожної точки салону визначають через температуру сухого термометра, що дорівнює середній радіаційній температурі ($DBT = MRT$).

Метод комфортності зон з підвищеною швидкістю повітря розповсюджується на всі середовища, де рівень активності людей становить від 1,0 до 2,0, а утеплення одягу – від 0,0 до 1,5. Немає верхньої граничної межі швидкості повітря, якщо ізоляція одягу пасажирів становить вище 0,7, а швидкість метаболізму вище 1,3.

З діаграми (рис. 3.1е) видно, що дифузія водяної пари через шкіру пасажирів, випаровування поту з поверхні шкіри і швидкість обміну речовин, майже не змінюються при вибраних розрахункових параметрах (табл. 3.1). ця діаграма нам показує, що найбільшу температурну залежність мають теплові втрати шкіри через випаровування і загальні втрати тепла шкірою.

Проведення подібних розрахунків при варіації параметрів повітряного середовища в салоні автобуса дає змогу визначити межі мікрокліматичного теплового комфорту та бути предметом для подальших досліджень. Більш

детально у додатку Г наведено пояснення до параметрів діаграм, які зображено на рис. 3.1д та 3.1е.

3.2. Адаптація CFD-моделювання при дослідженнях повітряних потоків

Основні процеси алгоритмів розрахунку гідро- та термодинаміки в усіх програмах складаються з наступних перелічених кроків. На початку розрахунків створюється геометрія досліджуваного об'єкту та задаються вхідні умови для подальшого розрахунку. Наступним кроком програма розбиває модель на кінцеві елементи, створюючи цим так звану розрахункову сітку. Далі задаються вхідні параметри для розрахунку. Останнім кроком таких розрахунків є виведення візуалізованих розрахунків на моніторі комп'ютера. Найбільш популярними та затребуваними програмами на ринку на даний момент є SolidWorks, Autodesk Inventor, Kompas 3D, ANSYS Workbench та ін.

Більшість із цих програм є створені для CFD-моделювання, яке моделює ламінарний чи турбулентний рух рідини чи газу (повітря) та пов'язує з ним процеси термодинаміки.

Моделювання термодинамічних процесів відноситься до передачі тепла у всіх його формах. За допомогою CFD моделювання також можливо моделювати дифузію та транспортування інертних газів і речовин-реагентів, випаровування і конденсацію, гомогенне і гетерогенне горіння. Тому формальне уточнення методу розрахунку CFD дозволило розробити інструмент аналізу частини поставлених мною завдань.

Базовими рівняннями для моделювання повітряних потоків в приміщенні/салоні (салоні КТЗ) є рівняння усереднені за Рейнольдсом та рівняння Нав'є–Стокса для тривимірної течії рідини чи газу. При симуляції прийнято вважати, що повітряний потік є інтенсивний. Відповідно використовується стандартна модель турбулентності k – ϵ , яка базується на припущенні турбулентного потоку з високим числом Рейнольдса.

Кінетичну енергію турбулентності [136] (KET) можна представити на основі моделі турбулентності. Загалом, KET можна кількісно визначити за середнім значенням турбулентності (3.8):

$$K = \frac{1}{2} \left(\overline{(u'1)^2} + \overline{(u'2)^2} + \overline{(u'3)^2} \right), \quad (3.8)$$

KET може утворюватися зсувом шарів рідини, тертям або плавучістю або зовнішнім впливом на низькочастотний вихор шкали (інтегральна шкала), тоді кінетична енергія турбулентності передається вниз каскадом енергії турбулентності, і розсіюється силами в'язкості за шкалою Колмогорова. Це явище описане наступним чином (3.9):

$$\frac{Dk}{Dt} + \nabla \times T' = P - \varepsilon, \quad (3.9)$$

де $\frac{Dk}{Dt}$ - похідні середньої витрати матеріалу від KET; $\nabla \times T'$ - транспортування турбулентного потоку KET; P - продуктивність KET; ε - розсіювання KET.

Остаточна форма рівняння KET набуде наступного вигляду (3.10):

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \overline{u_j} \frac{\partial k}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial \overline{k u_1}}{\partial x_i} \times p - \frac{\partial \overline{k u_1}}{\partial x_j} + \nu \frac{\partial^2 k}{\partial x_j^2} - \nu \frac{\partial \overline{u_1}}{\partial x_j} \frac{\partial \overline{u_1}}{\partial x_j} - \frac{g}{\rho_0} \overline{\rho_1 u_1} \delta_{i3}, \quad (3.10)$$

Щоб досягти поставлених цілей, необхідно визначити еталонну геометрію умов функціонування єдиної системи, а також теплові характеристики поверхні, які будуть досліджуватись. Інтервали зміни температури і змінні швидкості, а також тип і розподіл потоку рідини всередині та зовні КТЗ, що походить від критерії оптимізації розрахунку.

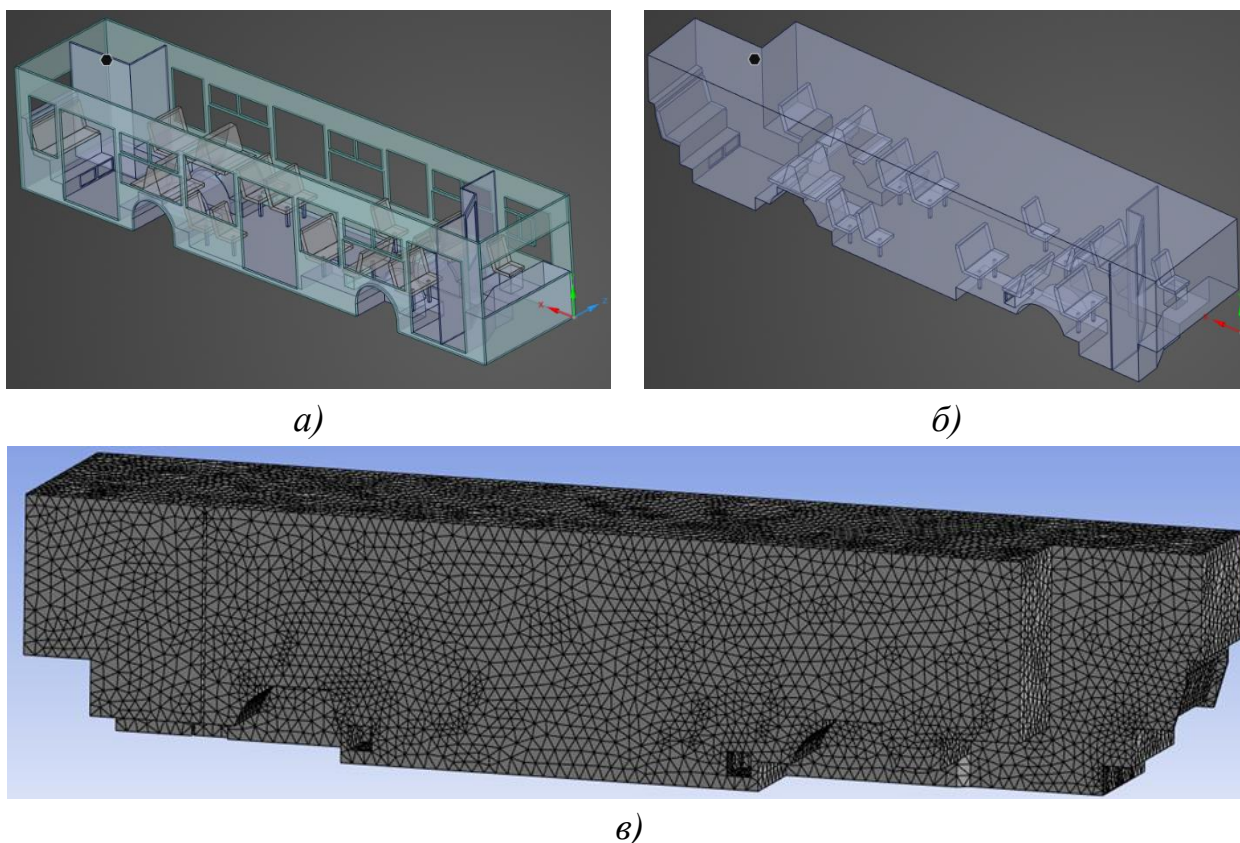


Рисунок 3.2 – 3D-модель для розрахунку в ПК ANSYS-Fluent: а) – просторова модель автобуса; б) просторова модель салону автобуса; в) просторова модель салону автобуса розбита на кінцеві елементи

Для зменшення кількості ітерацій просторова модель автобуса повинна бути максимально спрощеною. Така 3-D модель автобуса створена в програмному середовищі Solidworks.

Для того, щоб почати розрахунки в програмному пакеті ANSYS-Fluent нам потрібно виділити повітряний простір салону автобуса, тобто вийде так, що нова створена 3-D модель повітряного простору салону автобуса буде твердотільна. На рис. 3.2б показано просторову модель салону автобуса. Після того, як ми сформуємо твердотільну модель повітряного простору салону автобуса (рис. 3.2б), ми зберігаємо її в форматі IGS або STEP та відкриваємо її в програмному середовищі ANSYS. Як бачимо на нашій розрахунковій моделі всі твердотільні елементи стають просторовими, а просторові відповідно навпаки твердотільними.

Наступним кроком є розбиття нашої просторової моделі на кінцеві елементи, так звана операція «Mesh». На рис. 3.2в показано розбиту на кінцеві елементи просторову модель салону автобуса.

3.3. Визначення впливу двигуна автобуса на стінки кузова автобуса

3.3.1. Визначення температурного впливу ДВЗ на стінки кузова автобуса

Перед розрахунками теплоти в циліндрі двигуна розглянемо деякі поняття теорії теплопровідності матеріалів [137].

Теорія теплопровідності матеріалів розглядає перенесення теплоти в нерухомих середовищах постійної щільності. Отже, диференціальне рівняння теплопровідності матиме вигляд (3.11):

$$a\left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2}\right) = \frac{\partial t}{\partial \tau}, \quad (3.11)$$

Виходячи із рівняння теплообміну (3.6), то з нього нам потрібно знайти розподіл температур в об'ємному тілі з врахуванням зміни температури t залежно від координат x, y, z у просторі та часі τ .

Початкові умови для розв'язку задачі теплопровідності визначають тепловий стан тіла в початковий момент часу (3.12):

$$f(x, y, z, 0) = t_0(x, y, z), \quad (3.12)$$

Для того, щоб розв'язати задачу теплопровідності потрібно задати граничні умови третього роду.

Рівняння граничних умов матиме вигляд (3.13):

$$-\lambda \left(\frac{\partial t}{\partial n} \right)_n = \alpha (t_{cm} - t_{жс}), \quad (3.13)$$

В рівняння (3.8) величинами, які задаються є α та $t_{жс}$.

Постановка розв'язку задачі теплопровідності є складною, тому для отримання потрібних розв'язків її потрібно спростити та розв'язати із певними скороченнями.

Першим спрощенням такої задачі є розв'язання стаціонарної задачі. Її розв'язують виконуючи визначення початкових умов нестационарної задачі (3.14):

$$\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} = 0, \quad (3.14)$$

Постановка задачі включає в себе розглянуті раніше граничні умови, які будуть записуватись як незалежні від часу елементи, а початкові умови задачі не потрібно приймати (3.15).

$$t = t(x, y, z), \quad (3.15)$$

Далі розглядаємо спрощення нашої задачі як плоскої задачі теплопровідності, загальний вигляд якої матиме вигляд (3.16):

$$\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} = 0, \quad (3.16)$$

Для розв'язку вісесиметричної задачі теплопровідності можна використати таке диференціальне рівняння: (3.17):

$$\frac{\partial^2 t}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \times \frac{\partial t}{\partial r} = 0, \quad (3.17)$$

Подальше спрощення задачі зводиться до одновимірної задачі теплопровідності (3.18):

$$\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} = 0, \quad (3.18)$$

Така задача далі зводиться до розрахунку розподілу температури по товщині стінки δ .

Аналітичні розв'язання для реальних деталей ДВЗ в принципі одержати практично неможливо, тому задачу теплопровідності слід розв'язувати чисельними методами, зокрема методами кінцевих елементів. При цьому вихідне диференціальне рівняння записують як функціонал, у якому обов'язково враховують геометрію деталі та граничні умови. Також у цьому функціоналі можуть бути враховані внутрішні джерела теплоти. Температура деталі вважається визначеною, коли значення функціонала є мінімальним (3.19):

$$\Phi(t) \rightarrow \min; \quad \frac{d\Phi}{dt} = 0, \quad (3.19)$$

Зазвичай у ДВЗ внутрішні джерела теплоти не враховують, а граничні умови задаються як умови 3-го роду. Внаслідок цього розглянутий функціонал набуває вигляду (3.20):

$$\Phi(t) = \frac{1}{2} \int_{\Omega} (\lambda_x (\frac{\partial t}{\partial x})^2 + \lambda_y (\frac{\partial t}{\partial y})^2 + \lambda_z (\frac{\partial t}{\partial z})^2) dV + \frac{1}{2} \int_{\partial\Omega_a} \alpha (t - t_{cp}) t dS \rightarrow \min, \quad (3.20)$$

Тепер ми можемо переходити до розрахунків температур в двигуні автобуса. Маючи твердотільну модель двигуна ми можемо далі порахувати як відбувається процес розподілення температур в одному із циліндрів двигуна.

Граничні умови представлені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Граничні умов розподілу температур в двигуні автобуса

	Параметр	Одиниця виміру	Значення
1.	Камера згоряння	$^{\circ}\text{C}$	2300
2.	Конвекція зовнішньої поверхні	$\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$	25
3.	Конвекція теплоносія	$\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$	1000

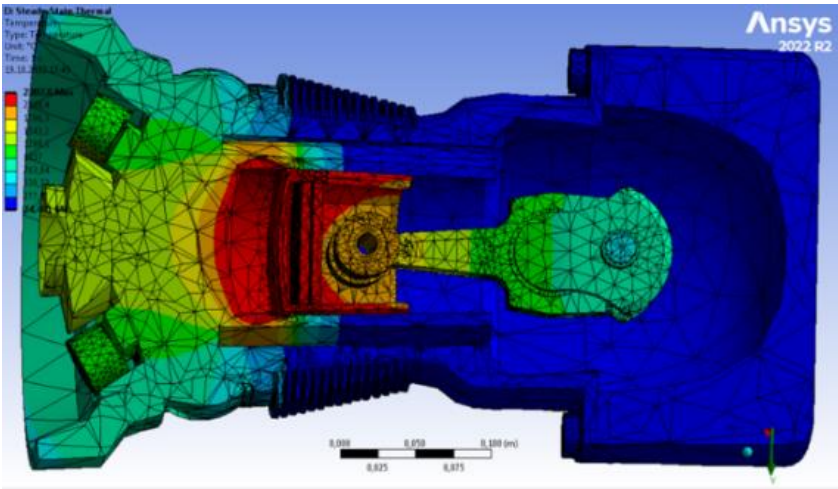


Рисунок 3.3 – Розрахунок температур в двигуні автобуса

Результати розрахунку в програмному середовищі Ansys Steady State Thermal є показані на рис. 3.3 і по них можна визначити температуру на необхідних місцях поверхонь. Навколо зовнішньої поверхні ребер охолодження в циліндрі двигуна, температура становить близько 80 – 120 $^{\circ}\text{C}$. Таке значення температури можна помітити під час 3-го робочого такту двигуна, коли температура є найбільшою.

Внаслідок розрахунку двигуна ми тепер можемо розуміти діапазон температурного випромінювання у відповідних місцях кузова автобуса. Вже відомі нам дані застосовуємо при наступних розрахунках до складної моделі кузова автобуса із заднім розташуванням двигуна згідно з табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Вихідні дані до розрахунку величини конвекції ДВЗ

	Параметр	Одиниця виміру	Значення
1.	Робоча температура двигуна	$^{\circ}\text{C}$	90
2.	Конвекція зовнішньої поверхні	$\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$	25
3.	Конвекція поверхонь салону	$\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$	5

Величина конвекції зовнішніх поверхонь кузова в 5 разів вища ніж внутрішня, для імітації повітряного потоку в реальних умовах експлуатації автобуса. Фізичні та механічні властивості матеріалів відповідають відповідним у Ansys Engineering: сталь 20 для рами та елементів кузова: скло для вікон, панелі з вуглецевого волокна.

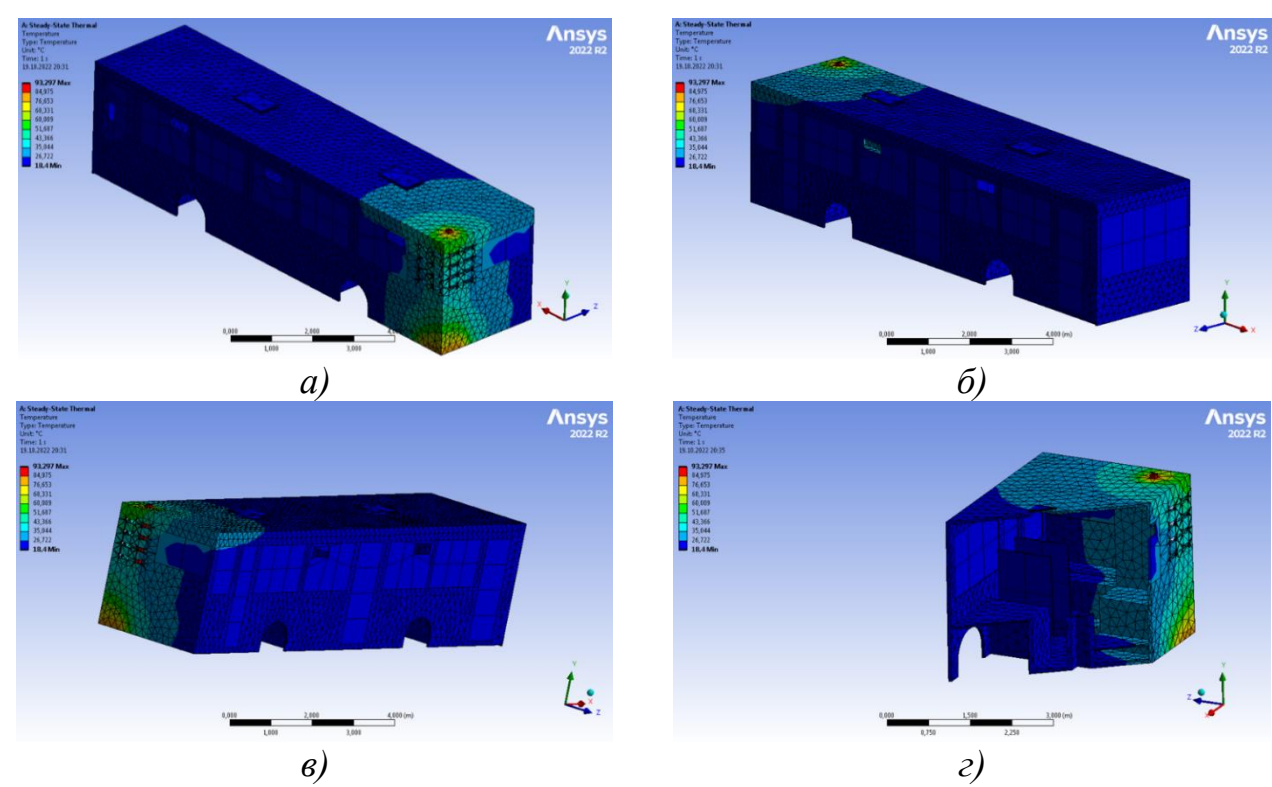


Рисунок 3.4 – Розподіл температур по кузову автобуса: а) по кузову автобуса в задній частині; б) по кузову автобуса (вид спереду); в) по кузову автобуса (вид збоку); г) задня частина салону автобуса в перерізі

Метою аналізу теплового випромінювання (рис. 3.4) є визначення значення температури на вертикальній стінці, яка розділяє моторне відділення

автобуса від його салону. Діапазон температури у вказаному місці коливається в межах 30-50°C та може досягати в певних точках до 80°C. Знайшовши необхідне значення температури, ми можемо імітувати розподіл теплового потоку вздовж салону автобуса, вважаючи, що згадана стінка оснащена вентилятором для опалення та для відводу теплих повітряних мас від двигуна і розподілу їх по салону для обігріву внутрішнього об'єму.

3.3.2. Аналіз використання додаткового вентилятора забору тепла залежно від розміщення ДВЗ

Наступною метою розрахунків є дослідити розподіл температури по салону автобуса із застосуванням додаткового вентилятора, який встановлюється на стінці мотовідсіку, при різних компоновках двигуна міських автобусів; перевірити вплив змінних крайових умов (швидкість теплових потоків, вхідна температура та конвекція) на ефективність заповнення теплим повітрям внутрішнього простору, включаючи місця пасажирів та робоче місце водія.

В ході даної наукової роботи був змодельований рух повітряних мас, які створюються додатковим вентилятором по салону автобуса для 5-ти різних розташування двигуна: А - спереду; Б - посередині вертикально; В - посередині горизонтально; Г - горизонтально у задньому звисі; Д - вертикально у задньому звисі. Для повноти експерименту до крайових умов розрахунку було додано 3 режими роботи вентилятора з такими вихідними даними: 1-й – швидкість повітря 0,25 м/с та температура 45°C; 2-й – швидкість повітря 0,5 м/с та температура 50°C; 3-й – швидкість повітря 0,75 м/с та температура 55°C.

При **передньомоторній компоновці** було змодельовано повітряні потоки з врахуванням того, що додатковий вентилятор є встановлений посередині внизу на стінці мотовідсіку.

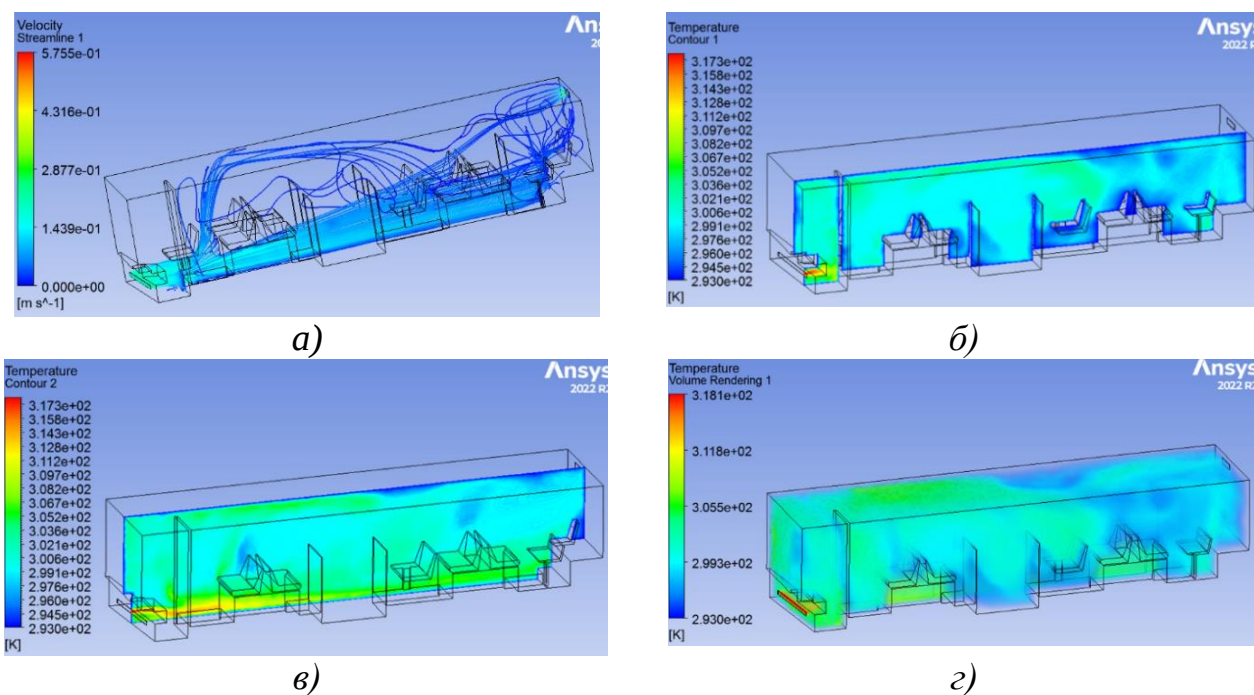


Рисунок 3.5 – Розподіл температур по салону при передньомоторній компоновці по: а) рух повітряних потоків по салону; б) розподіл температур по площині на рівні лівого ряду сидінь; в) розподіл температур по площині на рівні середини салону; г) температурні карти по об'єму салону

Як бачимо на рис 3.5а повітряні потоки виходять із мотовідсіку спереду біля робочого місця водія та далі розсіюються по салону автобуса. На робочому місці водія повітряні потоки інтенсивно проходять на рівні ніг з коливанням температур в районі 25⁰С. Далі повітряний потік розсіюється по салону притримуючись рівня підлоги. Швидкість повітря на рівні підлоги приблизно становить 0,18-0,19 м/с. Тільки в районі накопичувальної площадки теплові потоки розсіюються вище. В даному місці температура коливається на рівні 18-20⁰С (Рис. 3.5б та 3.5в). Як видно циркуляція повітря є не дуже активною, оскільки розподіл повітря йде дещо обмежено, через те що більш широкому потоку повітря заважають колісні арки та те, що видув повітря проводиться нижче, ближче до підлоги. В кабіні водія циркуляції повітря як такої в принципі немає.

Одну площину вибираємо на рівні сидінь лівого ряду (рис. 3.5б), а другу по середині салону (рис. 3.5в). Як видно із рис. 3.5 більш гаряче повітря

передбачається на рівні підлоги між передніми колісними арками та температура в даній ділянці становить приблизно 20-25 °С.

Надалі слід порівняти результати моделювання при трьох режимах роботи вентилятора (рис. Е.1) у додатку Е.

Якщо подивитись на рис. Е.1а, Е.1б та Е.1в, то видно, що повітряний потік виходить із вентилятора, розташованого на мотовідсіку в передній частині салону автобуса. На рівні підлоги в кабіні водія створюється температура відповідно 25, 27 та 30°С. Швидкість повітря на рівні підлоги складає 0,2, 0,4 та 0,6 м/с відповідно. Температура в салоні коливається для кожного з режимів так: 14-18, 16-20 та 19-23°С відповідно. Якщо проаналізувати рух повітряних мас в місці найбільшого скупчення людей (накопичувальна площадка), то можна побачити, що при роботі вентиляторів на 2-му чи 3-му режимі повітряні маси потраплятимуть на цю ділянку салону більше, ніж в першому випадку, а швидкість повітря становить 0,05-0,18, 0,1-0,35 та 0,15-0,45 м/с відповідно. Аналізуючи розподіл температур по салону автобуса, можна сказати, що найменш опалювальною є задня частина салону, там рівень температури становить 14-18, 16-20 та 19-23°С. Найбільше обігрівається зона на рівні підлоги в кабіні водія. Температура становить, як вище було сказано, залежно від режиму роботи вентилятора 25-30°С.

При **середньомоторній компоновці при розташуванні двигуна вертикально** посередині було змодельовано повітряні потоки з врахуванням того, що три додаткові вентилятори є встановлені на лівій, правій та боковій стінці посередині мотовідсіку. Тобто в нас виходить, що буде три місця видування теплого повітря.

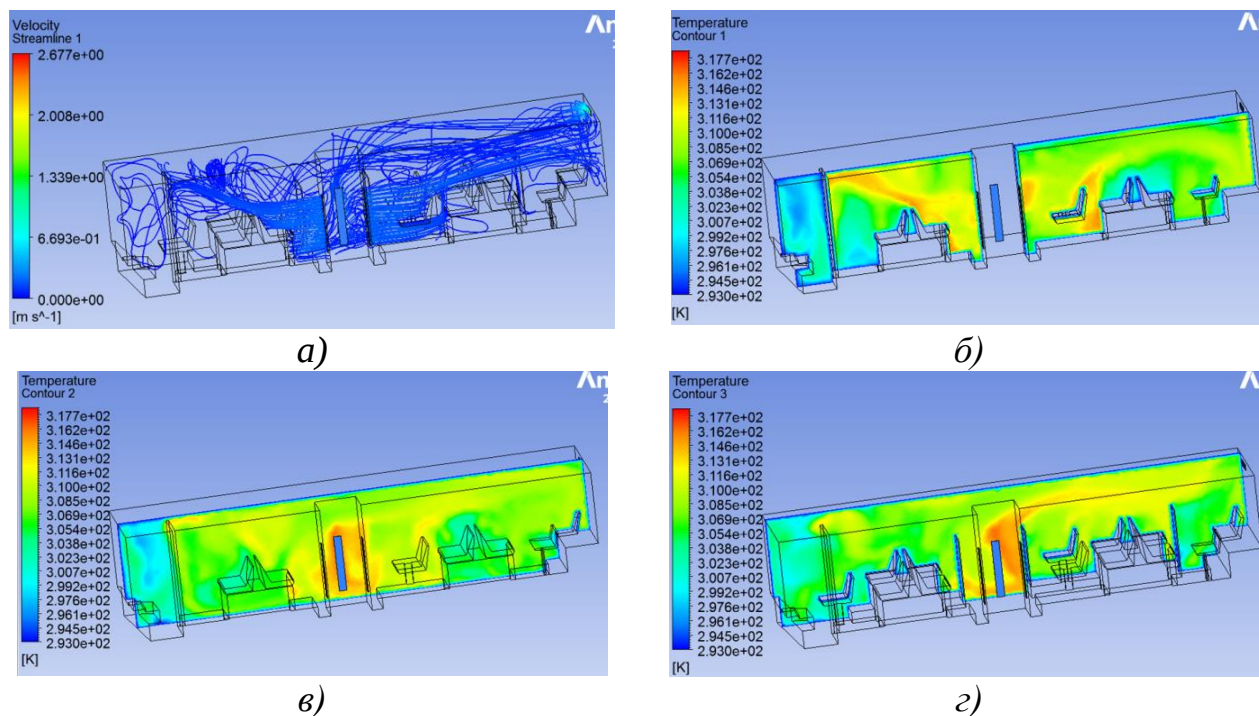


Рисунок 3.6 – Розподіл температур по салону при середньомоторній компоновці з вертикальним розташуванням двигуна по: а) рух повітряних потоків по салону; б) розподіл температур по площині на рівні лівого ряду сидінь; в) розподіл температур по площині на рівні середини салону; г) розподіл температур по площині на рівні правого ряду салону; д) температурні карти по об'єму салону

Як бачимо на рис 3.6а повітряні потоки виходять із місць видування теплого повітря на мотовідсіку в три різні боки (вліво до переду, вправо до задку та прямо в напрямку середніх дверей). З рис. 3.6а видно, що повітряні потоки інтенсивно розсіюються в місцях салону до колісних арок на висоті приблизно 1,5 м від рівня підлоги зі швидкістю десь на рівні 0,2-0,25 м/с з температурою приблизно 25-27 °С. В кабінку водія повітряні потоки практично майже не потрапляють. Швидкість повітря та температура в кабінку водія становлять 0,2-0,25 м/с та 18-20 °С відповідно. Далі повітряний потік розсіюється по салону. Найбільші значення температур досягаються на накопичувальній площадці та сягають 27-28 °С. Як видно циркуляція повітря є дуже активною, оскільки розподіл повітря йде із 3-х точок та направляється в різні боки. Швидкість повітря по салону всередньому становить 0,2-0,25 м/с.

Першу площину вибираємо на рівні сидінь лівого ряду (рис. 3.6б), другу по середині салону (рис. 3.6в) та третю на рівні сидінь правого ряду (рис. 3.6г). Як видно найбільші значення температур досягаються на накопичувальній площадці та сягають 27-28 °С.

Надалі слід порівняти результати моделювання при трьох режимах роботи вентилятора (рис. Е.2) у додатку Е.

На рис. Е.2а, Е.2б та Е.2в, показано розсіювання повітряних мас при умові, що 3 додаткові вентилятори встановлені на мотовідсіку, який знаходиться посередині салону. Видно, що повітряний потік виходить із вентиляторів до переду, заду та середніх дверей автобуса. Повітряні маси потрапляють в кабінку водія в невеликій кількості зі швидкістю повітря приблизно 0,2-0,22 та 0,4-0,5 м/с відповідно. При роботі вентилятора на 3-му режимі повітряні маси в кабінку водія можна сказати, що не потрапляють - швидкість повітря буде надзвичайно малою, тому ми приймаємо що буде 0 м/с. Температура в кабінці водія знаходиться на рівні 18°C, 20°C та 23°C відповідно. Таким чином, ми маємо рівномірний розподіл температур на робочому місці водія.

Далі слід розглянути накопичувальну площадку: за рахунок того, що вихід повітряних мас відбувається з цієї області, ми маємо інтенсивні турбулентні повітряні потоки зі швидкостями повітря 0,22, 0,4 та 0,6 м/с відповідно. В задній частині автобуса у всіх випадках інтенсивність руху повітря є високою та становить 0,22, 0,4 та 0,6 м/с відповідно. Дивлячись на температурні карти, видно, що інтенсивно нагрівається середня частина салону автобуса в місцях виходу гарячого повітря із вентиляторів (особливо на третьому режимі роботи). Рівень температур на рівні накопичувальної площадки становить 25-27, 27-29 та 30-32°C, що є доволі нагрітим місцем в салоні автобуса.

При середньомоторній компоновці при розташуванні двигуна горизонтально під підлогою було змодельовано повітряні потоки з врахуванням того, що два додаткові вентилятори є встановлені на лівій та

правій стінках на підлозі на стінці мотовідсіку. Тобто в нас виходить, що буде два місця видування посередині салону автобуса.

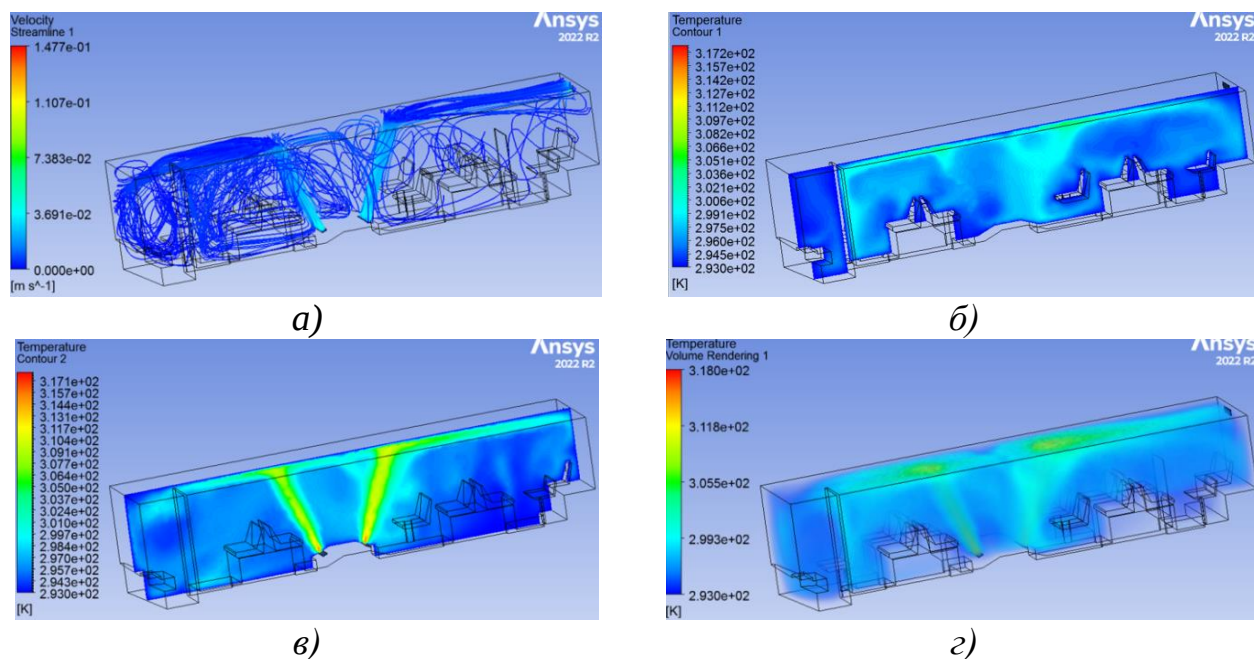


Рисунок 3.7 – Розподіл температур по салону при середньомоторній компоновці з горизонтальним розташуванням двигуна під підлогою по: а) рух повітряних потоків по салону; б) розподіл температур по площині на рівні лівого ряду сидінь; в) розподіл температур по площині на рівні середини салону; г) температурні карти по об'єму салону

Як бачимо на рис 3.7а повітряні потоки виходять із місць видування теплого повітря на мотовідсіку, який в нас є також в свою чергу і частиною підлоги, в два різні боки (лівіше вверху та правіше вверху) та розсіюються на рівні даху. Циркуляція повітря відбувається приблизно зі швидкістю приблизно 0,2-0,25 м/с на рівні голови. Також можна побачити, що повітряні потоки інтенсивно розсіюються в передній частині автобуса та також потрапляють в кабінку водія, де швидкість повітря є на рівні 0,2 м/с. Як видно циркуляція повітря є дуже активною в кабінці водія та передній частині салону автобуса. В задній частині автобуса повітряні потоки циркулюють в меншій кількості ніж в в передній частині.

Першу площину вибираємо на рівні сидінь лівого ряду (рис. 3.7б), а другу по середині салону (рис. 3.7в). Як видно, температура коливається майже

однаково по всьому салону автобуса в районі $14-16^{\circ}\text{C}$, що є досить комфортним мікрокліматом.

Як видно із рис. 3.7г більш гаряче повітря передбачається в місцях по течії гарячого повітря із вентиляторів та розсіюється відповідно вгору. Температура в таких місцях становить в районі 20°C на рівні голови.

Надалі слід порівняти результати моделювання при трьох режимах роботи вентилятора (рис. Е.3) у додатку Е. Як бачимо, інтенсивний розподіл повітря по салону відбувається в 1-му випадку (рис. Е.3а). В кабіні водія, а також в передній частині пасажирського салону повітря розсіюється інтенсивно турбулентними потоками зі швидкістю $0,2...0,22$ м/с. При збільшенні швидкості виходу повітря його рух спрямовується догори і далі розсіюється на рівні даху (рис. Е.3б, Е.3в). Швидкість повітря на рівні підлоги та рівні голови сидячого пасажера є менша, ніж в першому випадку (в окремих локаціях становить $0,05$ м/с). В задній частині рівень швидкостей повітря становить близько до 0 м/с. Дивлячись на температурні карти салону автобуса, видно, що в третьому випадку обігрів салону відбувається найкраще, де рівень температур сягає $19-21^{\circ}\text{C}$. Найгірше обігрів салону проходить для першого режиму роботи вентиляторів. Рівень температур по салону, не враховуючи місця виходу, становить $14-16^{\circ}\text{C}$.

При задньомоторній компоновці при розташуванні двигуна вертикально в шафі-тумбі зміщеній вліво було змодельовано повітряні потоки з врахуванням того, що додатковий вентилятор є розташований на стінці мотовідсіку над двома останніми сидіннями в лівому ряду сидінь автобуса.

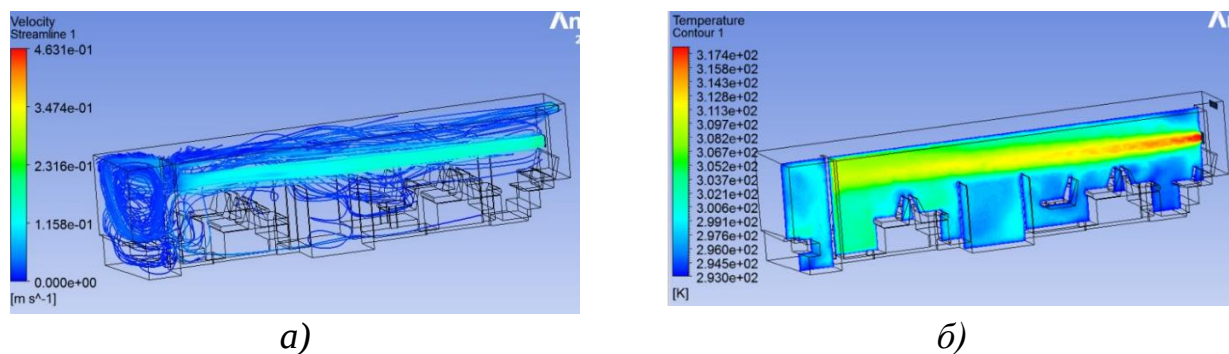


Рисунок 3.8 – Розподіл температур по салону при задньомоторній компоновці з вертикальним розташуванням двигуна зміщеного вліво: а) рух повітряних потоків по салону; б) значення температур по площині на рівні лівого ряду сидінь; в) температурні карти по об'єму салону автобуса

Як бачимо на рис. 3.8а повітряні потоки виходять із місця видування теплого повітря на мотовідсіку над сидіннями в задній частині салону автобуса. Добре видно, що повітряні потоки інтенсивно розсіюються вгору по салону автобуса зі швидкістю повітря 0,15-0,22 м/с, приблизно на рівні голови стоячого пасажера, а також потрапляють в кабінку водія за рахунок того, що кабінка водія не є відділена від салону наглухо. Швидкість повітряного потоку в даній ділянці простору становить 0,15-0,22 м/с.

Площину вибираємо на рівні сидінь лівого ряду (рис. 3.8б). Як видно, температура коливається в більшості по салону в районі 18-20⁰С, тільки в задній частині в районі видуву теплового повітря досягає до 22-24⁰С.

Надалі слід порівняти результати моделювання при трьох режимах роботи вентилятора (рис. Е.4) у додатку Е.

Повітряний потік із додаткового вентилятора розсіюється на рівні вище голови стоячого пасажера. В 1-му (рис. Е.4а) та 2-му випадку (рис. Е.4б) циркуляція повітря в кабінці водія є інтенсивною зі швидкостями 0,18, 0,35 м/с відповідно. При 3-му режимі роботи вентилятора повітряні маси потрапляють в кабінку водія в меншій кількості, але зі швидкістю повітря 0,45 м/с (рис. Е.4в). Рівень швидкостей повітря на рівні накопичувальної площадки становить приблизно 0,15, 0,3 та 0,4 м/с відповідно. Згідно температурних карт у всіх

трьох випадках найбільш гаряче повітря помічено в задній частині автобуса (19, 21 та 24°C відповідно). В даному випадку кабіна водія є менш обігрітою, ніж салон. Температура коливається в межах 18-19, 20-21 та 23-24°C відповідно.

При задньомоторній компоновці автобуса з розташуванням опозитного двигуна горизонтально в мотовідсіку під задніми сидіннями було змодельовано повітряні потоки з врахуванням того, що додатковий вентилятор є розташований на стінці мотовідсіку внизу на рівні ніг.

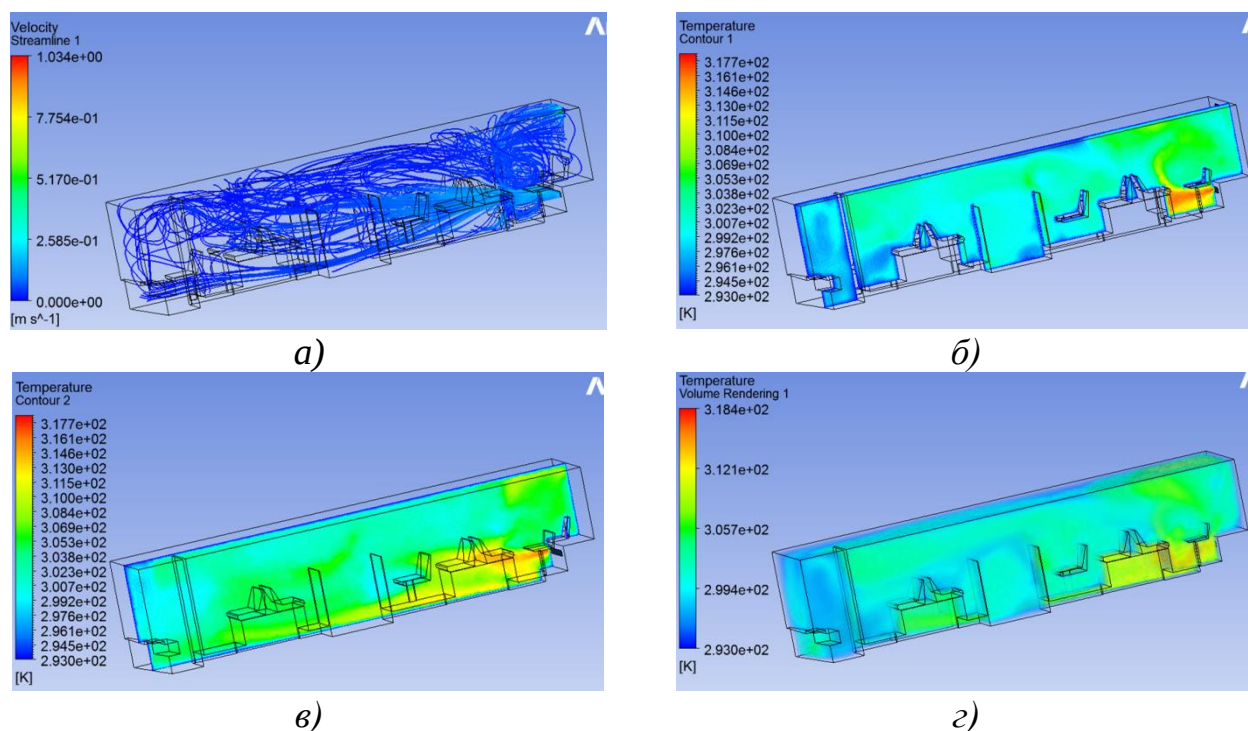


Рисунок 3.9 – Розподіл температур по салону з розташуванням опозитного двигуна ззаду: а) рух повітряних потоків по салону; б) розподіл температур по площині на рівні лівого ряду сидінь; в) розподіл температур по площині на рівні середини салону; г) температурні карти по об'єму салону

Як бачимо на рис 3.9а повітряні потоки виходять із місця видування теплого повітря на стінці мотовідсіку під сидіннями в задній частині салону автобуса. Добре видно, що повітряні потоки інтенсивно розсіюються по салону турбулентними потоками зі швидкістю 0,18 та 0,2 м/с, а також потрапляють не в великій кількості в кабіну водія зі швидкістю 0,17-0,18 м/с за рахунок того, що кабіна водія не є відділена від салону наглухо.

Площину вибираємо на рівні сидінь лівого ряду (рис. 3.9б) та на рівні середини салону (рис. 3.9в). Як видно, найбільші значення температур становлять в задній частині автобуса на рівні ніг та поясу $24-28^{\circ}\text{C}$. Далі по салону відбувається спад температур, вона сягатиме по середині автобуса $18-22^{\circ}\text{C}$ та в кабіні водія $18-20^{\circ}\text{C}$.

Надалі слід порівняти результати моделювання при трьох режимах роботи вентилятора (рис. Е.5) у додатку Е.

Інтенсивність розподілу повітряних мас по салону автобуса при 3-х режимах роботи додаткового вентилятора, що розташований в задній частині автобуса на рівні ніг сидячого пасажера, є майже однаковою. По всьому салону автобуса повітря розподіляється приблизно з незмінними швидкостями (якщо не враховувати місця виходу повітря). Швидкість повітря по салону в задній частині є високою та становить 0,4, 0,45 та 0,6 м/с відповідно. Посередині салону швидкість повітря становить 0,18, 0,35 та 0,45 м/с відповідно. В кабіну водія повітряні потоки потраплять дещо менше, але інтенсивність руху повітря залишається високою та становить 0,17, 0,3 та 0,4 м/с відповідно. Температурні карти салону показують, що найбільший рух повітря є в зоні ніг сидячого пасажера (задній ряд сидінь). Рівень температур там сягає 26, 28 та 31°C відповідно. Рівень температур у середній частині салону становить 20, 22 та 25°C . Кабіна водія є менш обігрітою - рівень температур сягає 18, 20 та 23°C .

3.3. Аналіз впливу повітряних дверних завіс на мікроклімат салону автобуса

3.3.1. Використання повітряних завіс в ТЗ

На зупинках ТЗ, під час відкриття дверей відбувається надходження холодного/гарячого тепла в салон, через що створюється дисбаланс температури. Для усунення цієї проблеми, за допомогою повітряних завіс

можна блокувати повітрообмін між салоном автобуса та зовнішнім середовищем.

Використання опалювачів такої конструкції на КТЗ показано на рис. 3.10. Факти щодо їх енергозбереження не до кінця вивчені. Хоча в певних джерелах літератури стверджують, що енергозберігаючий повітряний екран може значно скоротити витрати на опалення та охолодження до 80% [138], захищаючи внутрішній клімат і підвищуючи комфорт для людей/пасажирів.

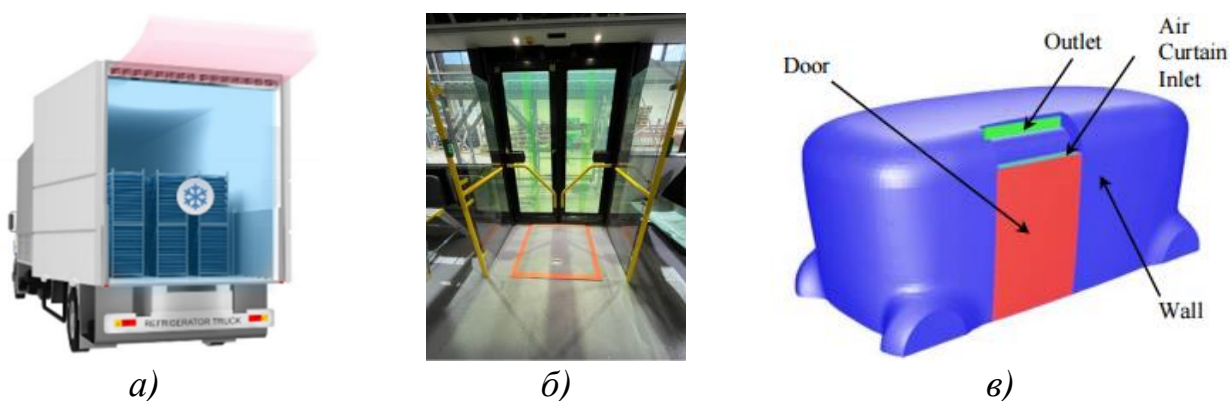


Рисунок 3.10 – Використання повітряних завіс на ТЗ: а) вантажівка-рефрижератор; б) автобуса; в) просторова модель повітряних завіс автобуса малого класу

Потік повітря із повітряних завіс вважається турбулентним, оскільки число Рейнольдса є вище критичного значення 2300. Оскільки цей пристрій повітряної завіси працює до того, як двері відчиняться, тому струмінь повітря повинен формуватися до відкриття дверей.

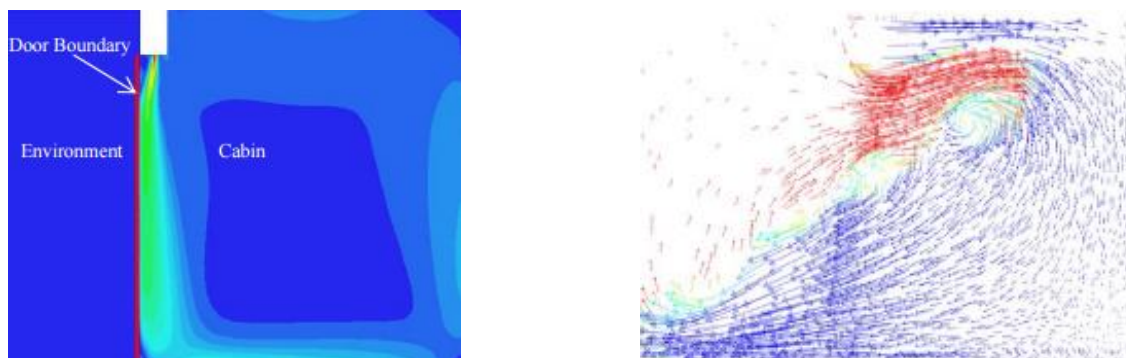


Рисунок 3.11 – Приклади моделювання роботи повітряних завіс [139]

Коли повітря на вулиці холодне, а салон автобуса обігрівається, різниця температур може становити від 20 до 40°C. Коли двері відкриваються для пасажирів, тепле повітря виходить і замінюється холодним повітрям, що потрапляє ззовні. Коли двері знову зачиняються, салон автобуса потрібно знову нагріти до потрібного рівня температури. Така ж проблема виникає, коли салон охолоджується, а зовнішнє повітря тепле. Потім холодне повітря виходить із відкритих дверей і замінюється теплим.

Зміна температури в транспортних засобах з більш високими дверима є більшою, тому в порівнянні з одиницею об'єму теплообмін більший в салонах довших транспортних засобів з меншими дверима, як показано на рис. 3.12 [140].

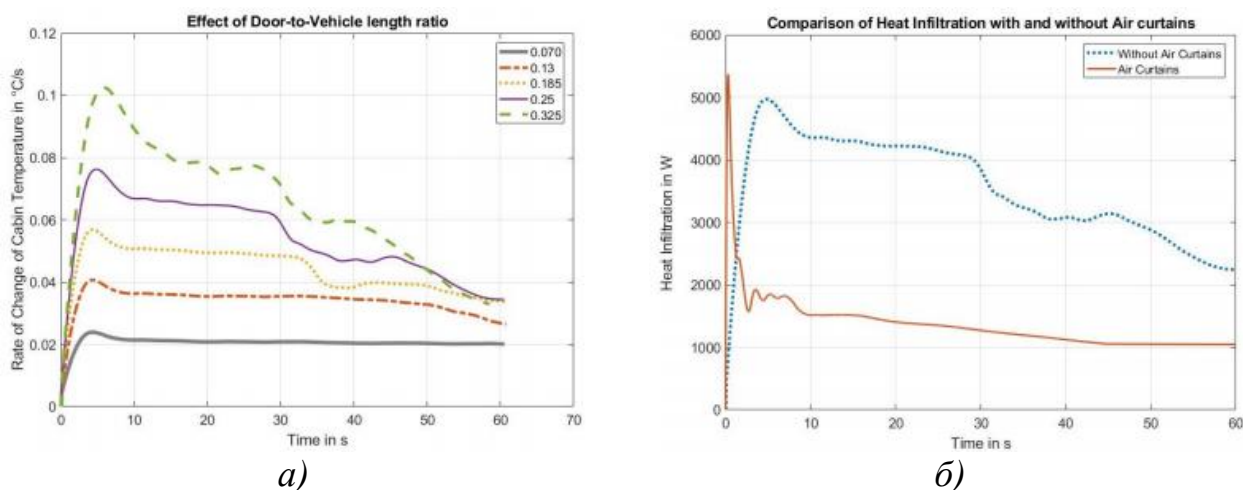


Рисунок 3.12 – Залежності повітряних завіс [139]: а) ефект від розмірів дверей; б) залежність теплоти з та без повітряних завіс

Для менших співвідношень довжини дверей і транспортного засобу спостерігається, що температура в салоні майже постійна від 10 до 50 с, оскільки доступна більша частка більш холодного повітря.

Враховуючи специфіку конструкції автобусних дверей, слід розглянути три варіанти розміщення повітряних завіс, а саме розміщення над дверима, біля дверей та внизу під кутом.

В подальшому ході даної наукової роботи було змодельовано роботу додаткових опалювачів в системі опалення автобуса, а саме повітряних завіс, встановлених над, біля пасажирських дверей та розміщених внизу під кутом. Розрахунки проводились при 4-х варіантах роботи опалювачів, коли працюють всі завіси, працює передня завіса, працює середня завіса та працює задня завіса.

Для повноти експерименту до крайових умов розрахунку було додано 3 режими роботи опалювачів з такими вихідними даними: 1-й – швидкість повітря 0,25 м/с та температура 45°C; 2-й – швидкість повітря 0,5 м/с та температура 50°C; 3-й – швидкість повітря 0,75 м/с та температура 55°C.

3.4.2. Моделювання роботи повітряних завіс салону автобуса розміщених над дверима

Розглянемо компонування системи опалення автобуса із розташуванням повітряних завіс над пасажирськими дверима (схема рис. 3.13).

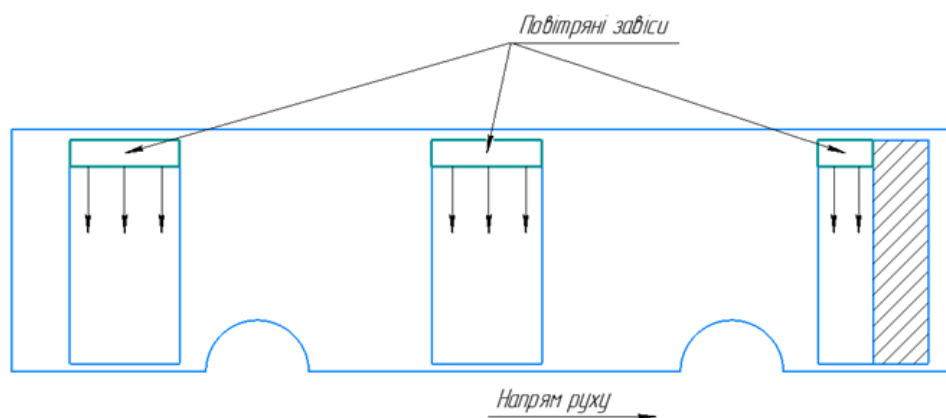


Рисунок 3.13 – Схема розміщення завіс над дверима

Далі розглянемо температурні карти посередині (рис. 3.14), по лівому (рис. 3.15) та правому рядах (рис. 3.16) салону автобуса при першому режимі роботи. Результати моделювання при другому та третьому режимах роботи наведено у додатку Ж (рис. Ж.1).

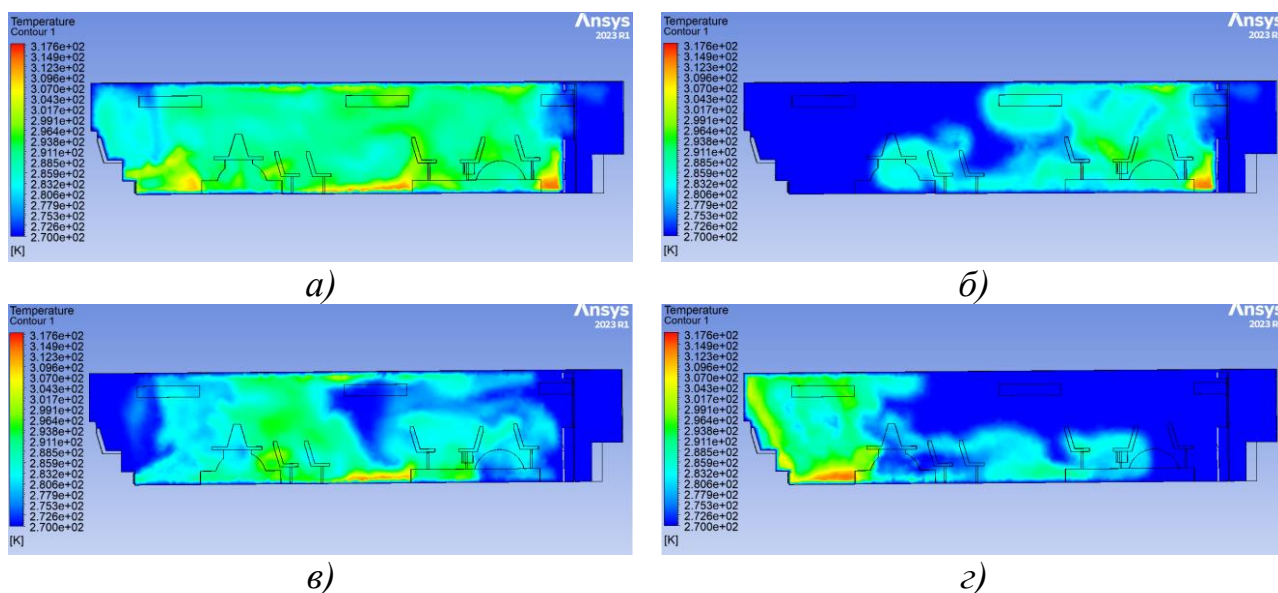


Рисунок 3.14 – Температурні карти по середині салону автобуса при 1-му режимі роботи завіс встановлених над дверима: а) працюють всі повітряні завіси; б) працюють передні повітряні завіси; в) працюють середні повітряні завіси; г) працюють задні повітряні завіси

На рис. 3.14а, Ж.1а та Ж.2а при роботі усіх повітряних завіс по салону температура приблизно однакова та становить в район 18-20°C, 20-22°C та 23-25°C, відповідно, а в районі накопичувальної площадки та заднього звису сягає до 24°C, 26°C та вище 26°C. При роботі передньої повітряної завіси (рис. 3.14б, Ж.1б та Ж.2б) опалюється перед салону автобуса. Температура коливається в межах 16-18°C, 18-19°C та 20-24°C, відповідно, та далі до накопичувальної площадки падає. В результаті половина накопичувальної площадки теплом не досягається і далі на рівні ніг до задньої частини знижується до 8-10°C, 10°C, крім 3-го режиму роботи, де накопичувальна площадка опалюється та температура становитиме 18-20°C, і далі знижуватиметься до 12-14°C та розподілятиметься до заднього звису. При роботі середньої повітряної завіси (рис. 3.14в, Ж.1в) краще обігрівається район задніх осей, а при 3-му режимі розподіл температур більш рівномірний (рис. Ж.2в). Температура становить в межах 18-20°C, 20°C та 20-24°C, відповідно. По середині салону не обігріваються зони голови на переді та частково на накопичувальній площадці та в задній частині салону. При роботі завіс в задній частині (рис. 3.14г, Ж.1г та

Ж.2г) обігрівается тільки задній звис. Температура варіюється в межах 20-24°C, 20-26°C та 24-26°C і вище, відповідно. Перед салону не обігрівается, а в зоні накопичувальної площадки тільки в ногах температура становить приблизно 10°C, 10-12°C та 14°C, відповідно.

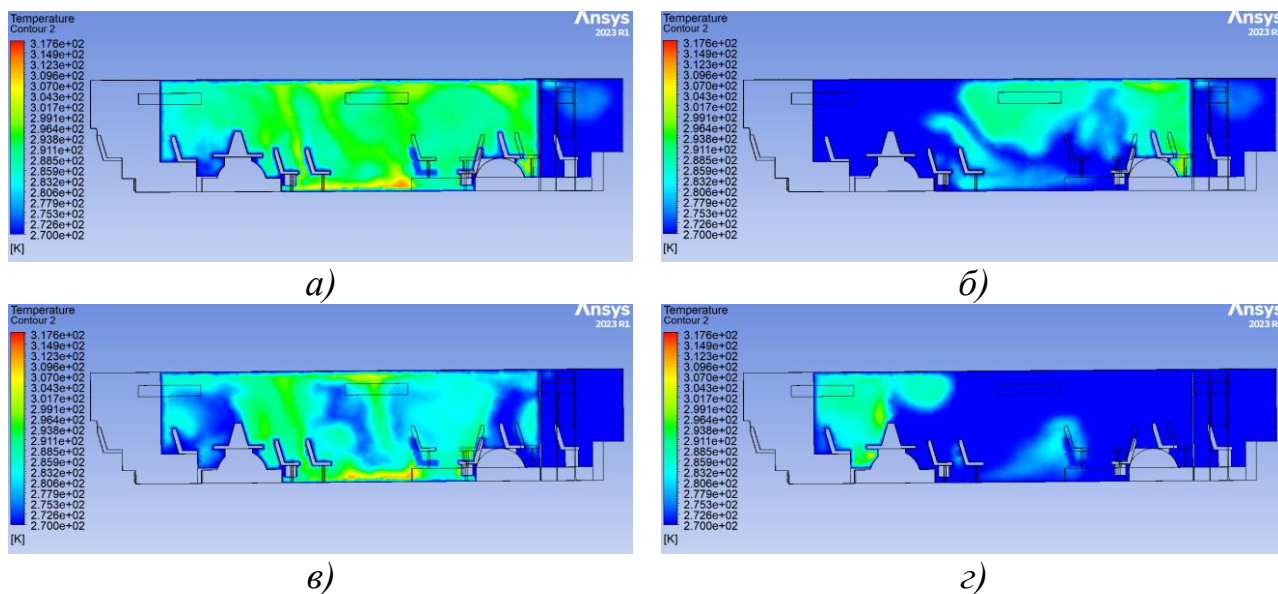


Рисунок 3.15 – Температурні карти по лівому ряду сидінь салону автобуса при 1-му режимі роботи завіс встановлених над дверима: а) працюють всі повітряні завіси; б) працюють передні повітряні завіси; в) працюють середні повітряні завіси; г) працюють задні повітряні завіси

На рис. 3.15а, Ж.3а та Ж.4а розподіл температур при роботі усіх повітряних завіс по всьому салону приблизно однаковий з температурою в межах 18-20°C, 20-22°C та 22-24°C, відповідно, а в певних місцях накопичувальної площадки при 3-му режимі роботи може становити вище 24°C. При роботі передньої повітряної завіси (рис. 3.15б, Ж.3б та Ж.4б) опалюється перед салону. Температура корелюється в межах 12-18°C, 14-19°C та 20-24°C, відповідно, та далі до зони накопичувальної площадки меншає та на рівні голови становить приблизно 14°C, 14-15°C та 15-18°C, відповідно. В ногах та поясі накопичувальна площадка майже теплом не досягається. При роботі середньої повітряної завіси (рис. 3.15в, Ж.3в та Ж.4в) краще обігрівается ділянка салону в районі задніх осей. Температура там становить в районі 18°C, 19°C та 22°C, відповідно. В зоні накопичувальної площадки

температура становить в межах 12-15°C, 13-16°C та 16-18°C, відповідно. При роботі завіс в задній частині (рис. 3.15г, Ж.3г та Ж.4г) обігривається тільки задній звис, а при 3-му режимі роботи і частково накопичувальна площадка. Температура становить 10-14°C, 12-15°C та 16-18°C, відповідно. Передня частина теплом не досягається, тільки при 3-му режимі слабо обігривається, а в зоні накопичувальної площадки тільки в ногах значення температури становить при 1-му і 2-му режимі менше 10°C, а при 3-му – 14°C.

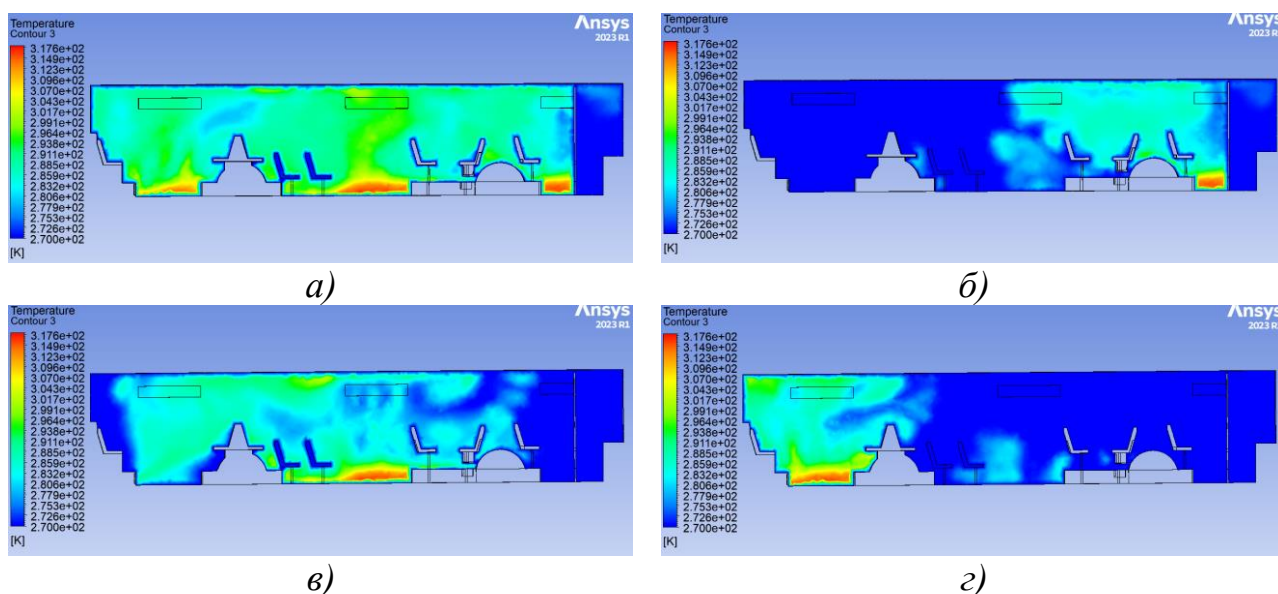


Рисунок 3.16 – Температурні карти по правому ряду сидінь салону автобуса при 1-му режимі роботи завіс встановлених над дверима: а) працюють всі повітряні завіси; б) працюють передні повітряні завіси; в) працюють середні повітряні завіси; г) працюють задні повітряні завіси

На рис. 3.16а, Ж.5а та Ж.6а розподіл температур при роботі усіх повітряних завіс приблизно однаковий та становить в районі 18-20°C, 22-24°C та 24-26°C, відповідно, а в деяких ділянках салону при 3-му режимі роботи і вище. При роботі передньої повітряної завіси (рис. 3.16б, Ж.5б та Ж.6б) опалюється перед салону автобуса, а при 3-му режимі і середина салону. Температура корелюється в межах 12-18°C, 15-19°C та 22-24°C, відповідно, та далі до накопичувальної площадки падає та тільки на рівні голови пасажирів становить приблизно 14°C, 14-16°C та 16-18°C, відповідно. Нижче рівня

поясу, при 1-му та 2-му режимі роботи, накопичувальна площадка майже теплом не досягається. При роботі середньої повітряної завіси (рис. 3.16в, Ж.5в) більш інтенсивно обігрівается ділянка салону в задній частині, в при 3-му режимі (рис. Ж.5в) салон в більшості опалюється рівномірно. Температура там становить в межах 18-20°C, 20-21°C та 22°C, відповідно. В зоні накопичувальної площадки температура є в межах 12-15°C, 15-16°C, 18-22°C. При роботі завіс в задній частині (рис. 3.16г, Ж.5г та Ж.6г) обігрівается тільки задній звис. Температура становить 10-14°C, 15-18°C та 20-24°C. Передня частина не обігрівается, а в зоні накопичувальної площадки тільки в ногах значення температури є невисоке – менше 10°C при 1-му і 2-му режимі роботи, а при 3-му режимі – менше 14°C.

3.4.3. Моделювання роботи повітряних завіс салону автобуса розміщених біля дверей

Розглянемо компоновку системи опалення автобуса із розташуванням повітряних завіс біля пасажирських дверей (схема рис. 3.17).

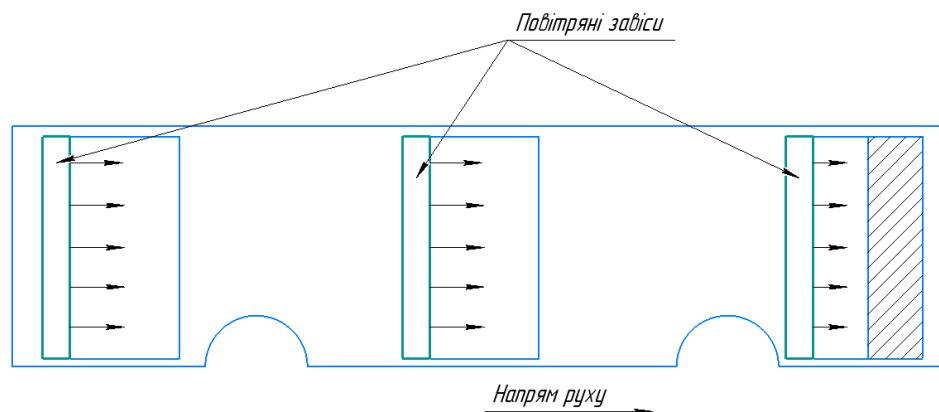


Рисунок 3.17 – Схема розміщення завіс біля дверей

Далі будемо розглядати температурні карти посередині (рис. 3.18), по лівому (рис. 3.19) та правому рядах (рис. 3.20) салону автобуса при першому режимі роботи.

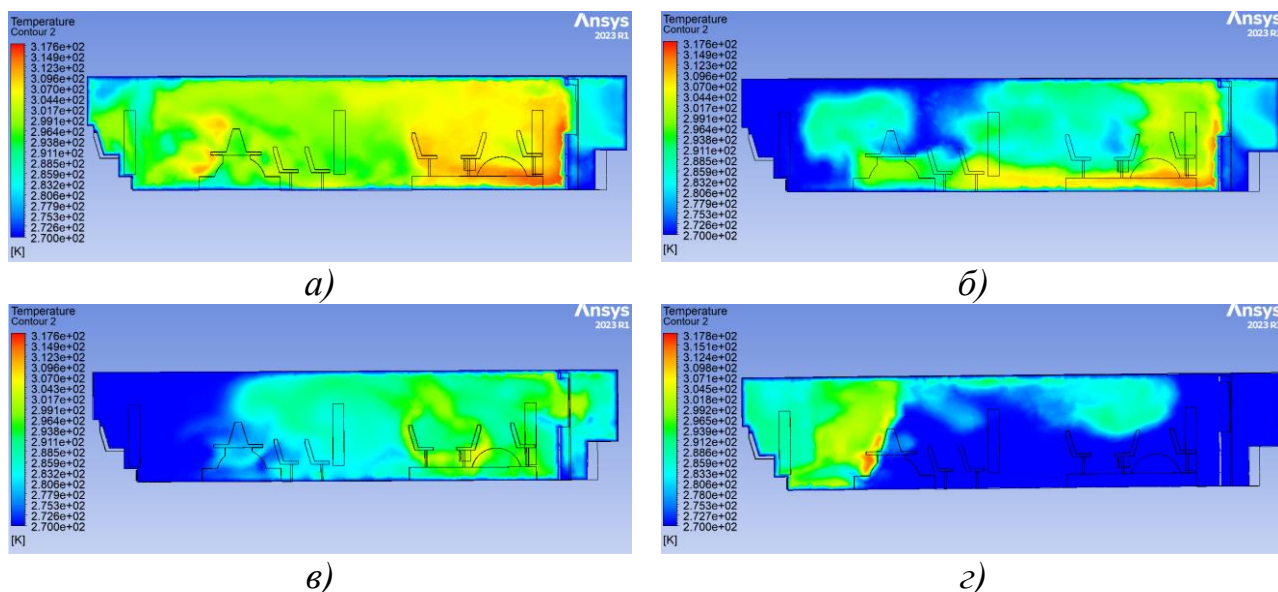


Рисунок 3.18 – Температурні карти по середині салону автобуса при 1-му режимі роботи завіс встановлених біля дверей: а) працюють всі повітряні завіси; б) працюють передні повітряні завіси; в) працюють середні повітряні завіси; г) працюють задні повітряні завіси

На рис. 3.18а, Ж.7а та Ж8а розподіл температур при роботі усіх повітряних завіс не однаковий, натомість при 2-му та 3-му режимах роботи розподіл температури є здебільшого однаковий з інтенсивним обігрівом передньої частини (при 2-му режимі) та інтенсивному обігріві всього салону (при 3-му режимі). На переді салону автобуса температура коливається в межах 22-25°C, 25-26°C та 26°C і вище, відповідно, в місцях накопичувальної площадки та задній частині температура коливається в межах 17-20°C, 19-21°C та 22-25°C, відповідно. При роботі передньої повітряної завіси (рис. 3.18б, Ж.7б та Ж.8б) теплом досягається передня частина салону та дещо зона ніг накопичувальної площадки, а при 3-му режимі зона ніг досягається теплом по всьому салону. Температура в зоні ніг становить 18-19°C, 21-22°C та 22-24°C, відповідно, та далі до накопичувальної площадки падає та коливається в межах 17-18°C, 19-20°C та 20-21°C, відповідно. В зоні голови на переді температура становить 20-21°C, 22°C та 22-24°C, відповідно, та далі падає до 17-18°C, 18-20°C та 20-21°C, відповідно. Частково відбувається обігрів заднього звису в

межах 15-16°C, 16-18°C та 17-19°C, відповідно. При роботі середньої повітряної завіси (рис. 3.18в, Ж.7в та Ж.8в) передня і середня частина салону опалюється відносно однаково, в межах 18-20°C, 20-21°C та 21-22°C, відповідно, у зонах голови та ніг, натомість задній звис не обігрівается, а на переді при 3-му режимі температура сягає до 24°C. При роботі завіс в задній частині (рис. 3.18г, Ж.7г та Ж.8г) теплом осягається тільки задній звис та у малих кількостях зона голови на переді та на накопичувальній площадці. Температура варіюється в значеннях 15-17°C, 18-21°C та 20-22°C, відповідно, та при 3-му режимі температура далі падає до 18-20°C.

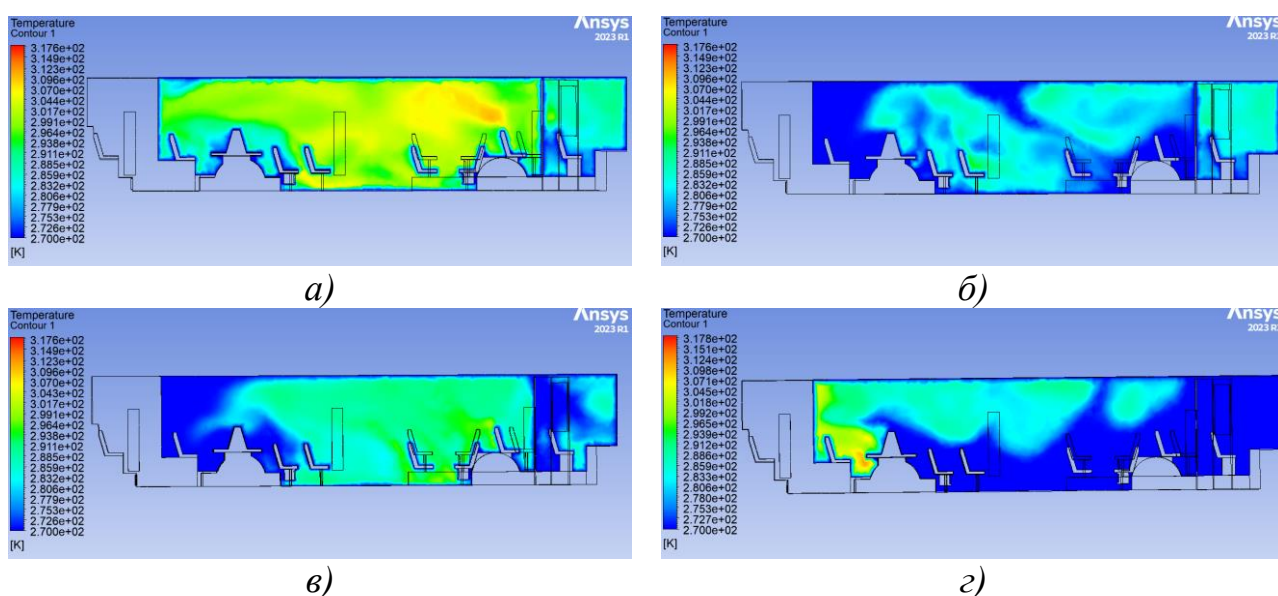


Рисунок 3.19 – Температурні карти по лівому ряду сидінь салону автобуса при 1-му режимі роботи завіс встановлених біля дверей: а) працюють всі повітряні завіси; б) працюють передні повітряні завіси; в) працюють середні повітряні завіси; г) працюють задні повітряні завіси

На рис. 3.19а, Ж.9а та Ж.10а розподіл температур при роботі усіх повітряних завіс здебільшого однаковий. На переді салону автобуса температура становить в районі 18-20°C, 20-22°C та 21-23°C, відповідно, тільки при 1-му режимі на рівні голови може досягати до 22°C, а при 3-му режимі на здньому звисі в ногах температура падає до 18-20°C. В місцях накопичувальної площадки та на задньому звисі температура повітря становить

в межах 16-18°C, 19-22°C та 21-23°C, відповідно. При роботі передньої повітряної завіси (рис. 3.19б, Ж.9б та Ж.10б) слабо опалюються усі зони салону. Температура коливається в межах 8-10°C, 11-13°C та 16-18°C, відповідно. Задня частина салону не обігрівается при 1-му, а при 2-му режимі обігрівается дуже слабо. При роботі середньої повітряної завіси (рис. 3.19в, Ж.9в та Ж.10в) передня і середня частини салону обігріваються відносно однаково, а при 2-му та 3-му режимі весь салон, в межах 13-16°C, 17-18°C та 18-19°C, відповідно, у зонах голови та ніг, натомість задня частина не обігрівається при 1-му режимі. При роботі завіс в задній частині (рис. 3.19г, Ж.9г та Ж.10г) обігрівається тільки задній звис в межах 16-18°C, 20°C та зона голови на накопичувальній площадці. Температура там корелюється в значеннях 13-15°C, але при 2-му режимі весь салон майже не обігрівається, температура становить в межах менше 10°C, а при 3-му режимі на задньому звисі температура становить в межах 22°C, і надалі падає до 14-16°C.

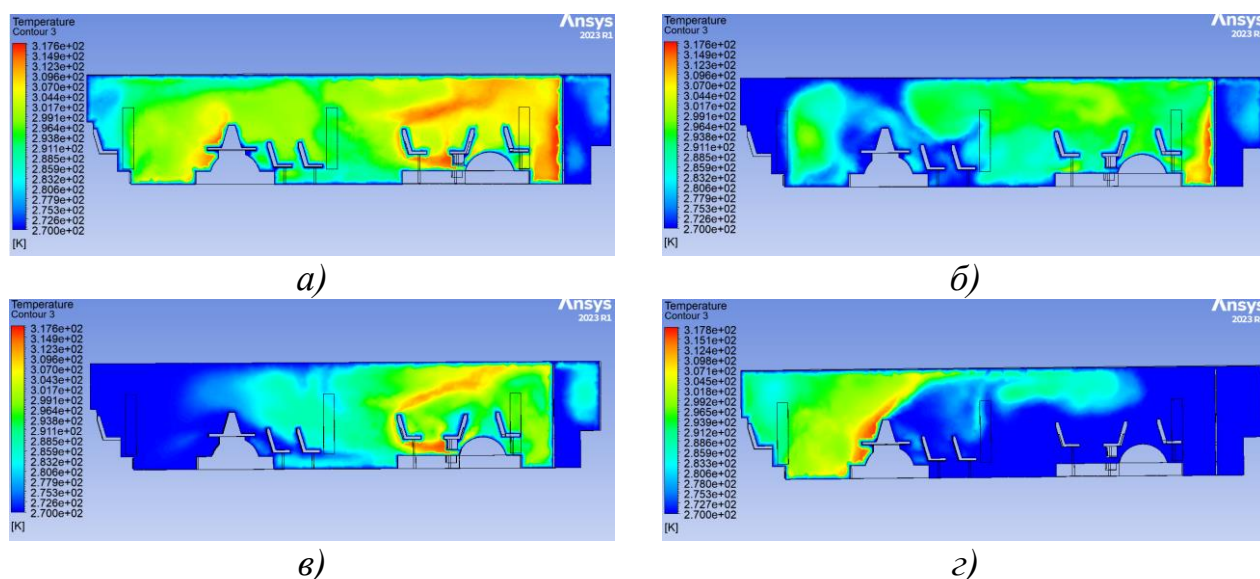


Рисунок 3.20 – Температурні карти по правому ряду сидінь салону автобуса при 1-му режимі роботи завіс встановлених біля дверей: а) працюють всі повітряні завіси; б) працюють передні повітряні завіси; в) працюють середні повітряні завіси; г) працюють задні повітряні завіси

На рис. 3.20а, Ж.11а та Ж.12а розподіл температур при роботі усіх повітряних завіс по салону не є однаковий, крім 3-го режиму, де теплом

охватується весь салон приблизно однаково. На переді салону автобуса відбувається інтенсивний обігрів, температура варіюється в межах 25-26°C, 26°C і вище, відповідно, в місцях накопичувальної площадки та на задньому звисі становить 20-21°C, 23-25°C та 26°C, відповідно. При роботі передньої повітряної завіси (рис. 3.20б, Ж.11б та Ж.12б) опалюється перед та середина салону автобуса здебільшого однаково 18-20°C, 20-21°C та 21-22°C, крім зони передніх дверей, де температура в ногах має значення 25-26°C, 26°C і вище, відповідно. При роботі середньої повітряної завіси (рис. 3.20в, Ж.11в та Ж.12в) перед і середина салону обігріваються відносно однаково, в межах 20-22°C, 22-23°C та 23-24°C, відповідно, тільки у зоні голови температура може досягати до 22-23°C, 24°C та 25-26°C, відповідно, натомість задня частина не обігрівається, а на 2-му режимі обігрівається з температурою 16-18°C та 20-21°C на 3-му. При роботі завіс на задньому звисі (рис. 3.20г, Ж.11г та Ж.12г) охоплюється теплом тільки задня частина салону та у малих кількостях зона голови на накопичувальній площадці. Температура становить 18-19°C, 20-21°C та 23-25°C, відповідно, а на накопичувальній площадці 13-15°C, 15-17°C та 17-18°C, відповідно.

3.4.4. Моделювання роботи повітряних завіс салону автобуса розміщених внизу

Ще будемо розглядати один нестандартний варіант розміщення повітряних завіс, а саме внизу, які є розміщені під кутом (схема рис. 3.21), тобто матимемо видув повітря під кутом в обидві сторони та оцінимо їхню продуктивність.

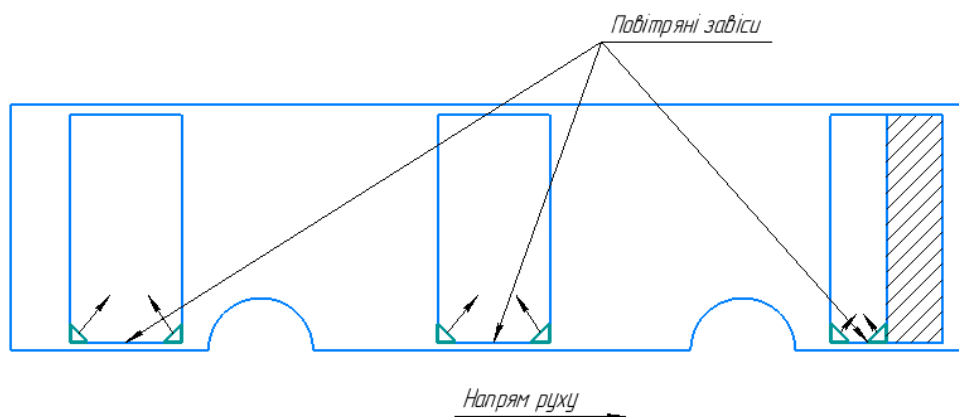


Рисунок 3.21 – Схема розміщення завіс внизу під кутом

Надалі показано температурні карти посередині (рис. 3.22), по лівому (рис. 3.23) та правому рядах (рис. 3.24) салону автобуса при першому режимі роботи.

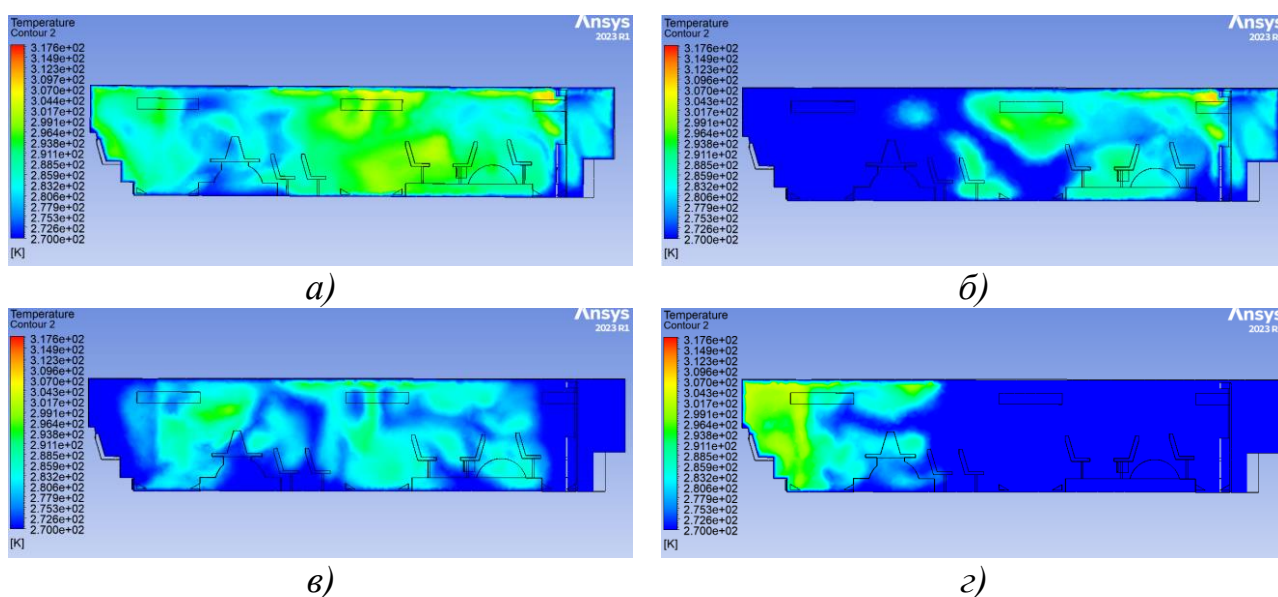


Рисунок 3.22 – Температурні карти по середині салону автобуса при 1-му режимі роботи завіс встановлених внизу під кутом: а) працюють всі повітряні завіси; б) працюють передні повітряні завіси; в) працюють середні повітряні завіси; г) працюють задні повітряні завіси

На рис. 3.22а, Ж13а та Ж.14а розподіл температур при роботі усіх повітряних завіс по салону є приблизно однаковий, температура коливається в межах 14-15°C, 16-18°C та 19-22°C, відповідно, крім ділянки над задніми

осями, де значення температури може сягати менше 10°C при 1-му режимі роботи, натомість при 2-му режимі роботи в зоні голови посередині салону температура може сягати до 21°C . Тільки на переді салону при 3-му режимі температура є трішки нижча та становить 18°C . При роботі передніх повітряних завіс (рис. 3.22б, Ж.13б та Ж.14б) обігрів салону відбувається доволі слабо, а при 2-му та 3-му режимі досягається майже весь салон. Температура на переді салону становить місцями $12-14^{\circ}\text{C}$, $16-18^{\circ}\text{C}$ та $18-19^{\circ}\text{C}$, відповідно, середня частина опалюється тільки на рівні голови з температурою не вище 12°C при 1-му режимі, а при 2-му режимі по всьому салону в середньому температура варіюється надалі в межах $14-16^{\circ}\text{C}$ та $18-19^{\circ}\text{C}$ при третьому. Задня частина салону взагалі не досягається теплом при 1-му режимі. Під час роботи середніх завіс (рис. 3.22в, Ж.13в та рис. Ж.14в) салон також опалюється слабо, температура варіюється в районі $10-12^{\circ}\text{C}$, $12-15^{\circ}\text{C}$ та $16-18^{\circ}\text{C}$, відповідно, а місцями взагалі теплом не досягається при 1-му режимі роботи. При роботі задніх повітряних завіс (рис. 3.22г, Ж.13г та рис. Ж.14г), опалюється тільки задня частина. Температура коливається в межах $16-17^{\circ}\text{C}$, а при 2-му режимі роботи тепло дещо розсіюється до середини салону по зоні ніг та голови. Температура там становитиме не вище $14-15^{\circ}\text{C}$, а при 3-му режимі роботи теплом повністю досягається зона ніг по салону аж до передніх осей з температурою 16°C , а в зоні голови на задніх сидіннях температура може сягати аж до 22°C .

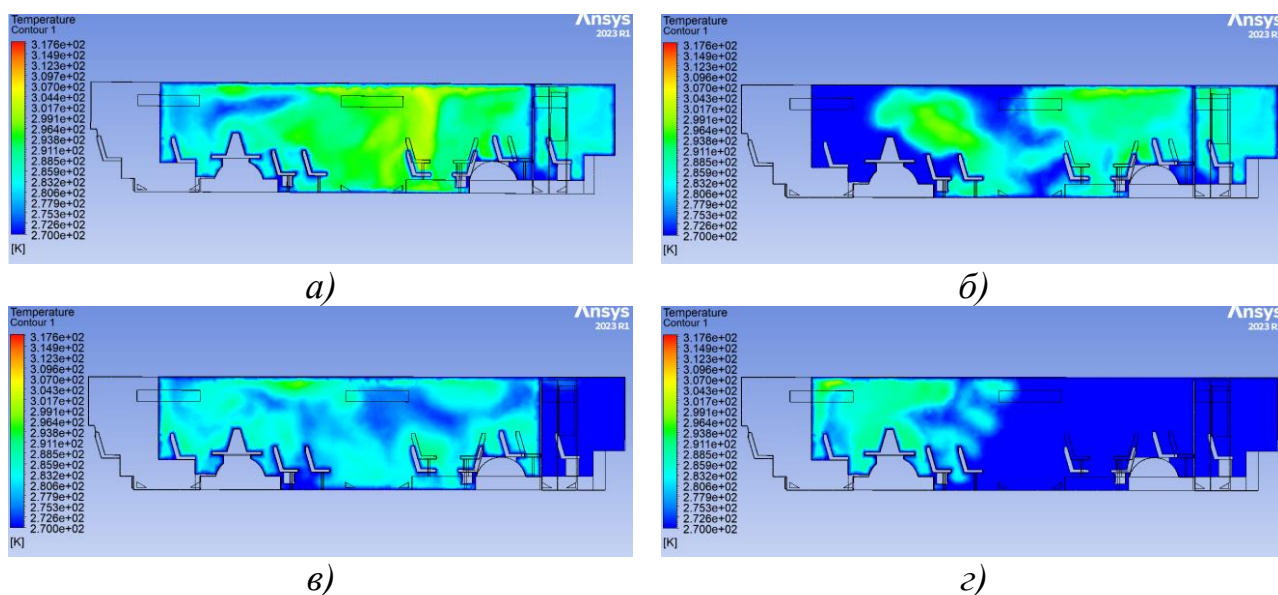


Рисунок 3.23 – Температурні карти по лівому ряду салону автобуса при 1-му режимі роботи завіс встановлених внизу під кутом: а) працюють всі повітряні завіси; б) працюють передні повітряні завіси; в) працюють середні повітряні завіси; г) працюють задні повітряні завіси

На рис. 3.23а, Ж.15а та Ж.16а розподіл температур при роботі усіх повітряних завіс по салону є приблизно однаковий, температура коливається в межах 14-15°C, 16-17°C та 18-20°C, відповідно, крім ділянки над задніми осями, де значення температури може сягати менше 10° в певних місцях при 1-му режимі та по середині салону температура може сягати до 20°C та 22-23°C при 2-му та 3-му режимі роботи, відповідно. При роботі передніх повітряних завіс (рис. 3.23б, Ж.15б та Ж.16б) обігрів салону відбувається доволі слабо. Температура на переді салону становить місцями 12-14°C, середня частина опалюється тільки в зоні ніг та далі теплота розподіляється до заду з температурою не вище 14°C, а задня частина салону взагалі не досягається теплом, натомість при 2-му та 3-му режимі роботи салон досягається теплом доволі однаково з температурою 17-18°C та 18-19°C, відповідно. Під час роботи середніх завіс (рис. 3.23в, Ж.15в та Ж.16в) салон також опалюється слабо при 1-му режимі, температура варіюється в районі 8-11°C, а місцями взагалі теплом не досягається, а при 2-му та 3-му режимі салон опалюється доволі однаково з температурою 15-18°C та 18-19°C, відповідно. При роботі

задніх повітряних завіс (рис. 3.23г, Ж.15г та Ж.16г), опалюється тільки задня частина та місцями над задніми осями. Температура коливається в межах 14-15°C, а при 2-му та 3-му режимі тепло розсіюється до накопичувальної площадки, температура становить 15-16°C та 16-18°C, відповідно.

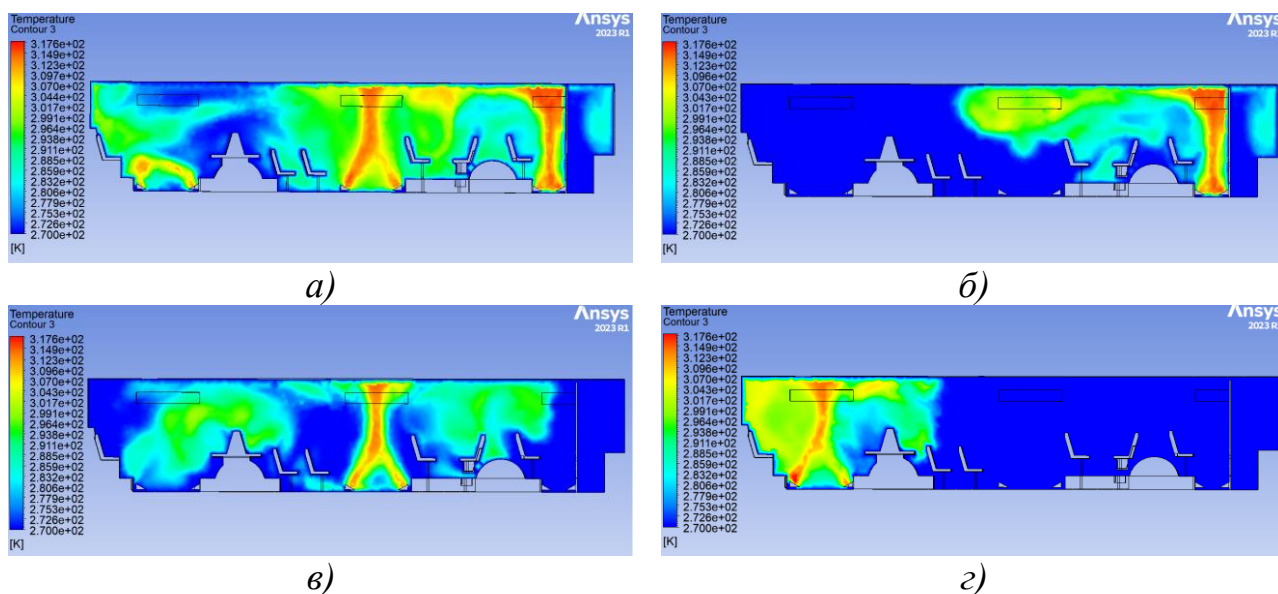


Рисунок 3.24 – Температурні карти по правому ряду салону автобуса при 1-му режимі роботи завіс встановлених внизу під кутом: а) працюють всі повітряні завіси; б) працюють передні повітряні завіси; в) працюють середні повітряні завіси; г) працюють задні повітряні завіси

На рис. 3.24а, Ж.17а та Ж.18а розподіл температур при роботі усіх повітряних завіс по салону не є однаковий, температура коливається в межах 17-20°C, 20-22°C та 20-26°C, відповідно крім ділянок біля зон видування повітря, де значення температури може сягати більше 24°C, 26°C та вище 26°C. При роботі передніх повітряних завіс (рис. 3.24б, Ж.17б та Ж.18б) обігрів салону відбувається доволі слабо. Температура на переді салону становить місцями до 16°C при 1-му режимі, крім ділянок видуву гарячого повітря, середня частина опалюється тільки в зоні голови з температурою не вище 16°C, а задня частина салону взагалі не досягається теплом, натомість при 2-му та 3-му режимі температура по салону розподіляється приблизно однаково та становить 18-20°C та 20-21°C, відповідно, окрім місць видування гарячого

повітря. Під час роботи середніх завіс (рис. 3.24в, Ж.17в та Ж.18в) салон також опалюється слабо, в зонах над передніми і задніми осями температура варіюється в районі 12-15°C, а в місцях видуву гарячого повітря становить до 24°C, натомість при 2-му та 3-му режимі розподіл температур приблизно однаковий 18-20°C та 20-22°C, відповідно, крім ділянки над задніми осями, де температура становить менше 10°C при 2-му режимі, тільки в зоні видування гарячого повітря ми матимемо значне підвищення температури. При роботі задніх повітряних завіс (рис. 3.24г, Ж.17г та Ж.18г), опалюється тільки задня частина та місцями над задніми осями. Температура коливається в межах 20-23°C та 18-19°C, відповідно, а при 3-му режимі роботи тепло розподіляється по салону аж майже до передніх осей в зоні ніг. Температура на рівні голови по середині салону при 3-му режимі становить 18-22°C, а в зоні ніг коливається в межах 16-18°C.

Як бачимо із огляду розподілу тепла по салону при використанні повітряних завіс розташованих внизу під кутом, ми матимемо в деяких ділянках недостатній обігрів або перегрів, тому даний варіант компонування такої системи опалення є не дуже добрим для застосування.

Висновки до розділу 3

1. Керуючись стандартами ASHRAE у програмі CBE Thermal Comfort Tool отримано зони комфорту для водія автобуса у залежності від теплових втрат при температурі повітря 22°C, швидкості повітря 0,1 м/с, його вологості повітря 60% з врахуванням рівня метаболізму та коефіцієнта ізоляції одягу.

2. Визначено вплив теплоти, яка виділяється під час роботи ДВЗ автобуса у моторний відсік та передається на стінки кузова автобуса при перепаді температур до 60°C у досліджуваних місцях.

3. Досліджено переміщення теплових потоків та розподіл температур для 5-ти компоновок ДВЗ автобуса в передній, в базі, задній частинах, при різних його розміщеннях. Найкраща циркуляція повітряних потоків відбувається при

розміщенні ДВЗ в задній частині салону автобуса з розташуванням двигуна горизонтально, що дозволяє отримати рівномірний розподіл повітряних мас по всьому салону автобуса в межах 18-22°C.

4. Опалювачі типу «повітряна завіса» мають ефективність 40-50%, що робить можливим зменшити кількість опалювачів, які розміщуються під сидіннями правого ряду та є ефективними при відкриванні дверей на зупинках і здатні працювати в системі кондиціонування.

5. Досліджено обігрів лівої, середньої та правої частини салону автобуса за допомогою опалювачів типу «повітряна завіса», встановлених над, біля та внизу дверних проїм на режимах: 1-й – швидкість повітря 0,25 м/с та температура 45°C; 2-й – швидкість повітря 0,5 м/с та температура 50°C; 3-й – швидкість повітря 0,75 м/с та температура 55°C, коли працюють всі завіси, тільки передня, середня і завіса на задньому звисі. Встановлено, що найкращий варіант використання повітряних завіс для обігріву салону є, коли завіси встановлені вертикально біля дверей, що дозволяє обігрівати салон на 50-60%. Розміщення повітряних завіс над дверима дозволяє обігріти салон до 40-50%. Варіант розміщення завіс внизу під кутом має найнижчу ефективність до 30-40% і не забезпечують ефекту відсічення гарячого чи холодного повітря.

РОЗДІЛ 4. СИСТЕМА ОПАЛЕННЯ МІСЬКОГО АВТОБУСА

4.1. Обґрунтування параметрів та підбір автобуса для досліджень системи опалення та повітрообміну

4.1.1. Вибір моделі втробуса для досліджень

Проаналізувавши типи автобусів у транспортних парках великих європейських міст можна дійти висновку, що в основному на міських маршрутах застосовуються низько-підлогові автобуси типу Low-Entry підвищеної комфортності із можливістю перевезень інвалідів, дитячих колясок, із пневматичною підвіскою, системою клімат-контролю, ABS та ESP та т.п [132]. У додатку 3 наведено типи автобусів, які використовуються в міських зонах міст України, а також і міста Львова (рис. 4.1). Більшість таких автобусів, мають довжину 7-8, 9-9,5, 12, 13-15 та 18 м.



а) Electron A185



б) MAZ 203



в) LAZ A183



г) Mercedes-Benz O530



д) VDL LLE-120



е) Van Hool A330

Рисунок 4.1 – Моделі автобусів Low-Entry 10...12м, які експлуатуються у місті Львові

Для досліджень в даній роботі було вибрано виготовлений у м.Львові автобус українського виробництва Електрон А185 (рис. 4.1а). В АТП міста

Львова це є переважаюча модель серед автобусів подібного типу. Загальна їх кількість становить близько 130 шт.

Автобус Електрон А18501 обладнаний рідинною системою опалення з використанням тепла від системи охолодження силового агрегату і тепла від автономного рідинного підігрівача проточного типу моделі THERMO E320. Система опалення автобуса зображена на рис. 4.2 [141].

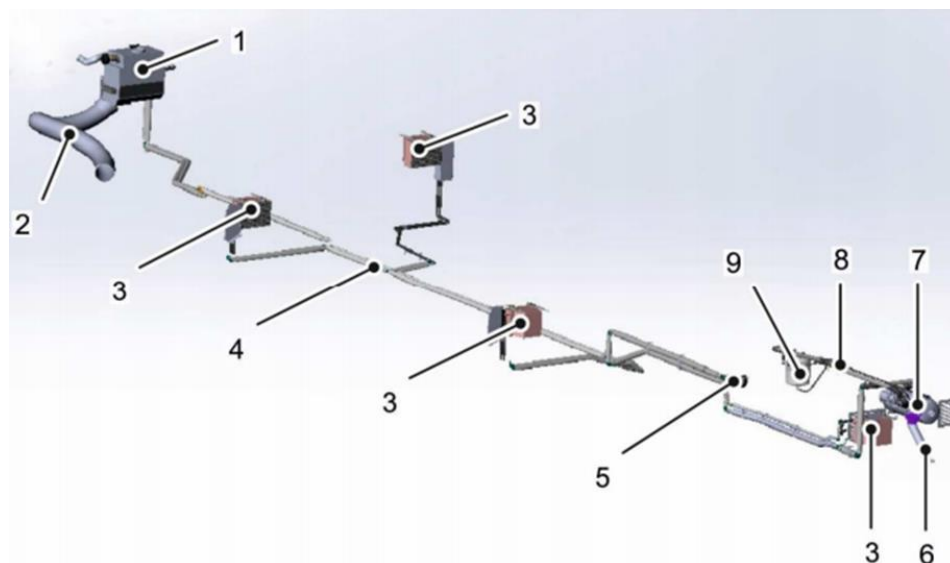


Рисунок 4.2 – Система опалення автобуса Електрон А1851 [141]: 1 – опалювач фронтальний; 2 –патрубок забору свіжого повітря; 3 – опалювачі салону; 4 – трубопроводи; 5, 8 – крани запірні; 6 – труба вихлопна автономного підігрівача; 7 – автономний підігрівач; 9 – паливний бачок автономного підігрівача

Робоче місце водія обігрівается фронтальним опалювачем 1. Салон обігрівается чотирма опалювачами салону 3. Кульові крани 5, 8 відкривають доступ рідини від системи охолодження силового агрегату до опалювачів салону та кабіни водія. В опалювачах встановлені двошвидкісні вентилятори, що дозволяє вибрати необхідну інтенсивність обігріву. Для обдуву вітрового скла на передній панелі кабіни водія є дифузори. В область ніг водія повітря подається через дифузори переднього опалювача. Фронтальний опалювач має заслінку, за допомогою якої можна перемикає режим циркуляції або рециркуляції повітря через опалювач водія.

Вентиляція салону автобуса здебільшого природня, припливно-витяжна. Є наявні розсувні кватирки у вікнах салону та вентиляційні люки на даху, які відкриваються вручну (рис. 4.3).

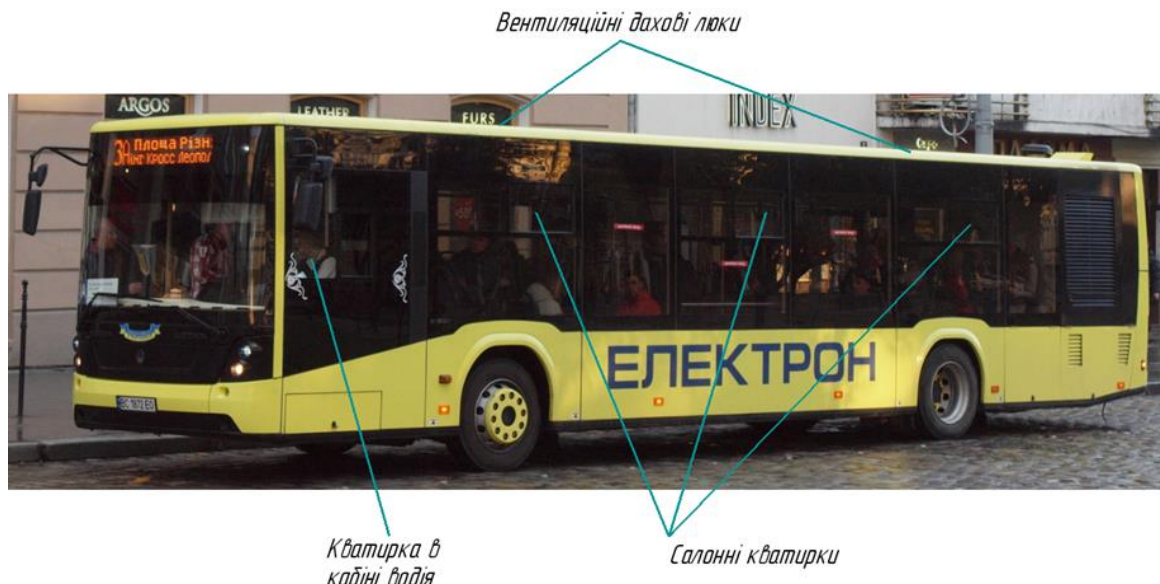


Рисунок 4.3 – Елементи системи природньої вентиляції автобуса

Основні технічні характеристики автобуса наведені в додатку И [141].

Проаналізувавши автобусну маршрутну систему міста Львова, можна дійти висновку, що даний тип автобуса застосовується на доволі протяжних маршрутах, які з'єднують великі спальні райони з центром міста, а також деякі населені пункти-супутники Львова (перелік маршрутів та схему маршрутної сітки наведено в додатку Й). Протяжність маршрутів є доволі великою, відповідно в теплу пору року при великому скупченні людей можливий тепловий дискомфорт в салоні вибраного автобуса.

Оскільки подальші дослідження будуть стосуватись системи опалення та повітрообміну наведеного вище автобуса, нам слід провести тепловий розрахунок та визначити яку кількість тепла має виробляти джерело опалення салону автобуса. Розрахунок теплового балансу салону автобуса проводимо згідно методики наведеної у розділі 2.

4.1.2. Тепловий розрахунок салону міського автобуса

Загальні теплові втрати кузова міського автобуса визначаємо згідно [24]:

$$Q = 1,1(Q_{\text{инф}} + Q_{\text{зуп}} + Q_{\text{куз}} - Q_{\text{дв}}) = 1,1(9,8 + 7,66 + 14,33 - 3,2) = 31,4 \text{ кВт}$$

де, Q – сумарна кількість теплоти, на яку повинен нагріти салон автобуса автономний опалювач; $Q_{\text{инф}}$ – кількість тепла, необхідна для нагрівання інфільтрованого повітря; $Q_{\text{зуп}}$ – теплові втрати, що виникають на службових зупинках при виході і вході пасажирів; $Q_{\text{куз}}$ – теплові втрати через поверхні кузова автобуса; $Q_{\text{дв}}$ – кількість теплоти, що надходить від двигуна через стінки мотовідсіку.

Кількість тепла, необхідна для нагрівання інфільтрованого повітря становить:

$$\begin{aligned} Q_{\text{инф}} &= c_{\text{нов}} G_{\text{инф}} (T_{\text{в}} - T_{\text{з}}) \frac{3600 - t_{\text{зуп}}}{3600} = \\ &= 0,24 \times 1290 \times (10 - (-30)) \times \frac{3600 - 1143}{3600} = 8452 \text{ ккал / год} = 9,8 \text{ кВт} \end{aligned}$$

де $c_{\text{нов}} = 0,24$ ккал/(кг*град) – питома теплоємність повітря; $G_{\text{инф}}$ – вагове надходження інфільтрованого повітря у салон, кг/год; $t_{\text{зуп}}$ – загальна тривалість зупинок за годину експлуатації, с.

Температура зовнішнього та внутрішнього повітря становить:

$T_{\text{з}} = -30$ °С – температура зовнішнього повітря; $T_{\text{в}} = + 10$ °С – температура внутрішнього повітря.

Вагове надходження інфільтрованого повітря становить:

$$G_{\text{инф}} = \rho_{\text{нов}} V_{\text{инф}} = 1,29 \times 1000 = 1290 \text{ кг / год}$$

де $\rho_{нов} = 1,29 \text{ кг/м}^3$ – густина повітря; $V_{инф} = 1000 \text{ м}^3/\text{год}$ – об'ємне надходження інфільтрованого повітря у салон.

Тривалість зупинок за одну годину експлуатації становить:

$$t_{зуп} = \frac{t_3 S_2}{S_{зуп}} = \frac{20 \times 20 \times 10^3}{350} = 1143 \text{ с}$$

де $t_3 = 20 \text{ с}$ – тривалість однієї зупинки; $S_2 = 20 \text{ км}$ шлях, пройдений автобусом за одну годину експлуатації; $S_{зуп} = 350 \text{ м}$ – розрахункова відстань між зупинками.

Теплові втрати, що виникають на службових зупинках при виході і вході пасажирів визначаємо:

$$\begin{aligned} Q_{ax} &= c n_{дв} G_{ax} t_{32} (T_6 - T_3) = \\ &= 0,24 \times 3 \times 0,2 \times 1143 \times (10 - (-30)) = 6583 \text{ ккал / год} = 7,66 \text{ кВт} \end{aligned}$$

де $n_{дв} = 3$ – кількість дверей; $G_{ax} = 0,2 \text{ кг/с}$ – мінімальне надходження повітря через одні відкриті двері автобуса.

Теплові втрати через поверхні кузова автобуса можна визначити:

$$Q_{куз} = Q_{дах} + Q_{вікн} + Q_{бок} + Q_{нидл} + Q_{зад} = 0,85 + 8,34 + 0,8 + 4,3 + 0,04 = 14,33 \text{ кВт}$$

$$Q_{куз} = \sum A_i K_i (T_6 - T_3)$$

- дах:

$$Q_{дах} = 21,84 \times 0,97 \times (10 - (-30)) = 0,85 \text{ кВт}$$

- вікна:

$$Q_{\text{вік}} = 27,5 \times 7,58 \times (10 - (-30)) = 8,34 \text{ кВт}$$

- бокові поверхні:

$$Q_{\text{бок}} = 20,61 \times 0,97 \times (10 - (-30)) = 0,8 \text{ кВт}$$

- підлога:

$$Q_{\text{підл}} = 21 \times 5,12 \times (10 - (-30)) = 4,3 \text{ кВт}$$

- задня стінка:

$$Q_{\text{зад}} = 0,92 \times 0,97 \times (10 - (-30)) = 0,04 \text{ кВт}$$

де, A – площі поверхонь кузова автобуса, через яку відбувається теплопередача, м^2 ; K – коефіцієнт теплопередачі поверхонь кузова автобуса $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \times \text{град}}$;

Визначення площ поверхонь кузова автобуса:

де $A_{\text{дах}} = 21,84 \text{ м}^2$ – площа даху; $A_{\text{вік}} = 27,5 \text{ м}^2$ – площа вікон; $A_{\text{бок}} = 20,61 \text{ м}^2$ – площа бокових поверхонь; $A_{\text{підл}} = 21 \text{ м}^2$ – площа підлоги; $A_{\text{зад}} = 0,92 \text{ м}^2$ – площа задньої стінки.

Коефіцієнт теплопередачі кузова автобуса визначаємо:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{a_6} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{a_3}}$$

де, δ_i – товщина шару стінки кузова (вибираємо із додатку К); λ_i – коефіцієнт теплопровідності матеріалів пакету стінки кузова автобуса

(вибираємо із додатку К); α_z , α_e – коефіцієнти теплообміну на внутрішній та зовнішній поверхні стінок кузова автобуса.

- для даху:

$$K_{\text{дах}} = \frac{1}{\frac{1}{20} + \left(\frac{0,0008}{50} + \frac{0,02}{0,021} + \frac{0,004}{1} \right) + \frac{1}{40,5}} = 0,97 \text{ Вт} / \text{м}^2 \times \text{град}$$

- для вікон:

$$K_{\text{вік}} = \frac{1}{\frac{1}{20} + \frac{0,004}{0,07} + \frac{1}{40,5}} = 7,58 \text{ Вт} / \text{м}^2 \times \text{град}$$

- для бокових поверхонь кузова:

$$K_{\text{бок}} = \frac{1}{\frac{1}{20} + \left(\frac{0,0008}{50} + \frac{0,02}{0,021} + \frac{0,004}{1} \right) + \frac{1}{40,5}} = 0,97 \text{ Вт} / \text{м}^2 \times \text{град}$$

- для підлоги:

$$K_{\text{підл}} = \frac{1}{\frac{1}{20} + \left(\frac{0,016}{0,16} + \frac{0,003}{0,15} \right) + \frac{1}{40,5}} = 5,12 \text{ Вт} / \text{м}^2 \times \text{град}$$

- для задньої стінки кузова:

$$K_{\text{бок}} = \frac{1}{\frac{1}{20} + \left(\frac{0,0008}{50} + \frac{0,02}{0,021} + \frac{0,004}{1} \right) + \frac{1}{40,5}} = 0,97 \text{ Вт} / \text{м}^2 \times \text{град}$$

Коефіцієнти a_v та a_z визначаємо:

$$a_6 = 4,9 + 15,1\sqrt{v_6} = 4,9 + 15,1\sqrt{1} = 20 \text{ Вт/м}^2 \times \text{град}$$

$$a_3 = 4,9 + 15,1\sqrt{v_3} = 4,9 + 15,1\sqrt{5,55} = 40,5 \text{ Вт/м}^2 \times \text{град}$$

де, $v_6 = 1$ м/с – середня швидкість руху повітря по салону автобуса; $v_3 = 5,55$ м/с – середня швидкість руху автобуса.

Кількість теплоти, що надходить від двигуна через стінки мотовідсіку визначаємо за:

$$Q_{\text{дв}} = 0,1(Q_{\text{інф}} + Q_{\text{зуп}} + Q_{\text{куз}}) = 0,1(9,8 + 7,66 + 14,33) = 3,2 \text{ кВт}$$

Далі нам потрібно порахувати параметри повітрообміну салону автобуса, а саме: повітрообмін за вуглекислим газом, за нормованою кратністю, надлишкове явне та повне тепло, а також вологовміст повітря.

4.1.3. Розрахунок повітрообміну міського автобуса

Визначення повітрообміну за вуглекислим газом:

$$G_{\text{п}} = \frac{\rho V_{\text{CO}_2}}{B_{\text{ГДК}} - B_{\text{п}}} = \frac{1,2 \times 23000}{1,25 - 0,5} = 3680 \text{ л/год}$$

де V_{CO_2} – кількість CO_2 , що виділяється; $B_{\text{ГДК}} = 1,25$ л/м³ – гранично допустима концентрація CO_2 в салоні; $B_{\text{п}} = 0,5$ л/м³ – вміст CO_2 в припливному повітрі [6].

$$V_{\text{CO}_2} = v_{\text{CO}_2} N = 23 \times 100 = 2300 \text{ л/год}$$

де $v_{CO_2} = 23$ л/год*люд. – питомі виділення CO_2 від однієї людини; $N = 100$ – кількість пасажирів в автобусі.

Визначення повітрообміну за нормованою кратністю:

$$G_{\Pi} = \frac{3\rho K_{pmin} V_c}{H} = \frac{3 \times 1,2 \times 3 \times 75}{2,5} = 324 \text{ кг / год}$$

де $K_{pmin} = 3$ год⁻¹ – мінімальна кратність повітрообміну в кількості до 200 осіб; V_c – об'єм салону автобуса.

Об'єм салону розраховуємо за формулою:

$$V_c = LBH = 12 \times 2,5 \times 2,5 = 75 \text{ м}^3$$

де $L = 12$ м; $B = 2,5$ м; $H = 2,5$ м. – довжина, ширина та висота салону.

Визначення надлишкового явного тепла:

$$G_{\Pi} = \frac{3,6Q_{\text{я}}}{c_{cn}(t_e - t_n)} = \frac{3,6 \times 800}{1,005 \times (10 - (-30))} = 64 \text{ кг / год}$$

де $Q_{\text{я}}$ – надлишки явного тепла у приміщенні; $c_{cn} = 1,005$ кДж/(кг*°C) – питома теплоємність сухого повітря.

$$Q_{\text{я}} = q_{\text{я}} N = 80 \times 100 = 800 \text{ Вт}$$

де $q_{\text{я}} = 80$ Вт – питоме виділення явного тепла.

Визначення надлишкового повного тепла:

$$G_{\Pi} = \frac{3,6Q_{\Pi}}{I_B - I_{\Pi}} = \frac{3,6 \times 11100}{-10,15 - 30,05} = 994 \text{ кг / год}$$

де Q_{Π} – загальні теплонадходження повного тепла; $I_B = -10,15$ кДж/кг с.п.,
 $I_{\Pi} = -30,15$ кДж/кг с.п. – ентальпія повітря, що виділяється та припливає.

$$Q_{\Pi} = q_{\Pi} N = 111 \times 100 = 11100 \text{ Вт}$$

де $q_n = 111$ Вт – питоме виділення надлишкового тепла.

Визначення надлишкової вологи:

$$G_{\Pi} = \frac{M_w}{d_e - d_{\Pi}} = \frac{4400}{7,62 - 0,49} = 617 \text{ кг / год}$$

де M_w – надлишки вологи у приміщенні; d_e, d_n – вологовміст повітря, що видаляється та припливного.

$$M_w = m_w N = 44 \times 100 = 4400 \text{ Вт}$$

де $m_w = 44$ Вт – питоме нахождення вологи від людини.

Визначення вологовмісту повітря:

$$d_e = 622 \frac{P_{\Pi}}{P_e - P_{\Pi}} = 622 \times \frac{1226}{101325 - 1226} = 7,62 \text{ г / кг}$$

$$d_n = 622 \frac{P_{\Pi}}{P_e - P_{\Pi}} = 622 \times \frac{80}{101325 - 80} = 0,49 \text{ г / кг}$$

де $P_{\Pi} = 1226$ Па (при $+10^{\circ}\text{C}$), 80 МПа (при -30°C); $P_e = 101325$ Па – барометричний тиск.

4.2. Моделювання роботи системи опалення та вентиляції автобуса

4.2.1. Моделювання роботи системи опалення міського автобуса

На рис. 4.4 зображено результати моделювання повітряних потоків по салону нашого автобуса, а саме температурні карти по трьох повздовжніх січеннях (по лівому та правому ряду та по середині салону).

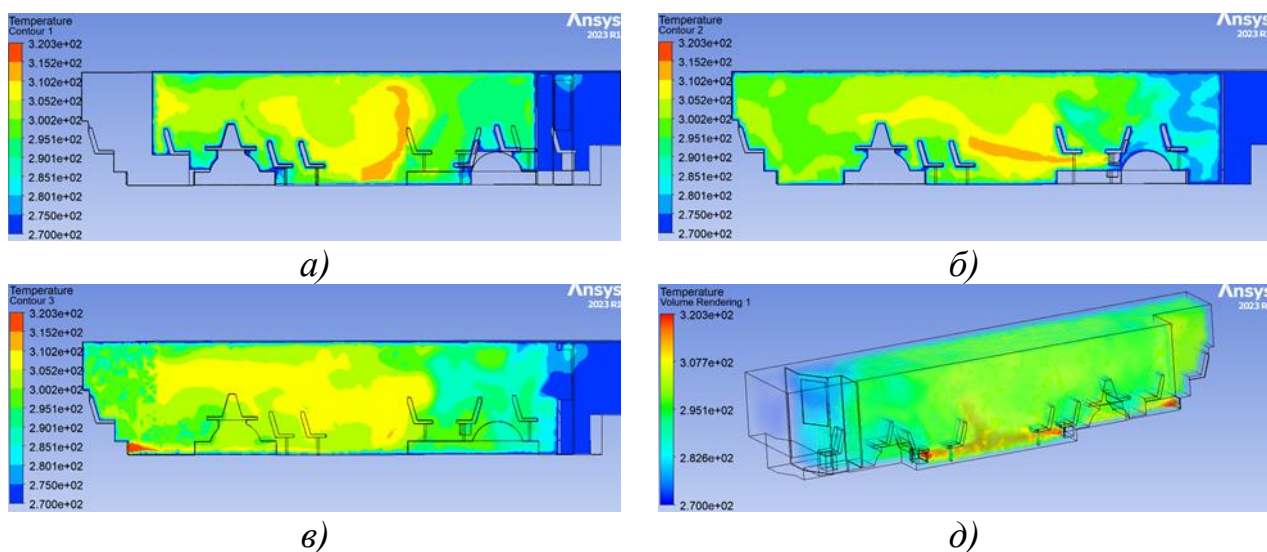


Рисунок 4.4 – Результати CFD-моделювання: а) по лівому ряду; б) по правому ряду; в) по середині салону; д) об'ємна температурна карта

Аналізуючи значення температур на температурній карті (рис. 4.5а) по лівому ряду сидінь автобуса, можна побачити, що частина салону автобуса над передніми осями обігріватиметься на рівні 13-16°C, а далі більш до середини значення температур ростиме до 20°C. В зоні накопичувальної площадки можна побачити дещо різке збільшення температур до 25°C, це контур теплового потоку напрямленого від салонного опалювача. Над задніми осями ми можемо побачити розподіл температур чуть вищий в передній частині салону. Температура буде коливатись в районі 16-20°C.

На температурній карті по правому ряду салону автобуса (рис. 4.5б) значення коливаються в межах 12-16°C, а в районі накопичувальної площадки

температура коливається на рівні 16-18⁰С, а на деяких ділянках 18-22⁰С. В задній частині салону ми бачимо коливання температури на рівні 17-20⁰С.

Якщо розглянути температури по середині салону автобуса (рис. 4.5в), то можна побачити, що значення температур є приблизно таке саме як по лівому ряду. В районі накопичувальної площадки видно трішки підняття температур до 18-22⁰С. На рівні голови воно зберігається аж до задньої частини салону, тільки на рівні нижче голови температура становить до 18⁰С. В районі заднього звису значення температур є менше 18⁰С.

4.2.2. Моделювання роботи вентиляції міського автобуса

На рис. 4.5 наведено процес природньої вентиляції міського автобуса через відкриті кватирки при трьох режимах їзди на швидкості 20, 40 та 60 км/год.

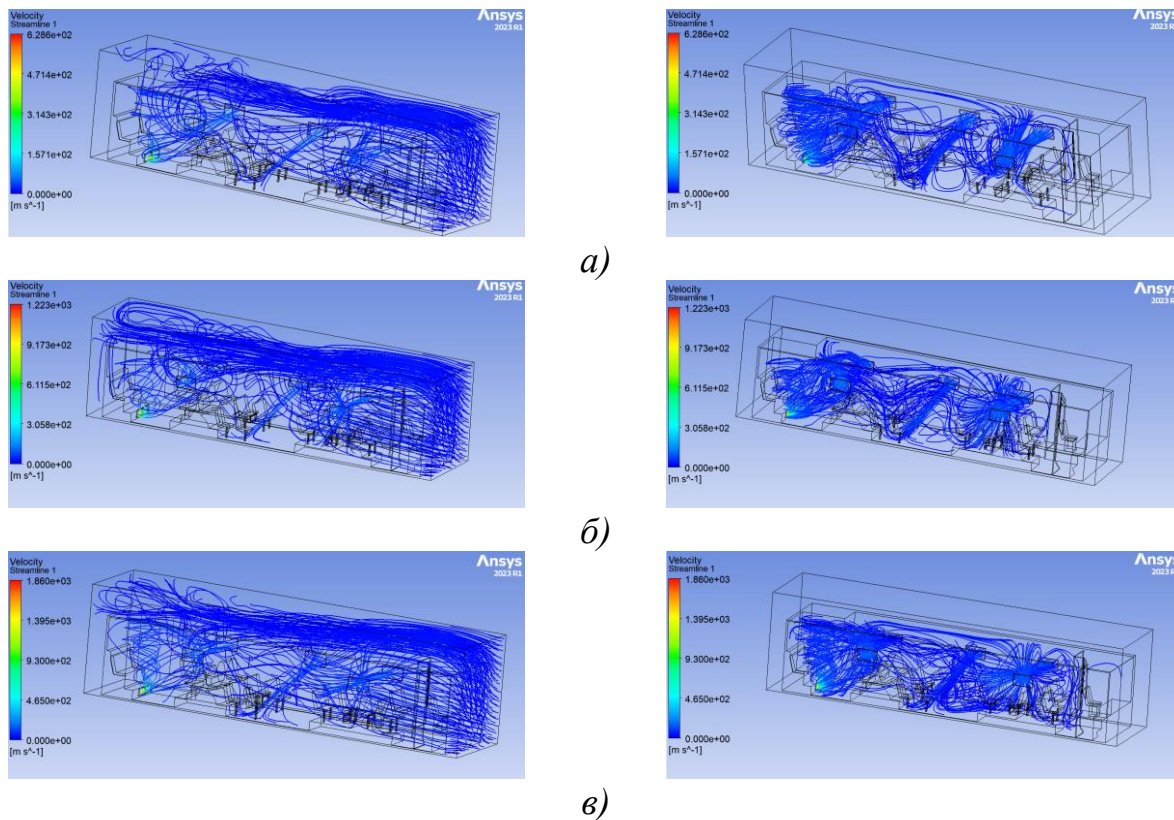


Рисунок 4.5 – Вентиляція салону автобуса під час руху на 4-х швидкостях із відкритими кватирками: а) 20км/год; б) 40 км/год; в) 60 км/год

З рис. 4.5а видно, що при русі автобуса на швидкості 20 км/год салон через кватирки вентилюється доволі інтенсивно в задній частині. На переді кількість повітряних потоків є найменша. Накопичувальна площадка також досягається повітряними потоками лише на рівні голови стоячого пасажера. При збільшенні швидкості руху до 40 км/год видно більш інтенсивну вентиляцію салону. В задній частині салону утворюється повітряний вихор. Також повітрям більше досягнутий перед та середина салону автобуса. Накопичувальна площадка більше вентилюється, ніж при швидкості руху 20 км/год. На рис. 4.5в, коли автобус досягає швидкості руху 60 км/год, можна побачити, що при такому режимі їзди свіжим повітрям досягається весь пасажирський салон. Найбільше свіжим повітрям досягнута задня частина салону автобуса.

4.3. Експериментальний комплекс по дослідженню мікроклімату

Для того, щоб визначити наскільки відбувається теплове навантаження салону автобуса потрібно за допомогою вимірювальної апаратури отримати експериментальні дані і виявити проблемні ділянки. (Далі в цій роботі продовжуємо наші дослідження експериментально, щоб побачити більш реалістичну картину та визначити у разі виникнення невідповідності та зробити висновки щодо їх виникнення та можливого усунення).

Для визначення параметрів мікроклімату в салоні автобуса було створено на основі мікроконтролера Arduino вимірювальну установку. Розроблений комплекс включав наступні датчики: швидкості руху повітряних потоків, температури, вологості, якості повітря. З мікроконтролера дані передаються на ПК з операційною системою не нижче Windows 10. Вимірювальний комплекс розміщувався у різних частинах салону автобуса, яє показано на рис. 4.6.

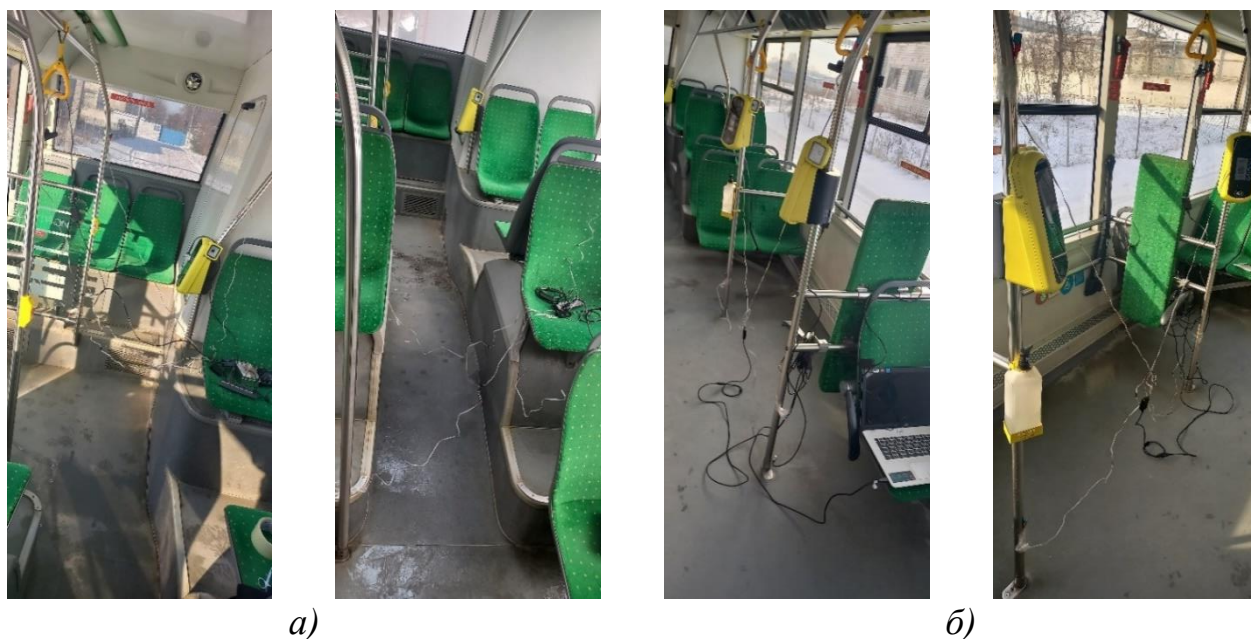


Рисунок 4.6 – Розміщення комплексу вимірювальної апаратури по салону автобуса

Для замірів температури і вологості вибрано датчик DHT11 (рис. 4.7а), який є датчиком вологості та температури, який генерує відкалібрований цифровий вихід. Його можна підключити до мікроконтролерів типу Arduino чи Raspberry Pi і отримати миттєві результати. DHT11 – це відносно недорогий датчик вологості та температури, який забезпечує високу надійність та довготривалу стабільність.

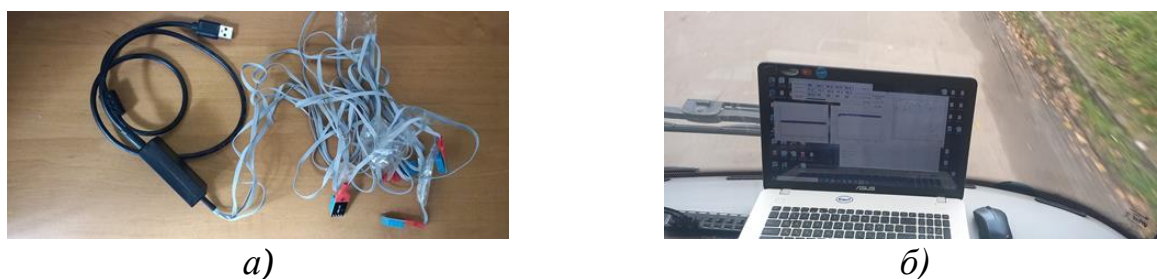


Рисунок 4.7 – Датчик температури та вологості повітря: а) пристрій; б) вивід даних

Суттєвою перевагою цього датчика є і те, що цей датчик відкалібровується виробником на заводі і не потребує жодних налаштувань для роботи. Він забезпечує показники температури і вологості з точністю до одного

знаку після коми, що є його перевагою у порівнянні до аналогічних датчиків інших моделей. У додатку Л показана типова схема застосування датчика вологості і температури DHT11. Датчик DHT11 може вимірювати значення вологості в діапазоні від 20 до 90% відносної вологості (RH) і температуру в діапазоні від -25 до 50°C. Період дискретизації датчика становить 1 секунду. Дані, отримані з датчика DHT11 мають наступний формат: 8 біт для інтегрального значення відносної вологості, 8 біт для десяткового значення відносної вологості, 8 біт для десяткового значення температури, 8 біт для інтегрального значення температури і 8 біт для контрольної суми.

Для визначення швидкості переміщення повітряних мас вибрано модель DFRobot F1031V, який дозволяє визначити швидкість потоку у газовому середовищі, точніше в каналі потоку, використовуючи термодинамічний принцип. Дана модель має високу точність і хорошу повторюваність результатів вимірювання за рахунок калібрування разом з датчиком температури. Корпус для обох датчиків є спільним. Датчик повітряного потоку F1031V забезпечує лінійний аналоговий вихід напруги для зручної інтерпретації результатів. Такі датчики застосовуються у ряді вентиляторів, очищувачів повітря, при керуванні промисловими процесами і захисті навколишнього середовища.

Модель DFRobot F1031V має наступні технічні характеристики: напруга живлення 5В, робочий струм 25 мА, час відгуку 50 мс. Точність діапазону вимірювань до 4% забезпечується в діапазоні робочих температур від -2 до 65°C та робочому тиску до 100 кПа.

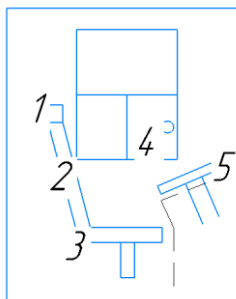
Аналіз якості повітря здійснювався за допомогою датчика CCS811, який представляє собою модуль цифрового газового датчика, що визначає широкий діапазон загальних летючих органічних сполук (TVOC), включаючи еквівалентні рівні діоксиду вуглецю (eCO₂) та eCO. Цей датчик призначений для контролю якості повітря всередині приміщень, в таких пристроях, як годинники та телефони, але даний модуль з датчиком виготовлений таким чином, щоб його можна було використовувати як звичайний пристрій I2C.

Вбудований сенсор CCS811 підтримує кілька режимів вимірювання, які оптимізовані для споживання малої потужності під час активного вимірювання датчика і режиму очікування, продовжуючи термін служби батареї в портативних пристроях. Для зручності роботи на платі виведені всі необхідні для роботи виводи датчика CCS811. Датчик CCS811 має наступні характеристики: вимірювання загальних летючих органічних сполук (TVOC) від 0 до 1187 частин на мільярд, eCO_2 від 400 до 8 192 частин на мільйон при кількості режимів роботи 5.

У розробленій вимірювальній установці передбачено одночасне вимірювання 4-х значень температури і вологості в різних точках салону, вимірювання швидкості повітряного потоку, контроль прискорень і якості повітря. З метою зручної взаємодії розроблено графічний програмний інтерфейс для кожного елементу установки. У розроблених програмах передбачено можливість запису у файл з метою подальшої статистичної обробки результатів, а також калібрування датчиків для забезпечення коректності процедури вимірювання.

Більш детально схеми підключень датчиків наведено у додатку Л.

На рис. 4.8 показано схематично розташування датчиків у кабіні водія автобуса.



*Рисунок 4.8 – Схема розташування вимірювальної апаратури в кабіні водія**

*особисто розроблено автором

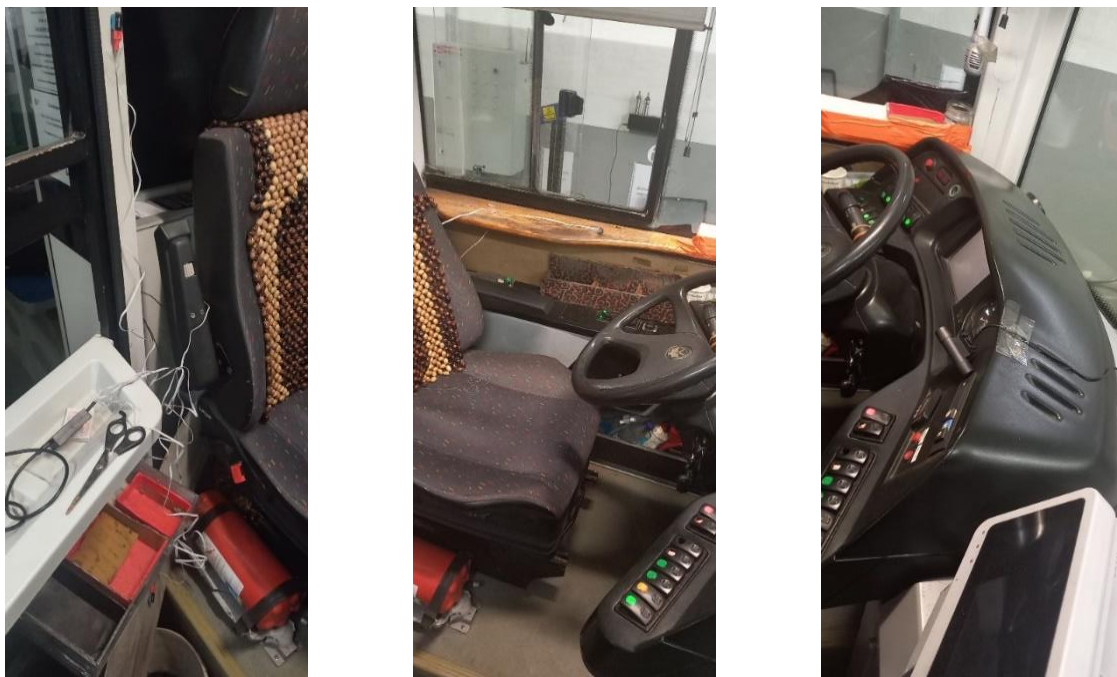


Рисунок 4.9 – Фіксація температурних датчиків у кабіні водія

В кабіні водія датчики температури розташовувались на рівні голови (1), попереку (2) та ніг водія (3), а також в місці задуву гарячого/холодного повітря, біля кватирки водія (4). Датчик кількості повітря та CO₂ (5) був розміщений в зоні дихання водія.

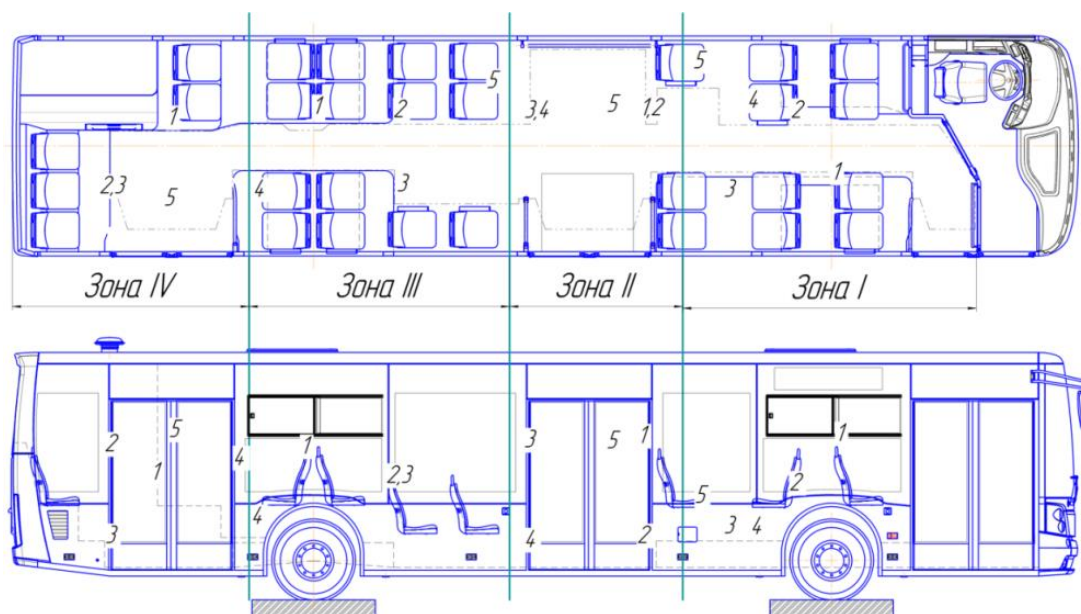
Вимірювання показників мікроклімату проводилось при холодній та гарячій порі року з використанням автономної пічки кабіни водія та опалювачів салону взимку, а також при природній вентиляції салону та кабіни водія автобуса влітку.

Рух автобуса відбувався в міських умовах по маршруту Рясне-1 (Завод Електронмаш)-Левандівка-Скнилів (АТП №1) у м. Львові (схема маршруту у додатку М).

Салон автобуса було умовно поділено на 4 зони (рис. 4.10): Зона I – між стінкою кабіни водія та накопичувальною площадкою; Зона II – в районі накопичувальної площадки; Зона III – між накопичувальною площадкою та задніми дверима та Зона IV – в районі задніх дверей.

Вимірювальні прилади розміщувались в точках рекомендованих нормативними документами. Нумерація точок проводилась відносно номеру

вимірювального датчика, тобто 1-4 – це датчики температури та вологості, а 5 – це датчик, що вимірює кількість повітря.



*Рисунок 4.10 – Зони салону автобуса та схема розташування вимірювальної апаратури**

*особисто розроблено автором

Тепер більш детально опишемо розташування вимірювальної апаратури по зонах салону автобуса (див. рис. 4.10).

В зоні I датчики температури і вологості були розміщені на рівні голови справа (1), голови сидячого пасажира зліва (2), ніг справа (3) та на рівні ніг біля опалювача зліва (4). Датчик виміру кількості повітря (5) було розташовано навпроти опалювача, який розташовано під сидінням біля датчика (4).

В зоні II вимірювальна апаратура в основному розміщувалась в районі накопичувальної площадки. Датчики температури і вологості були розміщені на рівні голови (1, 3) та ніг (2, 4). Датчик виміру кількості повітря (5) було розташовано посередині накопичувальної площадки на рівні голови. Вимірювалась кількість повітря, що надходить від конвектора, що розташований на боковій стінці кузова автобуса.

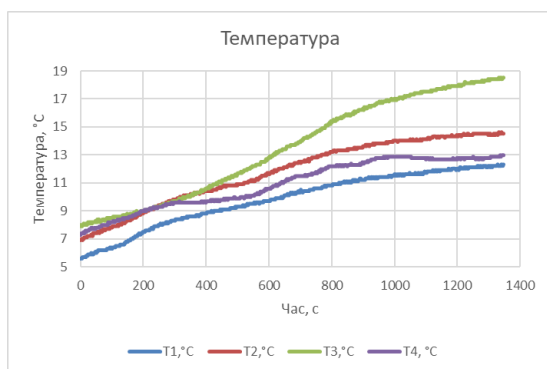
В зоні III датчики температури та вологості були розміщені на рівні голови (1), голови сидячого пасажирів зліва та справа (2, 3) та на рівні ніг справа (4). Датчик виміру кількості повітря (5) було розташовано біля опалювача під сидінням (5).

В зоні IV вимірювання проводились в задній частині салону автобуса. Датчики температури і вологості були розміщені на рівні голови зліва (1), рівні голови (2, 4) та ніг (3). Датчик кількості повітря (5) було розташовано на рівні голови в області відкривання дверей (5).

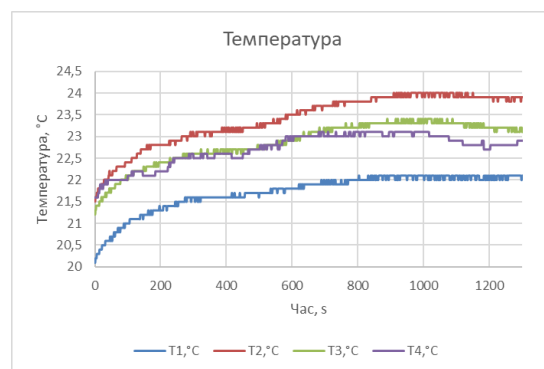
4.4. Результати досліджень мікроклімату робочого місця водія автобуса

Вимірювання показників мікроклімату проводилось при холодній порі року при зовнішній температурі -2 – $+2^{\circ}\text{C}$ з використанням автономної пічки кабіни водія та в теплу пору року при зовнішній температурі $+24$ – 26°C з використанням природної вентиляції.

Результати експериментальних досліджень представлені на рис. 4.11–4.16. Позначення зон відповідно: 1 – зона ніг; 2 – зона поясу; 3 – зона голови; 4 – зона надходження холодного повітря.



а)

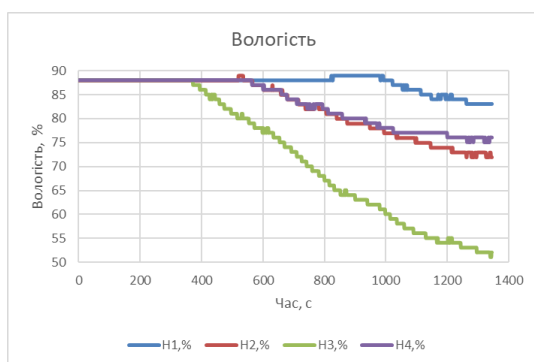


б)

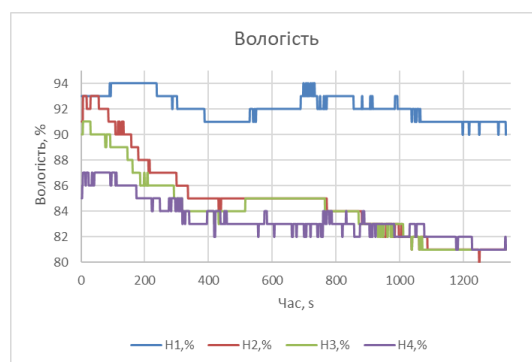
Рисунок 4.11 – Показники температури повітря в кабіні водія: а – в холодну пору року; б – в теплу пору року

На рис. 4.11а добре видно, що при холодній порі року при роботі опалювача температура після прогріття робочого місця водія на рівні голови відповідає нормованому значенню ($\geq +18^{\circ}\text{C}$), що є дуже важливим. В інших зонах температура є дещо нижча ($+10\dots+14^{\circ}\text{C}$). Із-за цього ми маємо невідповідності нормованим значення, що потребує подальших досліджень.

Як видно з рис. 4.11б, що діапазон температур в теплу пору року в кабіні водія відповідає в більшості нормативним значення ($21-22^{\circ}\text{C}$), лише в зоні поясу водія температура трохи підвищена ($\pm 23-23,5^{\circ}\text{C}$), тобто з цього випливає, що кабіна водія має достатньо хорошу природну вентиляцію, оскільки без використання кондиціонера, враховуючи, що зовнішня температура була $\pm 25^{\circ}\text{C}$, температура повітря в кабіні водія автобуса залишається постійною.



а)

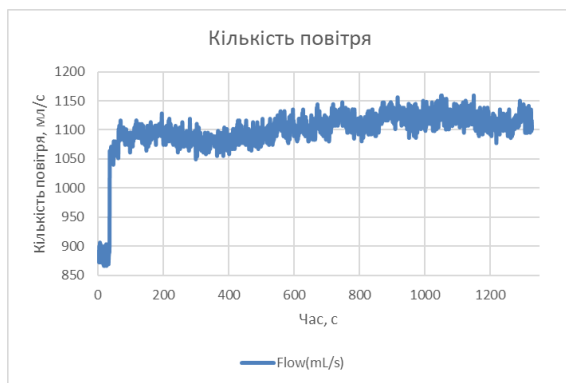


б)

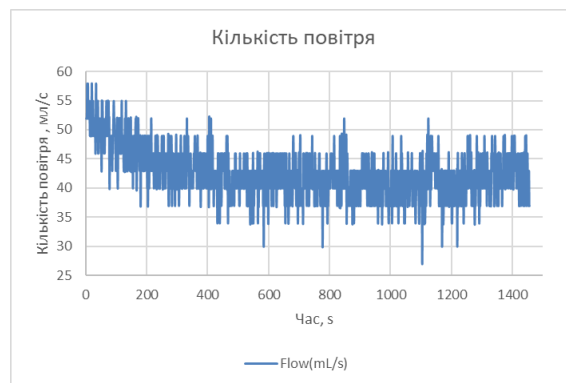
Рисунок 4.12 – Показники вологості повітря в кабіні водія: а – в холодну пору року; б – в теплу пору року

Щодо вологості в холодну пору року, ми бачимо на рис. 4.12а є невідповідність нормативним значенням. Це зумовлено тим, що виміри параметрів проводились при значній вологості навколишнього середовища. При роботі системи опалення видно, що на рівні голови вологість відповідає нормативним параметрам (50-60%), що є дуже важливим.

В теплу пору року, як бачимо на рис. 4.12б, значення вологості повітря в точках вимірювання перевищують нормативні (80-90%) при вологості зовнішнього повітря $\pm 85\%$. Лише в районі ніг водія показник вологості завищений та знаходиться на рівні 92-94%.



а)



б)

Рисунок 4.13 – Показники кількості повітря в кабіні водія: а – в холодну пору року; б – в теплу пору року

На рис. 4.13а показано графіки розподілу кількості повітря в робочій зоні водія. Як бачимо при роботі системи опалення кількість повітря, що надходить є приблизно в межах 1050-1100 мл/с, а на рис. 4.13б ми бачимо, що значення кількості повітря при теплій порі року переважно залишається постійним у діапазоні приблизно 40-55 мл/с.

Нагріте повітря потрапляє в кабіну водія через спеціальні дифузори, які розташовані вздовж лобового скла, які далі будуть експериментально досліджуватись.

За допомогою експериментальної апаратури проводились вимірювання повітряних потоків, що надходять із дифузора наступним чином [16]: над кожним із трьох дифузорів було поставлено датчик температури і вологості. На лівому дифузори було закрито один отвір, на правому – два, а на середньому отвори не закривались (рис. 4.14).



Рисунок 4.14 – Схема вимірювання потоків повітря з дифузорів

Результати вимірювання температури та вологості показано на рис. 4.15.

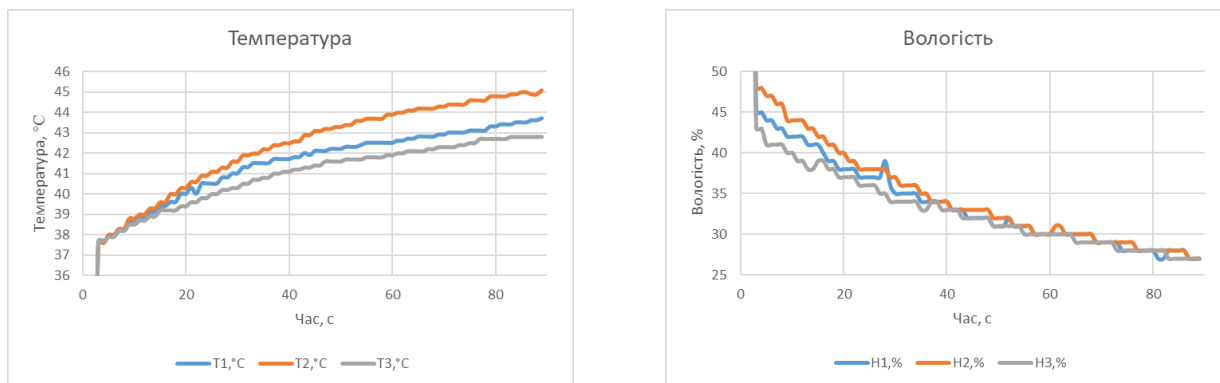


Рисунок 4.15 – Результати вимірювань температури та вологості: 1 – робочі два отвори; 2 – робочі три отвори; 3 – робочий один отвір

Як видно із рис. 4.15 значення температури змінюється залежно від кількості робочих отворів дифузора. На графіках зображено процес нагрівання повітря від початкової температури 37-38⁰С та вологості повітря 44-46% до їх робочого значення під час інтенсивної роботи системи опалення.

Найвище значення температури є при повноцінній роботі дифузора (при відкритих трьох отворах) та становить в середньому при стабілізованій роботі системи опалення 44-45⁰С. При режимі 1 температура становить 42-43⁰С, а при режимі 3 42-42,5⁰С. Значення вологості коливається приблизно в однакових межах та становить 30%.

Наступним кроком експериментальних досліджень було вимірювання продуктивності (кількості) повітря, яке надходить із отворів дифузора.

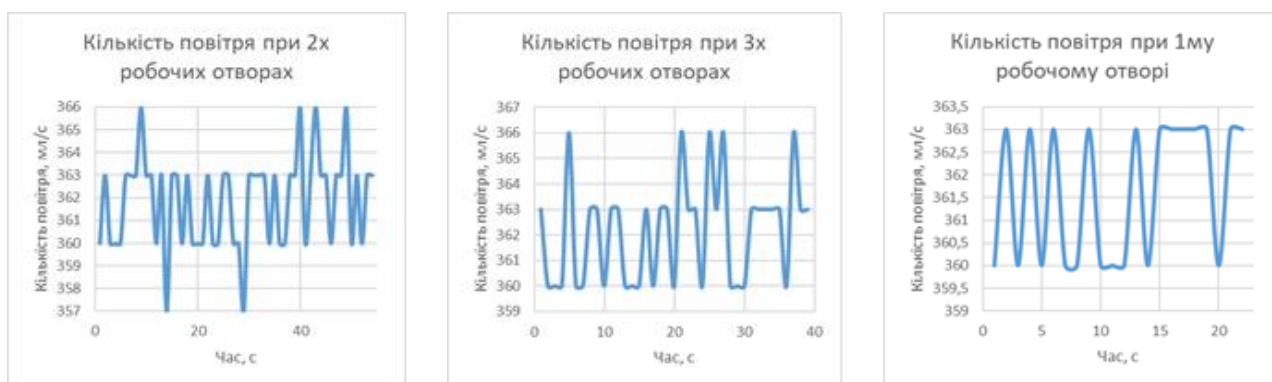


Рисунок 4.16 – Результати вимірювань кількості повітря

Як видно з рис. 4.16 продуктивність по повітрю в принципі залишається приблизно однаковою - $\pm 360\text{-}362$ мл/с. Це зумовлено тим, що потужність видування повітря залишається однаковою.

Також, було проведено вимірювання рівня шкідливих речовин в кабіні водія автобуса, а саме рівня CO_2 . Датчик був розміщений на кермі (рис. 4.17), тобто виміри проводились під час стоянки автобуса.

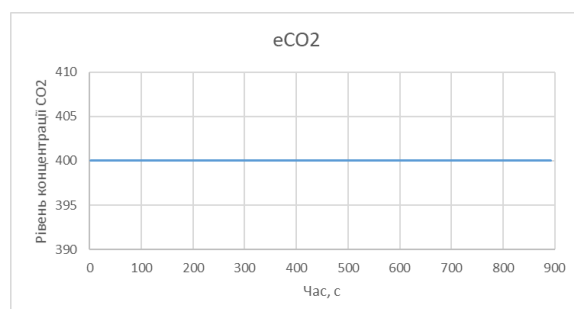


Рисунок 4.17 – Розміщення датчика виміру рівня CO_2

Рисунок 4.18 – Результати виміру рівня CO_2

Згідно ДБН оптимальна концентрація CO_2 у повітрі становить 400 ppm. Більш детально значення концентрацій CO_2 див. у додатку Н.

Отже, результати вимірювань показали, що рівень CO_2 на робочому місці водія знаходиться в межах оптимальної норми та становить 400 ppm.

4.5. Результати досліджень мікроклімату салону автобуса

Температура та вологість повітря в салоні автобуса, на відміну від кабіни водія, вимірювалась в 2-х точках (на рівні голови та ніг пасажирів). В пасажирському салоні автобуса не потрібно вимірювати температурні показники в зоні поясу, хіба що, якщо автобус буде експлуатуватись в дуже холодному або дуже гарячому кліматі.

Вимірювання показників мікроклімату проводились в холодну пору року при зовнішній температурі $-2\ldots+2^\circ\text{C}$ в прогрітому салоні та при теплій порі року при зовнішній температурі $+24\ldots+26^\circ\text{C}$.

На рис. 4.19-4.21 показано значення температури, вологості та кількості повітря по зонах салону автобуса.



Рисунок 4.19 – Результати вимірювань температури повітря: а, в, д, ж – холодна пора року; б, г, е, ж – тепла пора року

Аналізуючи значення температур в холодну пору року, можна побачити, що в зоні I (рис. 4.19а) є дещо невідповідності нормативним значенням температури. В т. 1-3 ми маємо температуру нижчу ніж 18°C . В т. 4 в лівій частині зони салону, в місцях де розташований опалювач, температура коливається в районі $23-25^{\circ}\text{C}$, що в принципі є верхньою межею нормативного значення та в деяких випадках навіть перевищується його значення. В зоні I в теплу пору року (рис. 4.19б), як бачимо з рис. 3а, є невідповідності нормативним значенням температури. В усіх точках вимірювання ми маємо температуру більшу за 22°C , її значення становить приблизно $24...25,5^{\circ}\text{C}$, що перевищує нормативне значення згідно нормативних документів.

В зоні II (рис. 4.19в) при холодній порі року температура в т. 2 та 3 відповідає нормативному значенню ($17-18^{\circ}\text{C}$), а в т. 1 та 4 маємо температури дещо нижчі ніж нормативні ($12-15^{\circ}\text{C}$). Це зумовлено тим, що накопичувальна площадка знаходиться в зоні дверей, тому може відбуватись надходження холодного повітря через нещільності в дверях. В зоні II температура в теплу пору року (рис. 4.19г) в усіх точках коливається в межах $23...25^{\circ}\text{C}$, що є невеликим перевищенням нормативних значень.

В зоні III (рис. 4.19д) при холодній температурі температурні значення в точках не відповідають нормативним ($12-15^{\circ}\text{C}$). Зона також розташована поблизу дверей, тому через їх нещільності може надходити холодне повітря. В т.3 ми бачимо значення температури (6°C), яке є набагато нижче від нормованого значення.

В зоні IV (рис. 4.19е) при холодній порі у всіх точках температурні показники відповідають нормованим та коливаються в районі $18-22^{\circ}\text{C}$. Це ще зумовлено тим, що в задній частині салону автобуса розташований мотовідсік. Додатково теплота від мотовідсіку надходить в салон автобуса.

Температура повітря в зонах III та IV (рис. 4.19е та 4.19ж) у теплу пору року ні в одній точці не відповідає нормативним значенням (становить $30-36^{\circ}\text{C}$), тобто при сприятливій для пасажирів вентиляції, охолодження салону автобуса не відбувається потрібним чином, що може свідчити про

недосконалість системи теплоізоляції двигуна, а також системи вентиляції, зокрема недостатньою кількістю вентиляційних кватирок, або вентиляційних люків (згідно технічної документації автобуса є наявні два вентиляційні люки).

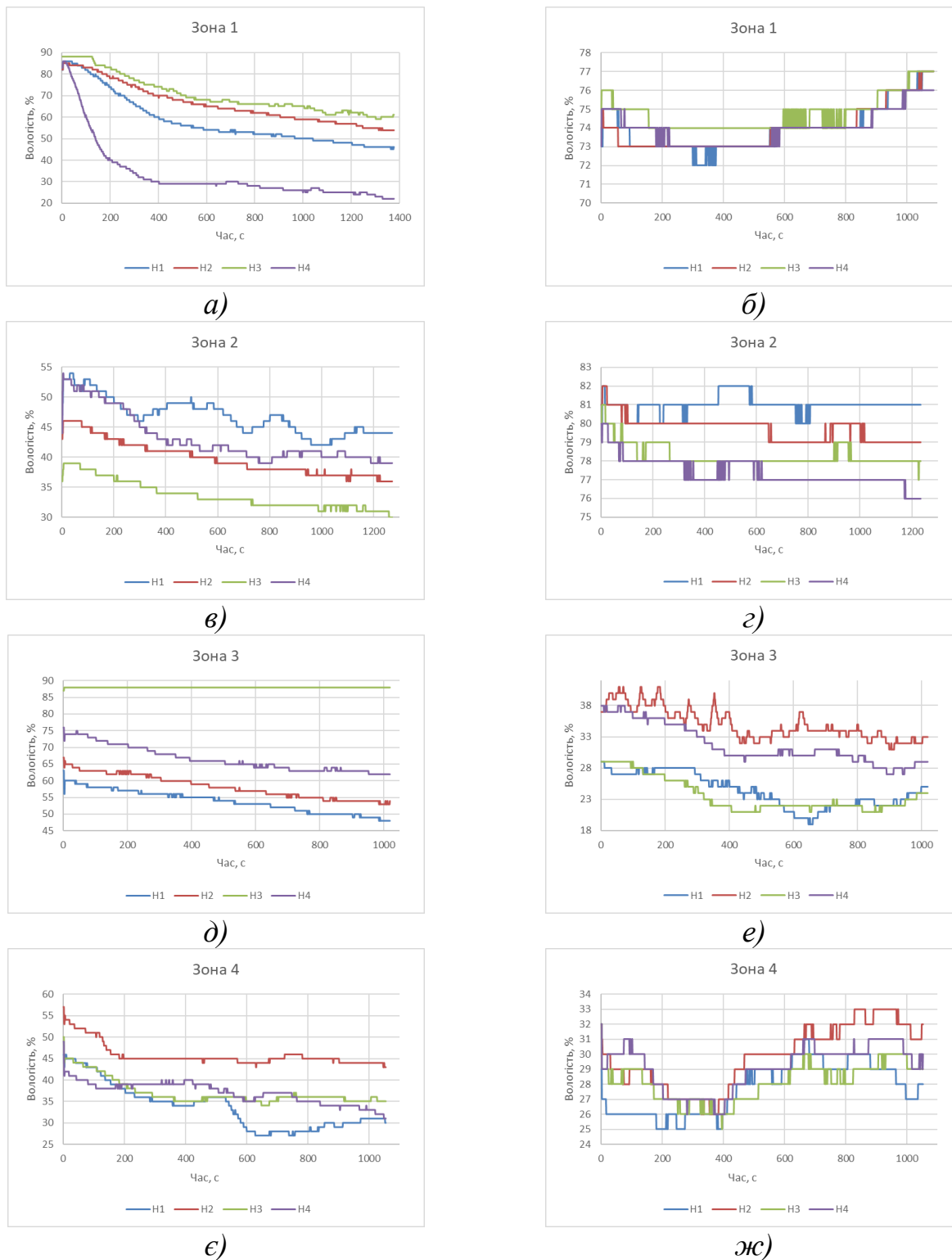


Рисунок 4.20 – Результати вимірювань вологості повітря: а, в, д, є – холодна пора року; б, г, е, ж – тепла пора року

В зоні I при холодній порі в усіх точках крім т. 4 після достатнього прогрівання салону значення вологості зберігається приблизно на рівні нормованого (50-65%) (рис. 4.20а). В місці (т. 4), де поблизу розташовані опалювальні прилади значення вологості становить менше нормованого (25-30%). Значення вологості в теплу пору року (рис. 4.20б) коливається в межах 70...76 %, що є невеликим перевищенням верхньої межі нормативного значення вологості повітря.

В зоні II (рис. 4.20в) при холодній порі значення вологості приблизно відповідають нормованим (35-55%), тільки в т. 3 рівень вологості є менший трішки від нормативного. В теплу пору року вологість повітря коливається від 77 % до 82% (рис. 4.20г). Це зумовлено тим, що накопичувальна площадка знаходиться в зоні середніх дверей, тому може відбуватись надходження холодного повітря через нещільності в дверях, а також це може створювати зону підвищеної вологості в салоні особливо в дощову погоду.

В зоні III (рис. 4.20д) при холодній порі року значення вологості відповідають нормативним тільки в т. 1 та 2 (55-60%). В т. 3 та 4 вони є завищені.

В зоні IV (рис. 4.20є) при холодній порі року, спостерігається дотримання значення вологості до нормативних значень (40-50%), але в т. 1 (біля мотовідсіку двигуна) рівень вологості з часом падає нижче нормованого та становить (30%).

Вологість повітря в теплу пору року теж не відповідає нормативним значенням й коливається в межах 25-35 % (4.20е та 4.20ж), а в деяких ділянках салону значення опускається до $\pm 20\%$, що є значним перевищенням норм.

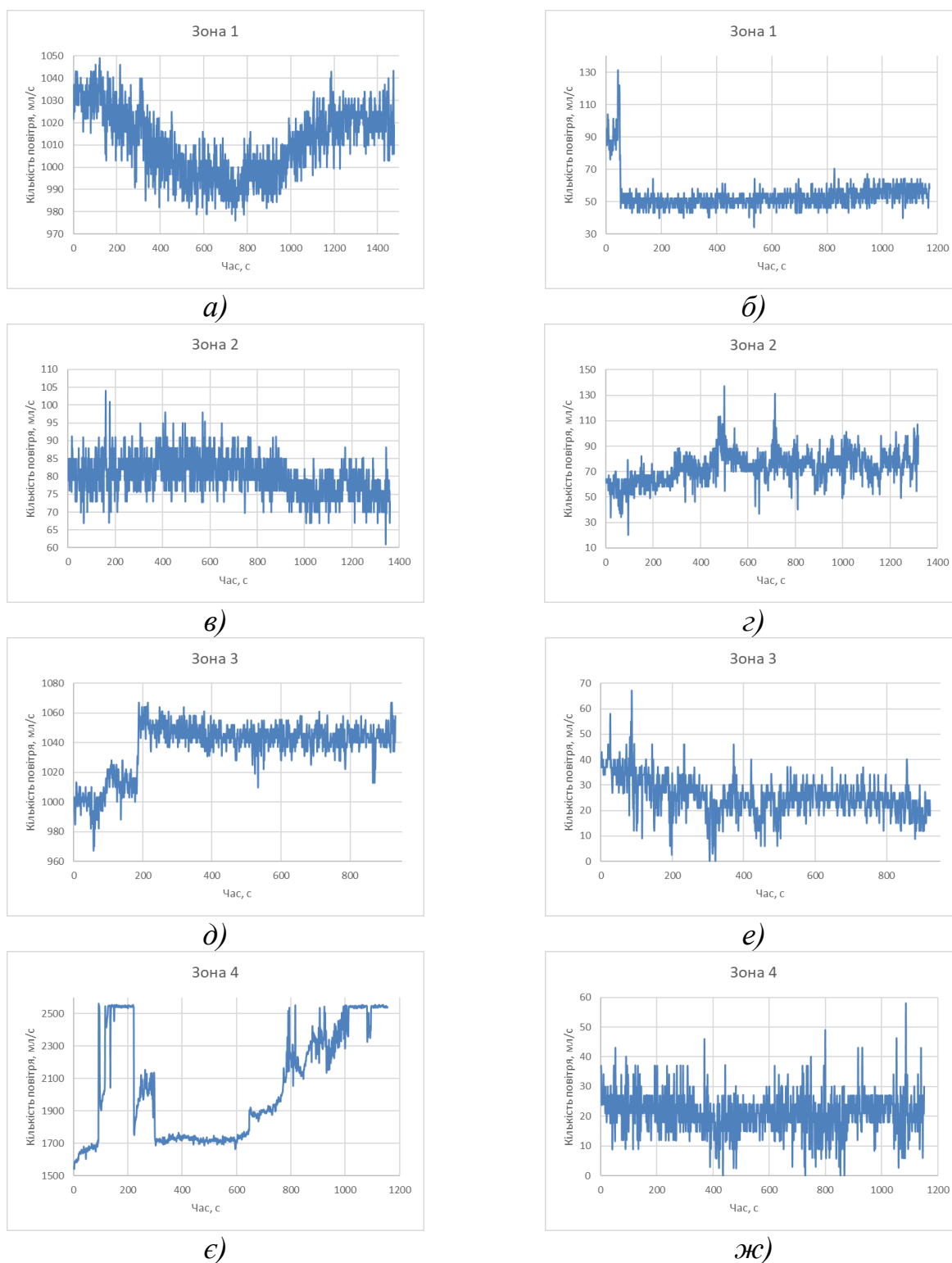


Рисунок 4.21 – Результати вимірювань кількості повітря: а, в, д, є – холодна пора року; б, г, е, ж – тепла пора року

Аналізуючи результати вимірів кількості повітря (рис. 4.21), можна побачити, що при холодній температурі зовнішнього середовища в зоні II значення є набагато меншим (80-100 мл/с) ніж в інших зонах. Це зумовлено

тим, що в районі накопичувальної площадки стоїть конвектор, який більш пологіше обігріває салон, тобто в даній ділянці немає інтенсивного видуву повітря, як в опалювачах, де тепле повітря видуває вентилятор. В зонах 1 та 2 значення коливається в межах (980-1060 мл/с). Результат є приблизно однаковий, оскільки датчики розміщувались на однакових відстанях від опалювачів, які мають подібні технічні характеристики. В зоні 4 інтенсивність видування повітря з опалювача є більшою, адже там розміщений більш потужний опалювач. Значення кількості повітря в цій зоні коливатиметься між 1500 – 2500 мл/с.

Аналізуючи результати вимірів кількості повітря в теплу пору року, можна побачити, що в зоні I та II значення кількості повітря коливається в межах 40...130 мл/с. В зонах III та IV значення коливається в межах 5...65 мл/с. Результат є приблизно однаковий, оскільки датчики розміщувались на однакових відстанях від місць задування повітря в салон.

Далі необхідно порівняти експериментальні значення температур з результатами моделювання. У зоні I суттєвих відхилень немає (не більше 1...2°C). У т.2 і т.4 в зоні II також немає великої різниці (не більше 1...2°C), але в т.1 і т.4 маємо відхилення в межах 2...5 °C. У зоні III є присутні значні відхилення, у т.3 (близько 6°), а в зоні IV дещо більші відхилення у т.2 і т.3 (2...4°C).

Зазначені вище відхилення в результатах моделювання та експериментальних значеннях температури можуть бути пов'язані з тим, що в зоні накопичувальної площадки (зона II і частково III) можливе надходження холодного повітря через негерметичність середніх дверей, а також через недостатню здатність обігрівачів підвищувати температуру в цій зоні салону автобуса. Що стосується зони IV, то можна констатувати, що надходження холодного повітря через нещільності задніх дверей також може викликати зниження температури в зонах платформи для стоячих пасажирів.

Для більш зрозумілого порівняння у додатку П наведено таблицю порівняння результатів моделювання та експериментальних значень

температури повітря в салоні автобуса в холодну пору року, та проведено порівняння результатів із нормативними, а також в додатку Р наведено протоколи вимірювань параметрів мікроклімату в салоні автобуса.

Задля покращення мікроклімату салонів автобусів, а також на основі прведених досліджень в даній дисертаційній роботі, надамо деякі рекомендації щодо покращення ефективності роботи системи опалення та повітрообміну автобусів.

4.6. Рекомендації по покращенню роботи системи опалення та повітрообміну міського автобуса

4.6.1. Система опалення автобуса/електробуса з електричними опалювачами

Застосування в системах опалення автобуса/електробуса електричних опалювачів, які не зв'язані між собою та джерелом опалення гідравлічною частиною системи опалення.

Здебільшого на автобусах чи електробусах застосовуються два типи системи опалення, рідинна або електрична. Схеми розміщення опалювачів в рідинній та електричній системі опалення наведено на рис. 4.22.

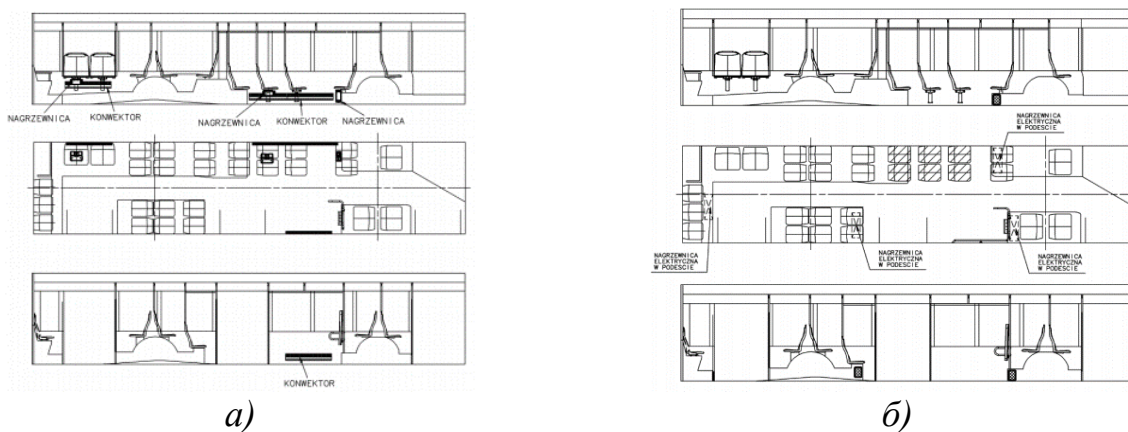


Рисунок 4.22 – Схеми систем опалення міського автобуса: а) рідинна; б) електрична

Якщо порівнювати гідравлічну та електричну систему опалення автобуса чи електробуса [142], можна побачити, що електрична має менші затрати джерела опалення, а саме 12,5 кВт для міського автобуса 12м, натомість затрати гідравлічної можуть досягати до 30 кВт. Потужність нагріву становить 12кВт для електричної, а для гідравлічної 25 кВт. ККД становить в межах 96,1 та 83,4% відповідно. Відповідно, з цього виходить, що електричне опалення в 2...2,5 рази може бути ефективнішим, ніж гідравлічне.

4.6.2. Система повітрообміну автобуса/електробуса з примусовими нагнітаючими даховими вентиляторами

Використання примусових дахових вентиляторів в системі вентиляції автобуса, які можуть працювати як на впуск, так і на випуск повітря.

На рис. 4.23 показано вентиляцію салону міського автобуса із застосуванням нагнітаючих дахових вентиляторів при чотирьох швидкостях видуву: 0,25; 0,5; 0,75 та 1,0 м/с.

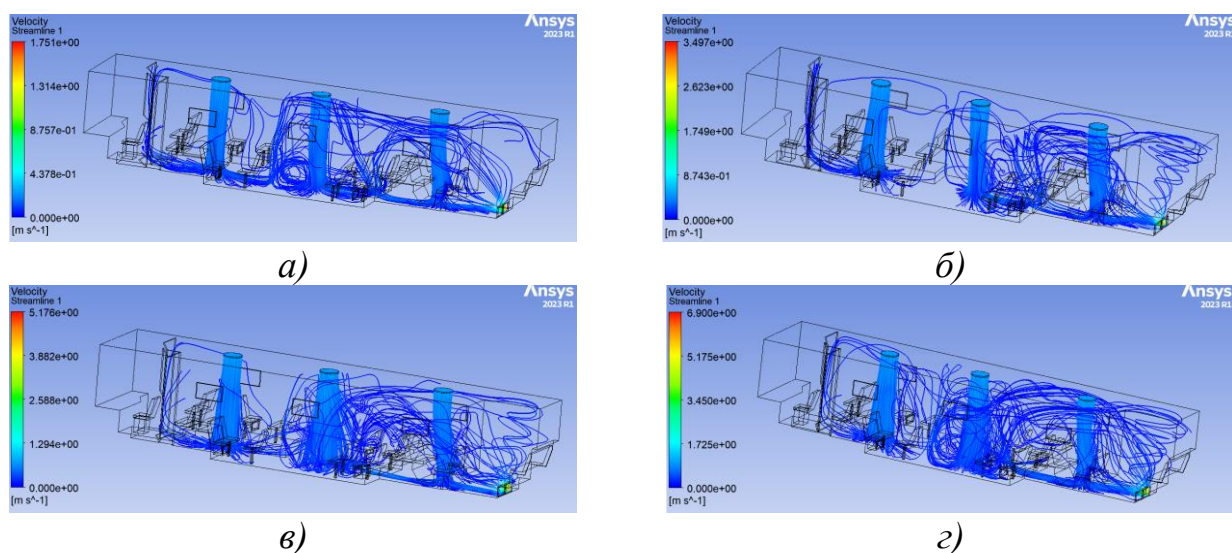


Рисунок 4.23 – Вентиляція салону автобуса із використанням нагнітаючих вентиляторів на даху при швидкості задуву: а) 0,25м/с; б) 0,5 м/с; в) 0,75 м/с та г) 1,0 м/с

На рис. 4.23а можна побачити процес циркуляції вентилязованого повітря при швидкості видуву 0,25 м/с. Як видно, повітряні потоки розсіюються по середній частині автобуса. Ділянка салону між накопичувальною площадкою та заднім звисом досягається свіжим повітрям найбільше. При швидкості видуву 0,5 м/с (рис. 4.23б) в зоні задньої частини салону відбувається повітря закручується у вихор, а передня салону залишається менш досягнутим повітрям. При збільшенні інтенсивності видуву повітря 0,75 та 1,0 м/с відбувається інтенсивний розподіл повітря по салону.

4.6.3. Використання альтернативних матеріалів, які забезпечують теплову ізоляцію кузова автобуса/електробуса

Поліестер, покритий алюмінієвою фольгою. Такий тип теплоізоляційного матеріалу виготовлений з нетканого білого поліетилену, який відповідає встановленим вимогам по горючості, він є стійкий до корозії. На рис. 4.24 показано фрагмент поліестеру, покритого алюмінієвою фольгою. Зазвичай такі матеріали застосовують на залізничних ТЗ, комунальних, автобусах, будівлях та судах.

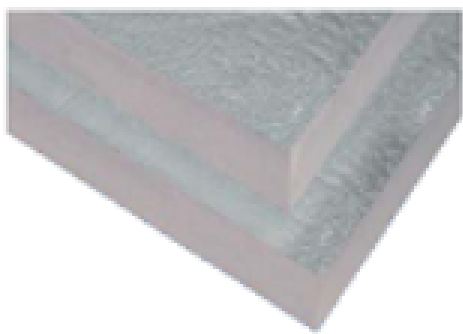


Рис. 4.24 Поліестер, покритий алюмінієвою фольгою



Рис. 4.25 Переріз скловолокнистого мату

Серед переваг даного матеріалу є виділити: чудові показники звукопоглинання, стійкість до високих температур, відповідність високим

вимогам по вогнестійкості, має значну вібростійкість та за рахунок алюмінієвих фольги матеріал є водонепроникний.

Скловолокнисті мати. Скломатеріали – це зазвичай білі скловолоконні мати, ламіновані стійкою до високих температур алюмінієвою фольгою. Це є двошаровий комбінований матеріал для тепло- та звукоізоляції. Верхній шар складається із високоякісної алюмінієвої фольги для відбиття теплового випромінювання. Нижній шар складається із стьобаного скловолокна, яке відповідає за теплоізоляційний ефект, а також за звукоізоляційні властивості. На рис. 4.25 показано переріз скловолоконних матів. Такі мати застосовуються в зонах з високими температурами, а саме в машинах та промислових установках, компресорах, будівельній техніці, комунальних ТЗ, автобусах, залізничних ТЗ. Термостійкість матеріалу становить – $40^{\circ}\text{C} \dots + 450^{\circ}\text{C}$.

Серед переваг такого матеріалу слід визначити стійкість до високих температур, дуже високий теплоізоляційний ефект, алюмінієва фольга повністю запобігає проникненню пилу, води, палива чи інших забруднюючих речовин.

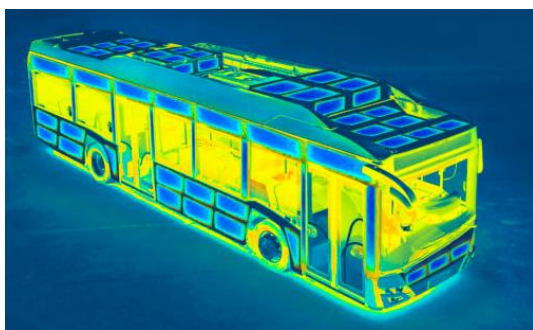


Рисунок 4.26 – Теплоізоляція автобуса вакуумними ізоляційними панелями (VIP)

Теплоізоляція кузовів ТЗ вакуумними ізоляційними панелями (VIP) (рис. 4.26) від німецької компанії va-Q-tec дає можливість досягти більшої екологічності громадського транспорту. Такі панелі передають принцип ізоляції термоса на ізоляційні плити, які мають характеристики термоізоляції в 10 разів кращі, ніж звичайні теплоізоляційні матеріали, тому такі матеріали можуть досить ефективно ізолювати зони салону автобуса.

За рахунок використання подібних ізоляційних панелей зменшуються витрати на кондиціювання чи опалення салону, відповідно запас ходу електробуса значно збільшується, а для автобусів матимемо економію палива. Вакуумні ізоляційні панелі також покращують теплоізоляційну здатність стінки кузова до 70%. Відповідно в салоні автобуса буде створюватись помітно приємніший мікроклімат. Такі панелі не потребують подальшого експлуатаційного обслуговування, таким чином, не потребують додаткових витрат. Вакуумні панелі не є шкідливі для навколишнього середовища, вони виготовлені майже з 100% матеріалів, які можна переробляти вторинно, і тому зберігають цінні кошти та ресурси.

4.6.4. Варіант обігріву салону повітряними завісами та теплотою від ДВЗ

Розглянувши вище наведені пропозиції щодо покращення обігріву салону автобуса, враховуючи досліджений ефект від використання теплоти ДВЗ та використання повітряних завіс над дверима, можна запропонувати комбінування 2-х нововвдень, тобто наша система опалення матиме встановлені опалювачі над дверима та вентилятор, який видуватиме тепле повітря, яке забирається від ДВЗ автобуса.

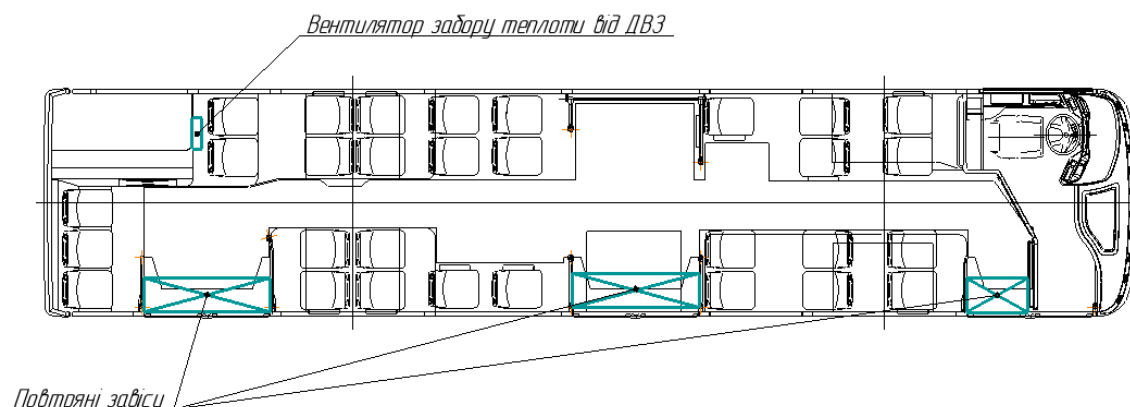


Рисунок 4.27 – Схема комбінованої системи опалення автобуса із додатковим вентилятором та повітряними завісами

На прикладі автобуса Електрон А1851, враховуючи експериментальні дослідження, проведемо розрахунок запропонованої системи опалення (див. рис. 4.27).

Розглянемо роботу запропонованої системи опалення автобуса при трьох режимах роботи опалювачів, $0,25\text{ м/с}$ та 45°C ; $0,5\text{ м/с}$ та 50°C та $0,75\text{ м/с}$ та 55°C .

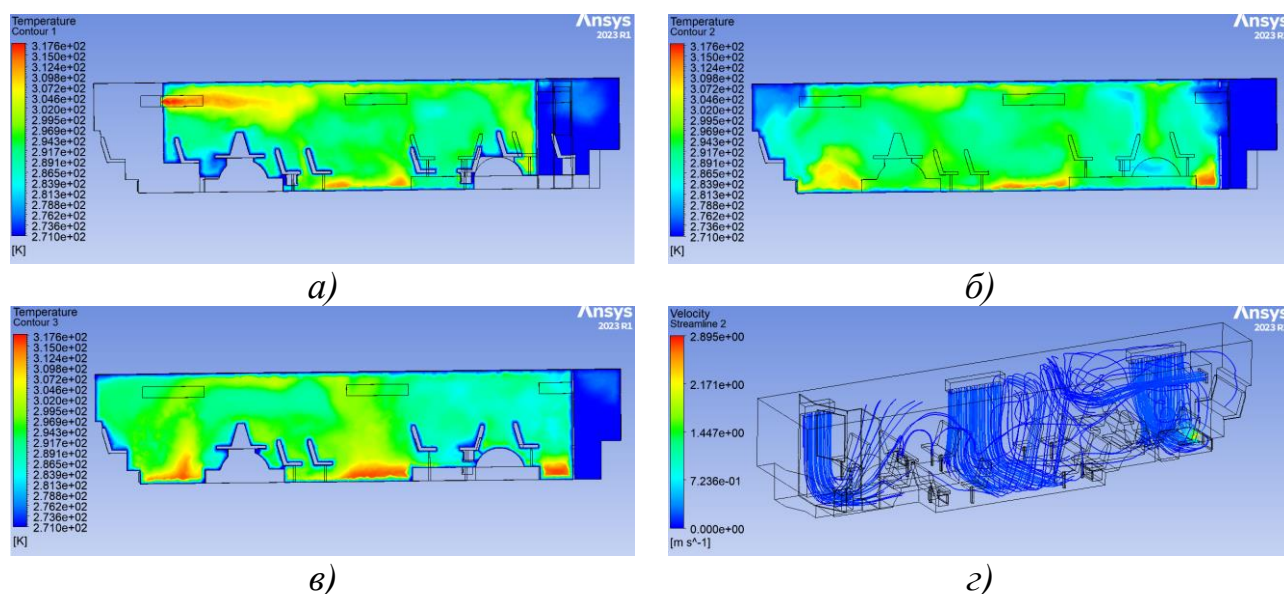


Рисунок 4.28 – Результати моделювання роботи комбінованої системи опалення автобуса при 1-му режимі роботи: а) лівий ряд сидінь; б) середина салону; в) правий ряд сидінь; г) рух повітряних потоків

На рис. 4.28а розподіл температур по лівому ряду сидінь автобуса є відносно однаковий, температура коливається в межах $16\text{--}18^\circ\text{C}$, крім ділянки голови над задніми осями, там температура сягатиме 24° , що зумовлено розташуванням вентилятора, що забирає тепло від ДВЗ. В задній частині салону автобуса в ногах сидячого пасажера ми маємо дещо нижчий рівень температури, $8\text{--}10^\circ\text{C}$, натомість в ногах на накопичувальній площадці температура сягає рівня $22\text{--}24^\circ\text{C}$. По середині салону (рис. 4.28б) температура теж зберігається здебільшого однакова по всьому салону, $16\text{--}18^\circ\text{C}$, тільки в зоні ніг біля входних дверей значення температури сягає до $22\text{--}24^\circ\text{C}$. По правому ряду сидінь салону посередині та в заді температура на рівні поясу та голови

однакова в межах 16-18°C, але в передній частині трішки нижча 12-14°C, а в зонах ніг біля дверей із-за роботи повітряних завіс температура може підніматись до 24°C і вище.

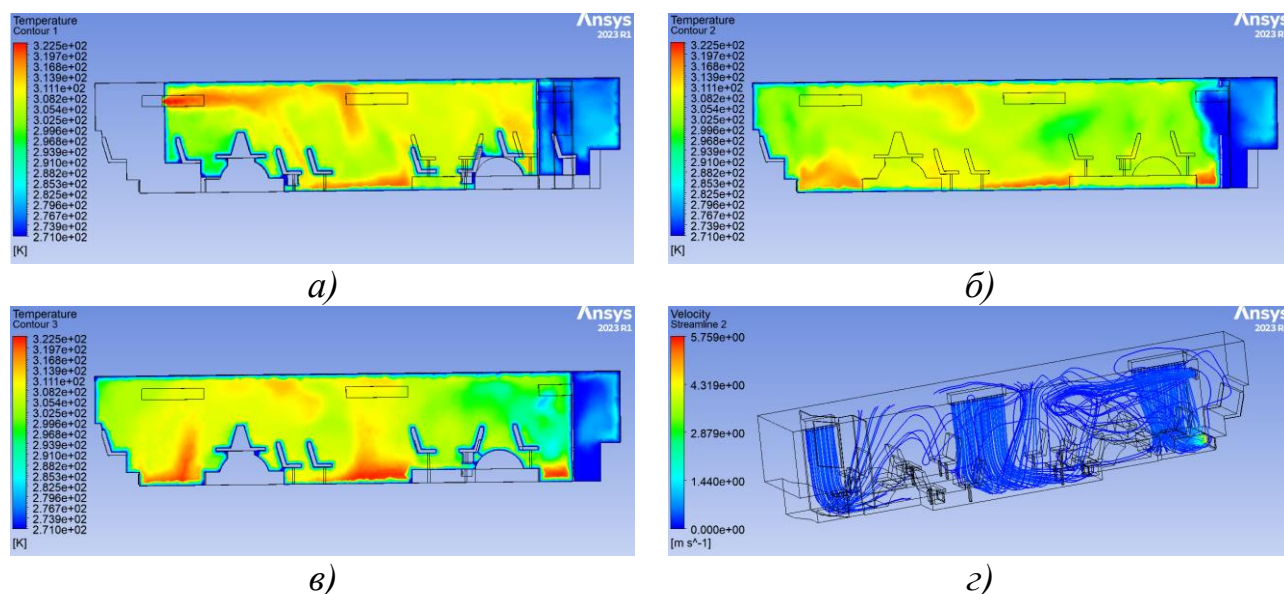


Рисунок 4.29 – Результати моделювання роботи комбінованої системи опалення автобуса при 2-му режимі роботи: а) лівий ряд сидінь; б) середина салону; в) правий ряд сидінь; г) рух повітряних потоків

На рис. 4.29а розподіл температур по лівому ряду сидінь автобуса не є однаковий, температура в зоні голови коливається в межах 21-24°C, крім передньої частини салону, там температура сягатиме 20-21°. В задній частині салону автобуса в ногах сидячого пасажера ми маємо дещо нижчий рівень температури, 14-17°C, натомість в ногах на накопичувальній площадці температура сягає рівня 24°C і вище. По середині салону (рис. 4.29б) температура здебільшого однакова по всьому салону, 18-19 на переді та 20-21°C по салону, тільки в зоні ніг біля входних дверей значення температури сягає до 24°C та на рівні голови над задніми осями. По правому ряду сидінь салону посередині та в заді температура в межах 21-23°C, але в передній частині трішки нижча 16-18°C, а в зонах ніг біля дверей із-за роботи повітряних завіс температура може підніматись до 26°C і вище.

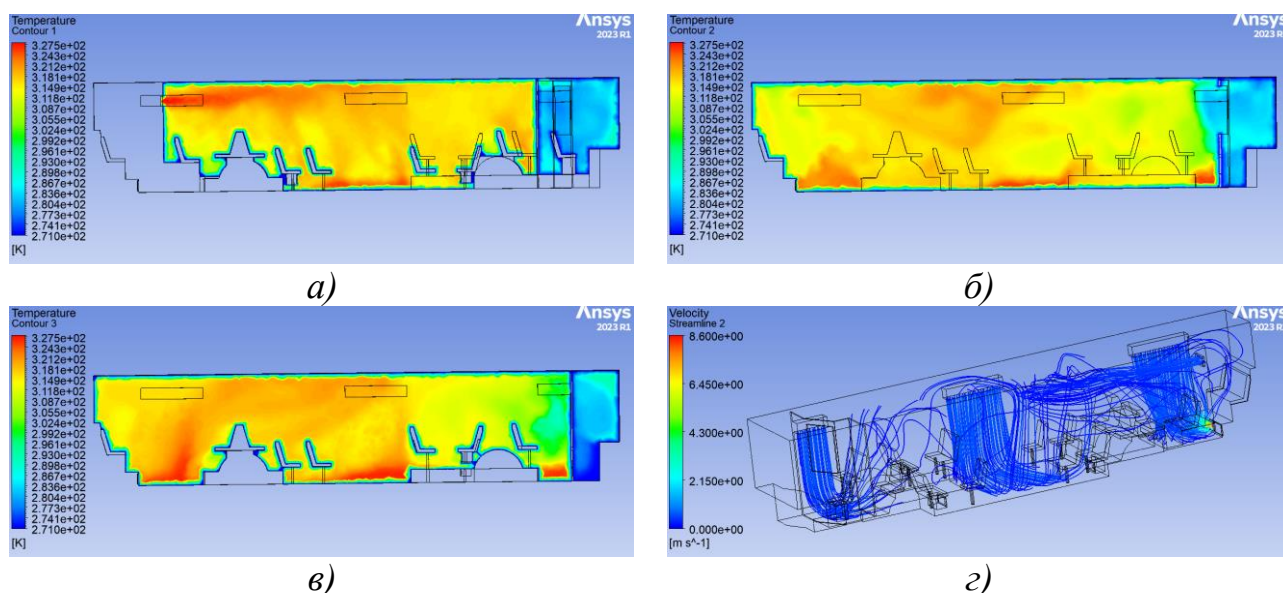


Рисунок 4.30 – результати моделювання роботи комбінованої системи опалення автобуса при 3-му режимі роботи: а) лівий ряд сидінь; б) середина салону; в) правий ряд сидінь; г) рух повітряних потоків

На рис. 4.30а розподіл температур по лівому ряду сидінь автобуса є приблизно однаковий та інтенсивний, температура становить 26°C і вище. По середині салону (рис. 4.30б) температура не є однакою посередині та взаді становить, 24°C і вище (над задніми осями), на рівні голови сидячого пасажера взаді температура становить $22\text{--}23^{\circ}\text{C}$, а на переді та $21\text{--}22^{\circ}\text{C}$, тільки в зоні ніг біля входних дверей значення температури сягає 26°C і вище. По правому ряду сидінь салону посередині та в заді температура коливається в межах $24\text{--}26^{\circ}\text{C}$ і вище, але в передній частині трішки нижча $20\text{--}21^{\circ}\text{C}$, а в зонах ніг біля дверей із-за роботи повітряних завіс температура може підніматись до 26°C і вище.

Тобто провівши дослідження роботи комбінованої системи опалення, можна зробити висновки, що таке компонування опалювачів в салоні є доволі ефективним та дає змогу замінити опалювачі розміщені в зоні ніг пасажирів чи звести їх число до мінімуму.

Висновки до розділу 4

1. Експериментальним шляхом виміряно значення параметрів мікроклімату на робочому місці водія у теплу та холодну пору року автобуса Електрон А185, встановлено, що:

- у теплу пору року діапазон температури в більшості точках відповідає нормам 21-22°C, температура в зоні поясу є підвищеною $\pm 23-23,5^\circ\text{C}$, кабіна водія має досить добру природну вентиляцію, вологість повітря в точках вимірювання перевищують нормативні 80-90% при зовнішній вологості повітря 85%, кількість повітря здебільшого залишається сталою в межах приблизно 40-55 мл/с;

- в холодну пору року температура на робочому місці водія на рівні голови відповідає нормованому значенню $\geq +18^\circ\text{C}$, в інших зонах температура є дещо нижча $+10...+14^\circ\text{C}$, значення вологості становить 70-90%, крім зони голови 50-60%, кількість повітря при роботі опалювачів кабіни водія 1050-1100 мл/с;

- рівень CO_2 на робочому місці водія знаходиться в межах оптимальної норми – 400 ppm.

2. На основі експериментальних замірів в 4-х зонах салону автобуса Електрон А185 у теплу та холодну пору року,:

- в зонах III та IV в теплу пору року ні в одній точці немає відповідності нормативним значенням, значення температури повітря становить $30-36^\circ\text{C}$ і охолодження салону автобуса не відбувається потрібним чином. Вологість повітря теж не відповідає нормативним значенням й коливається в межах 25-35 %, а в деяких ділянках салону значення вологості опускається до $\pm 20\%$, що є значним перевищенням норм;

- в холодну пору було виявлено, що в деяких точках вимірювання є невідповідності нормативним значенням температури $18-22^\circ\text{C} \pm 1...2^\circ\text{C}$, а саме $11-13^\circ\text{C}$ в зоні I та $6^\circ\text{C} - 12^\circ$ в зоні III.

3. На основі результатів проведених досліджень, запропоновано рекомендації для покращення роботи системи опалення міського автобуса:

- при заміні рідинної системи опалення на електричну можна отримати вииграш в затратах на джерела опалення у 2...2,5 рази, таке рішення є особливо актуальним для електробусів;

- застосування нагнітаючих дахових вентиляторів в системі вентиляції міського автобуса дозволить підтримувати рівень свіжого повітря в салоні та забезпечити нормоване значення швидкості повітря, до 0,3 м/с;

- використання вакуумних ізоляційних панелей дозволить покращити теплоізоляційну здатність кузова автобуса до 70%;

- запропонована системи опалення із використанням відбору теплоти від ДВЗ та опалювачів типу «повітряна завіса» дозволить організувати ефективний розподіл теплоти по салону автобуса, вивільнить простір у салоні, зробить прибирання салону зручнішим.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. На даний час та в найближчому майбутньому переважаючими пасажирськими перевезеннями надалі будуть автобусні, з долею від 45% з усіх пасажирських перевезень, відповідно мікрокліматичних умовам на робочому місці водія і у салоні автобуса, які безпосередньо пов'язана з повітрообміном, вмістом шкідливих речовин, ступенем забруднення повітря, досягненням максимально допустимого рівня вірусних бактерій, особливо під час епідемій слід приділяти належну увагу.

2. На основі огляду наукових праць, патентів, дисертаційних досліджень та нормативних документів ISO, ASHRAE, DIN, EN щодо мікроклімату встановлено основні фактори, що впливають на формування мікроклімату салону автобуса та робочого місця водія, а саме: температура повітря, середня радіаційна температура, вологість і швидкість повітря, кількість свіжого повітря та інтенсивність сонячної радіації, однак часто відсутні в нормативних документах показники пов'язані з якістю повітря, рівнем активності пасажирів та врахування теплоізоляції одягу пасажирів та водія. Згідно більшості нормативних документів температура повітря в салоні КТЗ повинна становити в межах 18...22°, вологість 40...60%, швидкість повітря 0,1...0,3 м/с, рівень CO₂ не більше 400...600 ppm.

3. Досліджено вплив теплоти, яка постійно утворюється при працюючому ДВЗ на салон автобуса, а саме:

- розподіл температур у мотовідсіку та на стінках кузова автобуса не є однорідним, перепад температур може коливатися до 80°C;
- температурний діапазон 200 – 800°C випускного колектора суттєво залежить від режимів роботи ДВЗ та параметрів навколишнього середовища, дозволяє отримати від 2 до 10 кВт*год теплоти;
- проаналізовано ефективність розподілу нагрітого повітря по салону автобуса із використанням додаткових вентиляторів для передньо-, середньо та задньомоторної компоновки ДВЗ при трьох режимах роботи, для температур

салону 18-22°C найефективніший обігрів салону відбувається при розташування ДВЗ у задній частині опозитно, що дозволяє обігріти до 70% салону.

4. Досліджено роботу розміщених над, біля дверей та внизу під кутом обігрівачів типу «повітряна завіса» при 3-х режимах роботи:

- розміщення над дверями дозволяє обігріти салон автобуса на 40-50%, розподіл температури є здебільшого рівномірним, тільки ліва ділянка салону менше обігрівається, дане компонування дозволяє зменшити кількість стандартних опалювачів з правої частини салону автобуса, їх монтаж можливий при наявності в конструкції автобуса відсувних дверей;

- розміщення повітряних завіс біля дверей дає можливість обігріти салон автобуса на 50-60%, розподіл температур не є доволі рівномірним, але дозволяє інтенсивно та достатньо швидко нагріти пасажирський салон, однак на відміну від попереднього варіанту можуть виникнути проблеми при монтажі, їхнє розташування потребуватиме додаткового місця;

- розміщення повітряних завіс внизу під кутом дає можливість обігрівати салон не більше ніж на 30-40%, а також опалювачі розміщені таким чином не працюють повноцінно як повітряні завіси, повітряні потоки, які виходять із опалювачів не виконують функцію відсічення гарячого/холодного повітря на 100% в дверних проїмах автобуса.

5. Встановлено, що найбільш популярною моделлю міського автобуса в парках міст Європи є типаж низько-підлогових машин City Low-Floor, здебільшого 3-х дверних, довжиною 12 метрів із рідинною системою опалення об'єднаною із великим колом системи охолодження ДВЗ та потрібною потужністю джерела опалення $\pm 30 \dots 32$ кВт. У ANSYS-Fluent на основі розрахунку теплового балансу досліджено роботу систем опалення та повітрообміну низькопідлогового міського автобуса.

6. Було проведено експериментальні дослідження параметрів мікроклімату на робочому місці водія та у салоні міського автобуса Електрон А185 у теплу та холодну пору року та визначено:

- на робочому місці водія автобуса в теплу пору року значення температури в більшості відповідає нормативним значенням 18-22°C, відповідно кабіна водія даної моделі автобуса має хорошу природну вентиляцію, значення вологості було завищеним 80-90%, кількість приточного повітря становила 40-55 мл/с, в холодну пору року температура повітря на рівні голови водія зберігається в межах норми, на рівні поясу і ніг значення є занижені, вологість на рівні голови є в межах норми, середня кількість повітря становила 1050-1100 мл/с, значення рівня CO₂ в межах норми.

- у пасажирському салоні в теплу пору року є декілька місць, здебільшого розташованих біля мотовідсіку, в яких значення температури завищена до 36°C, а значення вологості всього 25%, а у холодну пору року є невідповідності нормативним значенням по температурі у місцях поруч з пасажирськими дверима.

7. Результатом дисертаційних досліджень є технічні рішення направлені на покращення мікроклімату робочого місця водія і салону:

- заміна рідинних опалювачів на електричні, які є до 2,5 раз ефективнішими;

- встановлення в даху автобуса нагнітаючих вентиляторів, які працюють один на забір, другий на викид повітря із пасажирського салону, які дозволять також підтримувати потрібний повітрообмін на робочому місці водія;

- в облицюванні кузова автобуса використання спеціальних вакуумних ізоляційних панелей, які здатні підвищити теплоізоляцію кузова до 70%;

- застосування в конструкції автобуса комбінованої системи опалення, з забором тепла від ДВЗ для обігріву лівої сторони та повітряних завіс на правій, дозволить майже у всіх ділянках салону забезпечити температуру 18-22°C, зменшити затрати джерела опалення по тепловій продуктивності обігрівуючи 80-85% салону, не встановлювати обігрівачі під сидіннями, збільшити корисну площу салону, зменшити витрати палива на роботу системи опалення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Войчишин Ю.І., Круць Т.І., Зінько Р.В., Горбай О.З. Дослідження мікроклімату салону міського автобуса. Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті, №1 (14), 2020. С. 49-57.
2. Kernytskyu, I.; Yakovenko, Y.; Horbay, O.; Ryviuk, M.; Humenyuk, R.; Sholudko, Y.; Voichyshyn, Y.; Mazur, Ł.; Osiński, P.; Rusakov, K.; et al. Development of Comfort and Safety Performance of Passenger Seats in Large City Buses. *Energies* 2021, 14, 7471. (Scopus)
3. Yakovenko. E., Voichyshyn Y., Horbay O. Analysis of thermal comfort models of users of public urban and intercity transport // *Ukrainian Journal of Mechanical Engineering and Materials Science*. – 2022. – Vol. 8, №2. – P. 67-74.
4. Войчишин Ю.І., Яковенко Є.І., Горбай О.З., Голенко К.Е., Бур'ян М.В. Моделювання теплового комфорту міського автобуса PMV-методом за допомогою CBE Thermal Comfort Tool. Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті, № 2 (19), 2022. С. 32-41.
5. Ю.І. Войчишин, Д.А. Роман. Моделювання теплового комфорту міського автобуса PMV методом. Науково-прикладні аспекти автомобільної і транспортно-дорожньої галузей: матеріали VII міжнарод. наук.-прак. конф. (м. Луцьк, 14-16 черв. 2022р.). Луцьк, 2022. – С. 13-15.
6. К.Е. Голенко, Ю.І. Войчишин, Є.І. Яковенко, О.З. Горбай, О.Ю. Рудик. Аналіз впливу різних типів компоновки кузовів автобусів на особливості формування потоків повітря в умовах вимушеної конвекції салону. Вісник НТУ «ХПІ». Серія Автомобіле- та тракторобудування, №1, 2022. С. 3-13.
7. K. Holenko, Y. Voichyshyn, O. Horbai, M. Burian, V. Popovych, O. Makovkin. Thermal comfort formation of the bus interior depending on the power unit layout. *Problems of Tribology*, V. 27, No 4/106-2022, 58-68.
8. Ю. Войчишин, К. Голенко, М. Бур'ян, О. Горбай. Дослідження температурного впливу на стінки кузова під час роботи двигуна міського автобуса із задньомоторною компоновкою. Міжнародна конференція

«Покращення конструктивних та експлуатаційних показників автомобілів і машин». Збірник тез доповідей. – К.: НТУ, 2022. – С. 126 - 128.

9. Голенко К.Е., Войчишин Ю.І., Бабак О.П., Роман Д.А. Моделювання мікроклімату міських автобусів методом кінцевих елементів. XV міжнародна науково-практична конференція «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту». Збірник тез доповідей. – Житомир: Житомирська політехніка, 2022. – 166 с.

10. Methodology of analytical research of the microclimate of the bus drivers cab using the ANSYS-FLUENT software environment / Yurii Voichyshyn, Kostyantyn Holenko, Orest Horbay, Volodymyr Honchar // Scientific Journal of TNTU. — Tern.: TNTU, 2023. — Vol 109. — No 1. — P. 90–98.

11. Ю. Войчишин, К. Голенко, О.Горбай, О.Потеряєв. Експериментальні дослідження мікроклімату кабіни водія автобуса Електрон А18501 в помірну та холодну пору року. Сучасна наука та освіта: стан, проблеми, перспективи. Матеріали III міжнародної науково-практичної конференції. 20 – 21 березня, 2023, Полтава, С. 394-396.

12. Голенко К.Е., Войчишин Ю.І., Гончар В.А. Методика оцінки вентиляції міських автобусів на основі циркуляції повітряних мас. Інноваційні технології розвитку машинобудування та ефективного функціонування транспортних систем: матеріали тез IV Всеукраїнської науково-технічної конференції, 26-27 квітня 2023 року, Рівне. – 2023. – С. 173-177.

13. Yurii Voichyshyn, Kostyantyn Holenko, Dmytro Roman, Orest Horbai. Study of microclimate parameters in the bus driver's cabin in the warm season. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 1277 (2023) 012035. 11 p.

14. Ю. І. Войчишин, К. Е. Голенко, О. З. Горбай, А. П. Поляков, О. Ю. Рудик, Ю.В. Гай. Експериментальні дослідження параметрів мікроклімату в салоні автобуса в холодну пору року. Вісник машинобудування та транспорту №2(18), 2023. С. 38-45.

15. Ю.І. Войчишин, К.Е. Голенко, О.З. Горбай. Дослідження мікрокліматичних показників в зоні підвищеного виділення теплоти в салоні

міського автобуса. Матеріали XVI Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 23-25 жовтня 2023 року: збірник наукових праць / Міністерство освіти і науки України, Вінницький національний технічний університет [та інш.]. – Вінниця: ВНТУ, 2023. С. 113-115.

16. Ю. Войчишин, О. Горбай. Експериментальні дослідження роботи дифузора системи опалення кабіни водія автобуса Електрон А185. Інноваційні технології розвитку машинобудування та ефективного функціонування транспортних систем: матеріали тез V Всеукраїнської науково-технічної інтернет-конференції 25–27 жовтня 2023 р. [Електронне видання]. Рівне : НУВГП, 2023. С. 12-15.

17. Войчишин Ю. І., Гай Ю. В., Горбай О. З., Голенко К. Е. Експериментальні дослідження мікрокліматичних показників робочого місця водія автобуса в теплу пору року // Актуальні задачі сучасних технологій: збірник тез доповідей XII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів, Тернопіль, 6–7 грудня 2023 р. – 2024. – С. 148–149.

18. Holenko, K., Dykha, A., Voichyshyn, Y., Horbay, O., Dykha, M., Dytyniuk, V. (2024). Determining the characteristics of contact interaction between the two-row windshield wiper and a curvilinear glass surface. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (7 (127)), 48–59. (Scopus)

19. Y. Voichyshyn. Study of Microclimate Indicators of a Bus Driver's Workplace in the Warm Season of the year. *Scientific Journal of the Ternopil National Technical University*, 2024, № 2 (114), 11-19 p.

20. Голенко К.Е., Войчишин Ю.І., Свідерський В.П., Клипко О.Р. Моделювання поведінки склоочисника під час контакту з криволінійною поверхнею, фактори впливу на безпеку водіння. Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті, № 2 (19), 2022. С. 32-41.

21. Л. Крайник, Ю. Гай. Мікроклімат салону автобуса. Формування нормативної бази. Автобусобудування та пасажирські перевезення в Україні: тези доповідей III-ої Всеукраїнської науково-практичної конференції, Львів, 22-

23 лютого 2018 року. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2018. С. 14–15.

22. С. Нємий, М. Гинда. Вплив конструктивних особливостей теплорозподільчих пристроїв на ефективність системи опалення автобусів. 14-й міжнародний симпозіум українських інженерів-механіків у Львові. 23-24 травня 2019. С. 84-85.

23. С.В. Нємий. Ефективність теплорозподільчих пристроїв системи опалення салонів автобусів. Науковий вісник НЛТУ України, 2021, т. 31, № 1. С. 80-84.

24. С.В. Нємий. Особливості розрахунку температурного стану салону автобуса. Вісник ЛДУБЖД №22, 2020. – 78-84.

25. Кравченко О.П., Чуйко С.П. Дослідження теплового балансу салону автобуса у теплий період року. Вісник східноукраїнського національного університету ім. В.Даля. 2019. №3 (251). С. 101-106.

26. S. Chuico, O. Kravchenko. Thermal inertiality of the air in the public transport cabin with conditioning system. Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. 2022, №2 (19). с. 5-15.

27. Mehmet Bilgili, Ediz Cardak, Arif Emre Aktas. (2017). Thermodynamic Analysis of Bus Air Conditioner Working with Refrigerant R600a. European Mechanical Science, 1(2), pp.69-75.

28. Ç. Kutlu, Ş. Ünal, M.T. Erdiñç. Thermodynamic analysis of bi-avaporater ejector refrigeration cycle using R744 as natural refrigerant, Journal of Thermal Engineering, 2(2) (2016), 735-740.

29. Ş. Ünal. An experimental study on a bus air conditioner to determine its conformity to design and comfort conditions. Journal of Thermal Engineering, Vol. 3, No. 1, 2017. pp. 1089-1101.

30. X. Shen, Sh. Feng, Zh. Li and B. Hu. Analysis of bus passenger comfort perception based on passenger load factor and in-vehicle time. SpringerPlus (2016) 5:62.

31. Kumar C, Basu D, Maitra B (2004) Modeling generalized cost of travel for rural bus users: a case study. *J Public Transp* 7:59–72.
32. Tirachini A, Hensher DA, Rose JM (2013). Crowding in public transport systems: effects on users, operation and implications for the estimation of demand. *Transp Res Part A* 53:36–52.
33. Litman T (2008) Valuing transit service quality improvements. *J Public Transp* 11:43–63.
34. Shek K, Chan WT (2008) Combined comfort model of thermal comfort and air quality on buses in Hong Kong. *Sci Total Environ* 389:277–282.
35. Li Z, Hensher DA (2013) Crowding in public transport: a review of objective and subjective measures. *J Public Transp* 16:107–134.
36. O. Büyükalaca, T. Yılmaz, Ş. Ünal, E. Cihan, E. Hürdoğan, Calculation of cooling load of a bus using radiant time series (RTS) method, 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), Elazığ/Turkey, 16-18 May (2011) 227-230 (in Turkish).
37. S. Mezarıcıoğlu, H. Akıllı. Calculation of heat transfer from the bottom of a coach to the passenger compartment. *International Journal of Automotive Engineering and Technologies*, 10 (2) 83-90.
38. S.R. Kale, S.V. Veeravalli, H.D. Puneekar and M.M. Yelmulei. Air flow through a non-airconditioned bus with open windows. *Sadhana*, Vol. 32, 4, 2007, pp. 347–363.
39. N. Rorres. *Airflow Through Buses*. RTD, 2020. 8 p.
40. J. Merkisz, D. Michalak, M. Bajerlein, M. Nowak, Ł. Rymaniak, A. Ziolkowski. *Autobusy*, Nr. 4, 2012, s. 104-110.
41. P. Thede. Development of advanced air condition controller for urban buses. Master's Degree Project, 2012, 56 p.
42. Vishnujith V. K., G.G. Krishnan, M. Anto, B. Prakash, J. M. Issac. Design and Fabrication of automatic climate control system for automobile. *IRJET*. Vo 05, 2018, pp. 2930-2934.

43. Ü. Pala. Investigation of Thermal Comfort for Bus Passengers During a Cooling Test Inside a Climatic Chamber. *Politeknik Dergisi*, 2020; 23(2): pp. 547-555.
44. S. Yenneti, G. Nayak, P.R. Punuru. Optimization Of A Main Engine Driven Roof Top Bus Air-Conditioning System. 15th International Refrigeration and Air Conditioning Conference at Purdue, July 14-17, 2014, 2510.
45. J. Merkisz, D. Michalak, M. Bajerlein, M. Nowak, Ł. Rymaniak, A. Ziolkowski. Wpływ zastosowania różnych konstrukcji piecy ogrzewania postojowego w autobusie miejskim na zmniejszenie energochłonności. *Autobusy*, 4, 2012, pp. 120-127.
46. B.T. Jaime, F. Bjurling, J.M. Corberan, F.D. Sciullo, J. Paya, Transient thermal model of a vehicle's cabin validated under variable ambient conditions, *Applied Thermal Engineering*, 75 (2015) pp. 45-53.
47. Pathak A., Binder M., Chang F.i, Ongel A. Analysis of the influence of air curtain on reducing the heat infiltration and costs in urban electric buses. *International Journal of Automotive Technology*. Vol. 21, No. 1, January 2020. pp. 147-157.
48. M. Li., L. Guo, Q. Guo. Aeroacoustic Noise Analysis of Automobile Air Conditioning System. *Advances in Engineering Research*, vol. 120, 2017, pp. 965-972.
49. R. Selegovskis, A. Laizans, J. Galins, A. Rubenis. Dynamics and analytics of public electric passenger minibus heating. *Engineering for rural development*. 2020, pp. 918-923.
50. D. Göhlich, T.-A. Ly, A. Kunith, D. Jefferies. Economic assessment of different air-conditioning and heating systems for electric city buses based on comprehensive energetic simulations. *World Electric Vehicle Journal* Vol. 7, pp. 398-406.
51. Taiquan Liu. (2019). Thermal Management Solutions for Battery Electric Buses in Cold Climates. Master's Thesis. Aalto University School of Engineering Department of Mechanical Engineering, 107 p.

52. G. Homann. Energieeffizientes Heizen eines E-Fahrzeugs. genehmigte Dissertation. Technischen Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig. 2015, 176 p.
53. B.S.K.K. Ibrahim, N. Aziah. M.A, S. Ahmad, R. Akmeliawati, Nizam H.M.I, A.G.A. Muthalif, S.F.Toha¹, M.K. Hassan. Fuzzy-based Temperature and Humidity Control for HVAC of Electric Vehicle. *Procedia Engineering* 41 (2012) pp. 904 – 910.
54. H. Sahraei. Interior Climate U-Value calculation and optimization for electric buses at Volvo buses. Master's thesis. Chalmers University of Technology. Göteborg, Sweden. 2020, 45 p.
55. W. Kraft, V. Stahl, P. Vetter. Thermal Storage Using Metallic Phase Change Materials for Bus Heating—State of the Art of Electric Buses and Requirements for the Storage System. *Energies* 2020, 13, 3023.
56. A. Liebold, P.-H. Lin, B. Vetsch, C. Arpagaus, Stefan S. Bertsch. (2016). Simulation of a VRF system applied in electric buses in Taiwan. *Purdue University. International Refrigeration and Air Conditioning*, 11 p.
57. К. В. Данова, М. І. Бокатова. Аналіз умов праці водіїв автотранспорту. *Комунальне господарство міст*, 2015, 120 (1), С. 234-236.
58. R. Zewdie, P. Kic, Selected factors Affecting Microclimatic Conditions in Driver's Cabin, *Engineering for Rural Development*. 20 (2015) pp. 61-66.
59. Dr.-Ing. Joseph Temming. Fahrzeugklimatisierung und Verkehrssicherheit. Auswirkungen sommerlichen Klimas in Kfz auf die Leistungsfähigkeit der Fahrer. *Forschungsvereinigung Automobiltechnik e.V. (FAT). Frankfurt am Main*. 2003, 319 p.
60. K. Bux. (2006). Klima am Arbeitsplatz. Stand arbeitswissenschaftlicher Erkenntnisse – Bedarfsanalyse für weitere Forschungen, 34 s.
61. T.-P. Lin, R.-L. Hwang, K.-T. Huang, Ch.-Yi Sun, Yi.-Ch. Huang. Passenger thermal perceptions, thermal comfort requirements, and adaptations in short- and long-haul vehicles. *Int J Biometeorol*. 2010 May; 54(3): 221-30.

62. Dawit Getachew Melesse. (2014). Thermal Comfort for Passenger Train from Addis Ababa to Dire Dawa: A Thesis submitted to the school of Graduate studies of Addis Ababa University in partial Fulfillment of the Requirements for the Degrees of Masters of sciences in Mechanical Engineering. Addis Ababa Institute of Technology School of Mechanical and Industrial Engineering, 110 p.

63. Eirik Trygstad. (2017). R744 HVAC unit for NSB Flirt trains. Norwegian University of Technology and Science, 188 p.

64. A. Hafner, Øystein Christensen, P. Neksa. Reversible R744 (CO₂) Heat pumps Applied in Public Trains. 9th IIR Gustav Lorentzen Conference, Sydney, 2010, 8 p.

65. R. N. Hofstadtera, J. Amayab, M. Kozeka. Energy optimal control of thermal comfort in trams. Thermal Engineering. 143. (2018). pp. 812-821.

66. Лук'яненко В.М, Галич І.В. Аналіз вимог до мікроклімату на робочому місці оператора мобільної сільськогосподарської техніки. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. 2010. Т. 2, Вип. 93. С. 232-247.

67. В.В. Соколянський. Аналіз складових теплового балансу кабіни пожежного автомобіля під час гасіння пожежі. Збірник наукових праць ЛДУ БЖД. Пожежна безпека №27, 2015, с. 127-134.

68. Система опалення робочого місця водія міського і приміського автобусів: пат. 62288 Україна: МПК В60К 11/00, В60Н 1/10. № u 201100213; заявл. 05.01.2011; опубл. 25.08.2011, Бюл.№ 16.

69. Система опалення транспортного засобу: пат. 20664 Україна: МПК В60Н 1/00. UA № 20664u; опубл. 02.09.1997.

70. Комп'ютерна система контролю і керування мікрокліматом робочого місця: пат. 23908 Україна: F24F 11/00. UA № 23908u; опубл. 11.06.2007.

71. Система опалення пасажирського салону міського і приміського автобусів: пат. 62285 Україна: МПК В60К 11/00, В60Н 1/10. № u 201100210; заявл. 05.01.2011; опубл. 25.08.2011, Бюл.№ 16.

72. Система опалення робочого місця водія міського і приміського автобусів: пат. 62288 Україна: МПК В60К 11/00, В60Н 1/10. № u 201100213; заявл. 05.01.2011; опубл. 25.08.2011, Бюл.№ 16.

73. Пристрій для електричного опалення кабіни водія трамвая: пат. 12184 Україна: МПК В60L 1/02 (2006.01). № u200508062; заявл. 15.08.2005; опубл. 16.01.2006, Бюл. № 1.

74. С.П. Чуйко. Зниження енергоємності автобусів категорій МЗ на міських маршрутах. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 274 – Автомобільний транспорт. Житомир, 2021,

75. M. Eriksson. Modelling and Control of the AC-system in Heavy Duty Truck. Master thesis performed at Vehicular systems at Linköping Institute of Technology. Linköping, June 15, 2001, 50 p.

76. M. Björklund. A Model of the Air Temperature in a Truck Cabin. Master's Degree Project Stockholm, Sweden 2004, 68 p.

77. J. Matuška. Local Control of Seat Ventilation and Its Impact on Human Thermal Comfort. Master's Thesis, Faculty of Mechanical Engineering, Brno University of Technology, 2018, 108 p.

78. Manol Dimovski. Alternative solutions in automotive HVAC systems. Comfort, efficiency and sustainability in car cabin temperature control. MSc thesis, Politecnico di Milano School of Design, Milan, 2016/2017, 86 p.

79. Paul E. B. Stuke. Vertical interior cooling system for passenger cars: Trials and evaluation of feasibility, thermal comfort and energy efficiency. Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Maschinenwesen der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.) genehmigten Dissertation. 2016, 113 p.

80. C. Croitoru, I. Nastase, F. Bode, A. Meslem, A. Dogeanu, Thermal comfort models for indoor spaces and vehicles—Current capabilities and future perspectives, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 44 (2015) pp. 304-318.

81. A. Alahmer, M. Abdelhamid, M. Omar, Design for thermal sensation and comfort states in vehicles cabins, *Applied Thermal Engineering*, 36 (2012) pp. 126-140.
82. A. Grundstein, V. Meentemeyer, J. Dowd, Maximum vehicle cabin temperatures under different meteorological conditions, *Int J Biometeorol* 53 (2009) pp. 255–261.
83. A. Alahmer, M. Omar, A.R. Mayyas, A. Qattawi, Analysis of vehicular cabins' thermal sensation and comfort state, under relative humidity and temperature control, using Berkeley and Fanger models, *Building and Environment*, 48 (2012) pp. 146-163.
84. H.O. Nilsson, Thermal comfort evaluation with virtual manikin methods, *Building and Environment*, 42 (2007) pp. 4000-4005.
85. M. Kilic, S.M. Akyol, Experimental investigation of thermal comfort and air quality in an automobile cabin during cooling period, *Heat Mass Transfer*, 48 (2012) pp. 1375-1384.
86. B. Torregrosa-Jaime, F. Bjurling, J.M. Corberan, F.D. Sciullo, J. Paya, Transient thermal model of a vehicle's cabin validated under variable ambient conditions, *Applied Thermal Engineering*, 75 (2015) pp. 45-53.
87. T. Srisilpsophon, J. Tiansuwan, T. Kiatsiriroat, Effect of anti-solar glass film on heat transfer and mean radiant temperature inside cabin of air-conditioned vehicle, *International Journal of Ambient Energy*, 28(1) (2007), pp. 39-50.
88. S. Sepehr, M. Dehghandokht, A. Fartaj, Temperature control of a cabin in an automobile using thermal modeling and fuzzy controller, *Applied Energy*, (2012) pp. 860–868.
89. M.S. Oh, J.H. Ahn, D.W. Kim, D.S. Jang, Y. Kim, Thermal comfort and energy saving in a vehicle compartment using a localized airconditioning system, *Applied Energy*, 133 (2014) pp. 14-21.
90. D.W. Lee, Impact of a three-dimensional air-conditioning system on thermal comfort: An experimental study, *Int.J Automot. Technol.*, 16 (2015) pp. 411-416.

91. H.O. Nilsson, I. Holmér. Definitions and Measurements of Equivalent Temperature, European commission cost contract no smt4-ct95-2017 Development of standard test methods for evaluation of thermal climate in vehicles, in, 2002.

92. E. Foda, I. Almesri, H.B. Awbi, K. Sirén, Models of human thermoregulation and the prediction of local and overall thermal sensations, *Building and Environment*, 46 (2011) 2023-2032.

93. A. Alahmer, M. Abdelhamid, M. Omar, Design for thermal sensation and comfort states in vehicles cabins, *Applied Thermal Engineering*, 36 (2012) 126-140.

94. Т.І. Круць, Р.В. Зінько, Д.Г. Музичка, Ю.М. Черевко. Дослідження швидкісних і температурних показників в процесі вентиляції салону автобуса. «Прогресивна техніка, технологія та інженерна освіта» (ІПТК-2019): матеріали тез доповідей XX міжнародної науково-технічної конференції (м. Київ-Херсон, 10–13 вересня 2019 р.) / КПІ ім. І.Сікорського [та ін.]. 2019. – С.174-179.

95. Edvin Eriksson Johansson, Maja Skärby. Interior climate simulation of electric buses. Master thesis in Applied Mechanics. Department of Mechanics and Maritime Sciences Chalmers university of technology. Gothenburg, 2019, 60 p.

96. Corzo, S.F.; Godino, D.M.; Ramajo. Air circulation study inside and outside of urban buses induced by the opening of windows. *Environmental Science and Pollution Research*. 30, 2023, pp. 20821–20832.

97. Li, F.; Lee, E.S.; Zhou, B; Liu, J; Zhu, Y. Effects of the window openings on the micro-environmental condition in a school bus. *Atmospheric Environment*. 2017.

98. Sarna, I.; Palmowska, A. Modelling of the Airflow in the Passenger Coach. *Architecture Civil Engineering Environment*. 4, 2019, pp. 125 – 133.

99. S.-J. Yoo, S. Yamauchi, H. Park, and K. Ito, Computational Fluid and Particle Dynamics Analyses for Prediction of Airborne Infection/Spread Risks in Highway Buses: A Parametric Study, *Fluids*, 8(9), 253, 2023.

100. Q. Luo, Y. Xia, H. Jian, F. Xiaodan, L. Zhiwen, G. Zhongli, and Ou, Cuiyun. Influence of natural ventilation design on the dispersion of pathogen-laden droplets in a coach bus, *Science of The Total Environment*, 885, 2023.

101. M. Scungio, G. Parlani, and G. Falcucci, Influence of the ventilation strategy on the respiratory droplets dispersion inside a coach bus: CFD approach, *Journal of Physics: Conference Series*, 2385, 2022.
102. Y. Makihira, and Y. Okumura, Ventilation design of tour buses for suppressing airborne transmission and highly efficient virus elimination in post COVID-19 period. *Mechanical Engineering Journal*, Article ID 23-00523, 2024.
103. L. Qiqi, C. Ou, J. Hang, Z. Luo, H. Yang, X. Yang, Y. Li, and X. Fan, Role of pathogen-laden expiratory droplet dispersion and natural ventilation explaining a COVID-19 outbreak in a coach bus, *Building and Environment*, 220, 2022.
104. M. Van Dyke, B. King, E. Esswein, J. Adgate, M. Dally, and M. Kosnett, Investigating dilution ventilation control strategies in a modern U.S. school bus in the context of the COVID-19 pandemic, *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 19:5: 271–280, 2022.
105. R. Tong, W. Zhengye, Z. Hong, X. Zhengguang, C. Xiaoke and G. Ran, Numerical Simulation of Bus Bar Hole Ventilation in Jinghe Dongzhuang Hydropower Station, *E3S Web of Conferences*, 356, 2022.
106. Qz. S. Corzo, D. Ramajo, and S. Idelsohn, Study of ventilation and virus propagation in an urban bus induced by the HVAC and by opening of windows, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 401, Part A, 2022.
107. F.A. Guevara Luna, M.A. Guevara Luna, and L.C. Belalcázar Cerón, CFD Modeling and Validation of Tracer Gas Dispersion to Evaluate Self-Pollution in School Buses. *Asian Journal of Atmospheric Environment*, 13(1), 2019, pp. 1-10.
108. Y. Yan, X. Li, and K. Ito, Numerical investigation of indoor particulate contaminant transport using the Eulerian-Eulerian and Eulerian-Lagrangian two-phase flow models. *Exp. Comput. Multiph. Flow* 2, 2020, pp. 31-40.
109. SJ. Yoo, A. Kurokawa, K. Matsunaga, and K. Ito, Spatial distributions of airbor126ne transmission risk on commuter buses: Numerical case study using computational fluid and particle dynamics with computer-simulated persons. *Exp. Comput. Multiph. Flow* 5, 2023, pp. 304-318.

110. A. Micovic, M. Komatina, N. Brkljac, Š. Živče, I. Camagic and Z. Golubovic, “Evaluation of heating efficiency and thermal comfort in special purpose vehicle cabins,” *Thermal Science*, vol. 25, no. 6A, 2021, pp. 4359–4370, 2021.

111. L. Zhang, L. Qi, J. Liu, and Q. Wu, Experimental study on dynamic thermal environment of passenger compartment based on thermal evaluation indexes. *Science Progress*, 103(3), 2020.

112. J. Oh, K. Choi, G-H. Son, Y-J. Park, Y-S. Kang, and Y-J. Kim, Flow analysis inside tractor cabin for determining air conditioner vent location, *Computers and Electronics in Agriculture*, 169, 2020.

113. С.О. Голубєв, О.Г. Лебідь, Д.І. Черній. Засоби комп’ютерного моделювання в галузі обчислювальної гідродинаміки. Математичне моделювання в економіці, №2, 2019, 21-39.

114. О. І. Нікольський, О. П. Шеремета. Моделювання теплових процесів в РЕА: навчальний посібник / О. І. Нікольський, О. П. Шеремета. – Вінниця: ВНТУ, 2015. – 116 с.

115. B. Flieger. Innenraummodellierung einer Fahrzeugkabine in der Programmiersprache Modelica. Von der Fakultät für Maschinenwesen der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Ingenieurwissenschaften genehmigte Dissertation. 2013, 157 s.

116. F.S. Laureando, G.P. Relatore. Modeling and Identification for HVAC Systems. Tesi svolta presso il Royal Institute of Technology KTH. 2012, 56 p.

117. Nithin Bharadwaj Ravindra. Unsteady Interior Climate Simulation of Electric Buses. Master’s thesis in Applied Mechanics. Department of Mechanics and Maritime Sciences Chalmers University of Technology. Göteborg, Sweden 2020, 61 p.

118. A. Mohan. Development of CFD method to model thermal properties of laminates in a truck cab. Linköping University Department of Management and Engineering Master thesis, 30 credits—Aeronautical Engineering Spring 2022, 82 p.

119. S. Verma, R. Joshi, M. Ladha, M. Sharma. CFD modelling calculation and simulation of bus. IRJET. Vol.: 10 Is.: 06, 2023, pp. 1236-1239.
120. B. Pirouz, D. Mazzeo, S. A. Palermo, S.N. Naghib, M. Turco and P. Piro. CFD Investigation of Vehicle's Ventilation Systems and Analysis of ACH in Typical Airplanes, Cars, and Buses. 13(12):6799, 2021.
121. M.A. Guevara-Luna, F.A. Guevara-Luna, A. Casallas, L.C. Belalcázar-Cerón. Exposure risk to carbon monoxide concentrations inside a diesel-based bus rapid transport system: a CFD-Monte Carlo modeling approach. Modeling Earth Systems and Environment (2023) 9:3403–3414.
122. R. de Lieto Vollaro. Indoor climate analysis for urban mobility buses: a CFD model for the evaluation of thermal comfort. International Journal of Environmental Protection and Policy. 2013; 1(1) : 1-8.
123. С. В. Нємий. Дослідження швидкісного режиму руху міських автобусів. Вісник Національного університету Львівська політехніка. Динаміка, міцність та проектування машин і приладів. №838, С. 202-216.
124. Ü. Pala. Investigation of Thermal Comfort for Bus Passengers During a Cooling Test Inside a Climatic Chamber. Journal of Polytechnic, 2020; 23 (2): 547-555 pp.
125. M.C. Gameiro da Silva. Measurements of comfort in vehicles. Meas. Sci. Technol. 13 (2002) R41–R60.
126. Lajunen, A.; Yang, Y.; Emadi, A. Review of Cabin Thermal Management for Electrified Passenger Vehicles. IEEE Trans. Veh. Technol. 2020, 69, 6025–6040.
127. Tanyeri, N.; Başlamışlı, Ç. Prediction of the annual heat load of an articulated electric urban bus. Isı Bilimi Tek. Derg. 2020, 40, 27–36.
128. О. А. Тригуб, В. В. Загубинога, Л. А. Тарандушка. Визначення продуктивності нагнітаючих вентиляторів системи автоматичної вентиляції кузова автомобіля. Вісник Вінницького політехнічного інституту, 2018, №4. – С. 95-102.
129. В.Й. Лабай, Д.І. Гарасим. Залежність ексергетичного ККД системи кондиціонування повітря операційних чистих кімнат від коефіцієнта

трансформації холодильної машини. Холодильна техніка та технологія, 51 (3), 2015. С. 14-21.

130. A. Kowalska-Koczwara, F. Pachla, K. Nering. Environmental Protection Against Noise and Vibration. IOP Conference Series Materials Science and Engineering 1203(3):032026.

131. Горбай О.З. Міцність та пасивна безпека автобусних кузовів: монографія / О.З. Горбай, К.Е. Голенко, Л.В. Крайник. – Львів: Видавництво Львівської політехніки., 2013. – 276 с.

132. J. Widen, J. Munkhammar, Solar Radiation Theory, Uppsala, 2019.

133. L. Wald, Basics in Solar Radiation at Earth Surface, First ed., MINES ParisTech, 2018.

134. A. A. Gabhane, A. V. Waghmare. Design of Comfortable Advanced Ventilated Automotive Seat for Driver using CFD simulation. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET). Volume: 03 Issue: 07, 2016. 1979-1985.

135. Marcus Vinícius Marques Hott, Gustavo Inácio Bicalho, Leonardo Vinícius Mendes Pereira, Cristiana Brasil Maia “Subjective evaluation of thermal comfort on a vehicle”, 20th International Congress of Mechanical Engineering, November 15-20, 2009.

136. P. Orlandi. Turbulent kinetic energy production and flowstructures in flows past smooth and rough walls. J. Fluid Mech. (2019), vol. 866, pp. 897–928.

137. Методичні вказівки до курсової роботи з дисципліни «Теплообмін у ДВЗ» для студентів спеціальності 142 Енергетичне машинобудування / Уклад. В.О. Пильов, О.Ю. Ліньков. Харків: НТУ «ХПІ», 2019. с.

138. E. Aho. Minimizing Energy Loss in the Bus Door Area. Master's Thesis. Savonia University of Applied Sciences. 2022, 50 p.

139. B. Torregrosa-Jaime, F. Bjurling, J. M. Corberán, F. Di Sciullo, and J. Payá, “Transient thermal model of a vehicle’s cabin validated under variable ambient conditions,” Appl. Therm. Eng., vol. 75, pp. 45–53, 2015.

140. J. a. Duffie, W. a. Beckman, and W. M. Worek, Solar Engineering of Thermal Processes, 4nd ed., vol. 116. 2003.

141. Автобус великої місткості А18501 «Електрон». Настанова щодо обслуговування А18501-3902002НЕ. Видання А185-SM-R2.1-6788(LV). СП «Електронтранс».

142. Jerzy Merkisz, Dariusz Michalak, Maciej Bajerlein, Mateusz Nowak, Łukasz Rymaniak, Andrzej Zólkowski. Analiza porównawcza elektrycznego ogrzewania wodnego i nagrzewnic elektrycznych w autobusie miejskim. Autobusy. Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe. 4/2012, s 104 – 110.

ДОДАТКИ

Додаток А

Автобуси типу City-Low-Floor (12 м)



*Electron A185
(Україна)*



*Богдан А71302
(Україна)*



*MAZ 203
(Білорусь)*



*Solaris Urbino 12
(Польща)*



*Autosan M12LE
(Польща)*



*SOR NB12
(Чехія)*



*Ikarus V127
(Угорщина)*

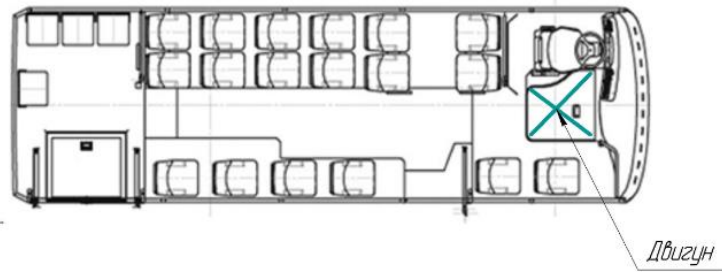


*Ikarbus 112LE
(Сербія)*

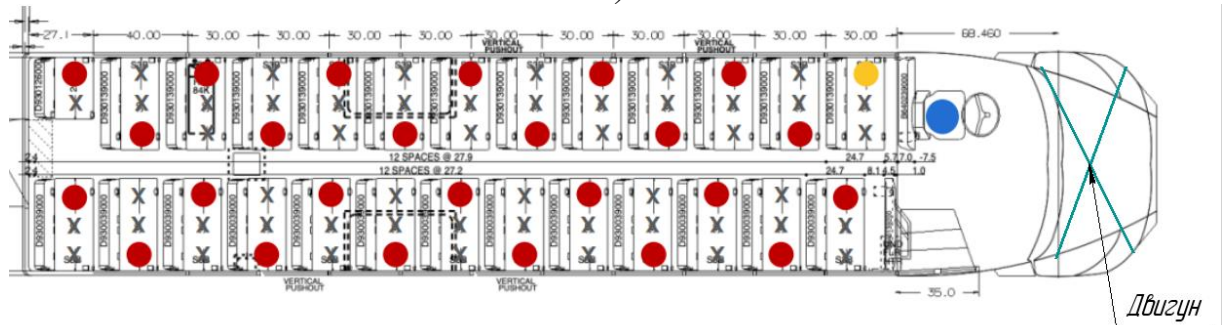
Рисунок А.1 – Деякі міські автобуси типу city low-floor, які експлуатуються в містах Східної Європи

Додаток Б

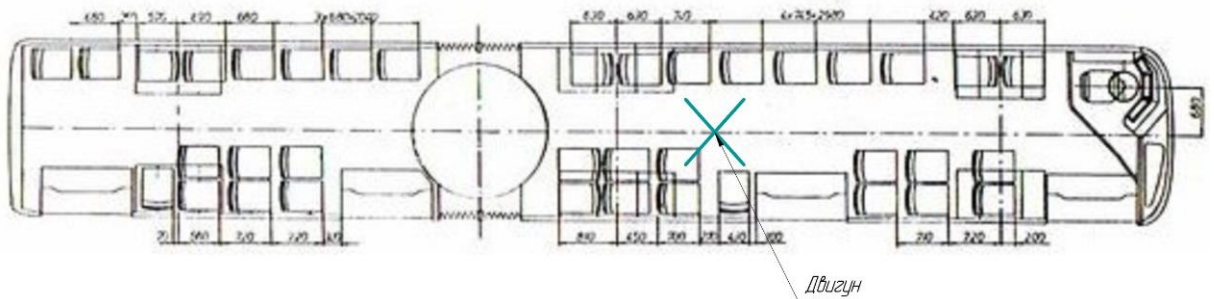
Схеми розташування ДВЗ в салоні автобуса



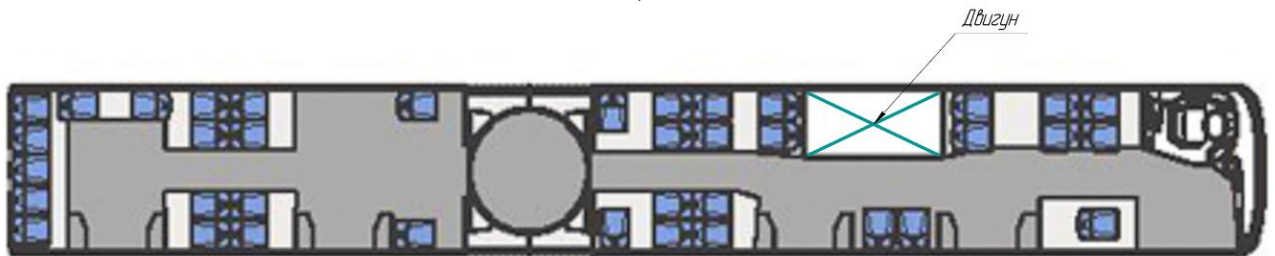
а)



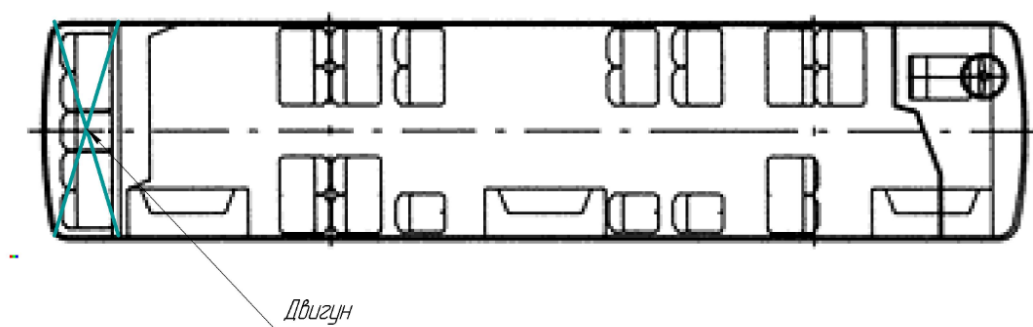
б)



в)



г)



д)



е)

Рисунок Б.1 – Планування салонів автобусів із різним розташуванням двигуна: а) спереду з мотовідсіком в салоні; б) спереду з капотною компоновкою; в) посередині горизонтально під підлогою; г) посередині вертикально; д) ззаді горизонтально під задніми сидіннями; е) ззаді вертикально зі зміщенням вліво

* Місце розміщення ДВЗ позначено хрестиком

Додаток В

Технічні характеристики автономних опалювачів автобусів

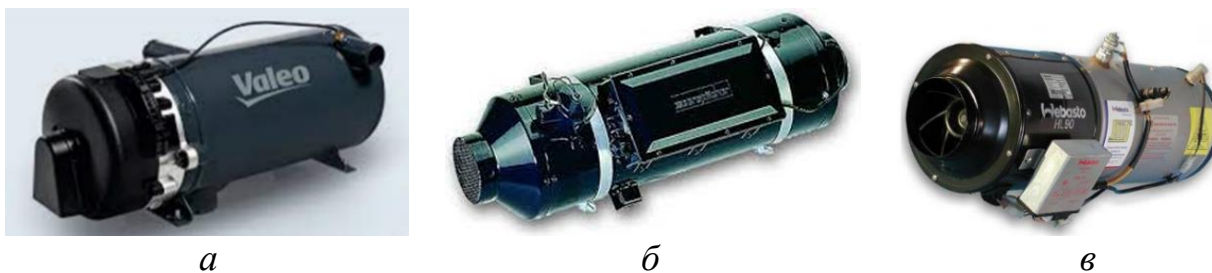


Рисунок В.1 – Рідинні підігрівачі: а) Valeo; б) Eberspacher; в) Webasto

Таблиця В.1

Технічні характеристики опалювачів

	Valeo	Webasto	Eberspacher
Потужність, кВт	30	9	8
Споживання, Вт	90	110	115
Витрата палива, л/год	3.6	1.20	1.05
Споживча напруга, В	24	12/24	12/24
Габаритні розміри, мм	540x250x222	650x235x260	653x260x250
Маса, кг	16	13	14



а)



б)

Рисунок В.2 – Автономні опалювачі робочого місця водія



Рисунок В.3 – Опалювачі Hydro-Hot

Таблиця В.2

Технічні характеристики опалювача Hydro-Hot

Число опалюючих зон	3 окремі внутрішні зони
Зона опалення багажного відділення	+
Гаряче водяне опалення	+
Попередній нагрів двигуна	Зазвичай це опція, але є стандартною для Allegro Bus
Потужність дизельного пальника	50,000 btu/hour
Електричний нагрівальний елемент	1650 Вт 120 В змінного струму
Споживання дизельного пальника	0,5 галонів/год
Циркуляційні насоси	(2) 12 В постійного струму, 21 Вт
Розміри	12 x18x30

Додаток Г

Переклад пояснень до діаграм на рис. 3.1д та 3.1е

Таблиця Г.1

Параметри, які показані на діаграмі на рис. 3.1д

1.	Water vapor diffusion through the skin	дифузія водяної пари через шкіру
2.	Evaporation of sweat from skin surface	випаровування поту з поверхні шкіри
3.	Respiration	дихання
4.	Respiration	відчутне дихання
5.	Radiation from clothing surface	випромінювання від поверхні одягу
6.	Convection from clothing surface	конвекція від поверхні одягу
7.	Total latent	рівень прихованості
8.	Total sensible	рівень відчутності
9.	Total heat loss	загальні втрати тепла
10.	Metabolic rate	швидкість обміну речовин

Таблиця Г.2

Параметри, які показані на діаграмі на рис. 3.1е

1.	SET temperature	стандартна ефективна температура
2.	Skin temperature	поверхнева температура
3.	Core temperature	температура ядра
4.	Clothing temperature	температура одягу
5.	Mean body temperature	середня температура тіла
6.	Total skin evaporative heatloss	загальна тепловтрата шкіри через випаровування
7.	Sweat evaporation skin heat loss	випаровування поту втрата тепла шкірою
8.	Vapour diffusion skin heat loss	втрата тепла шкіри дифузією парів
9.	Total skin sensible heat loss	загальна видима втрата тепла шкірою
10.	Total skin heat loss	повна втрата тепла шкірою
11.	Heat loss respiration	дихання з втратою тепла
12.	Skin wettedness	зволоження шкіри

Додаток Е

Результати моделювання роботи додаткового вентилятора

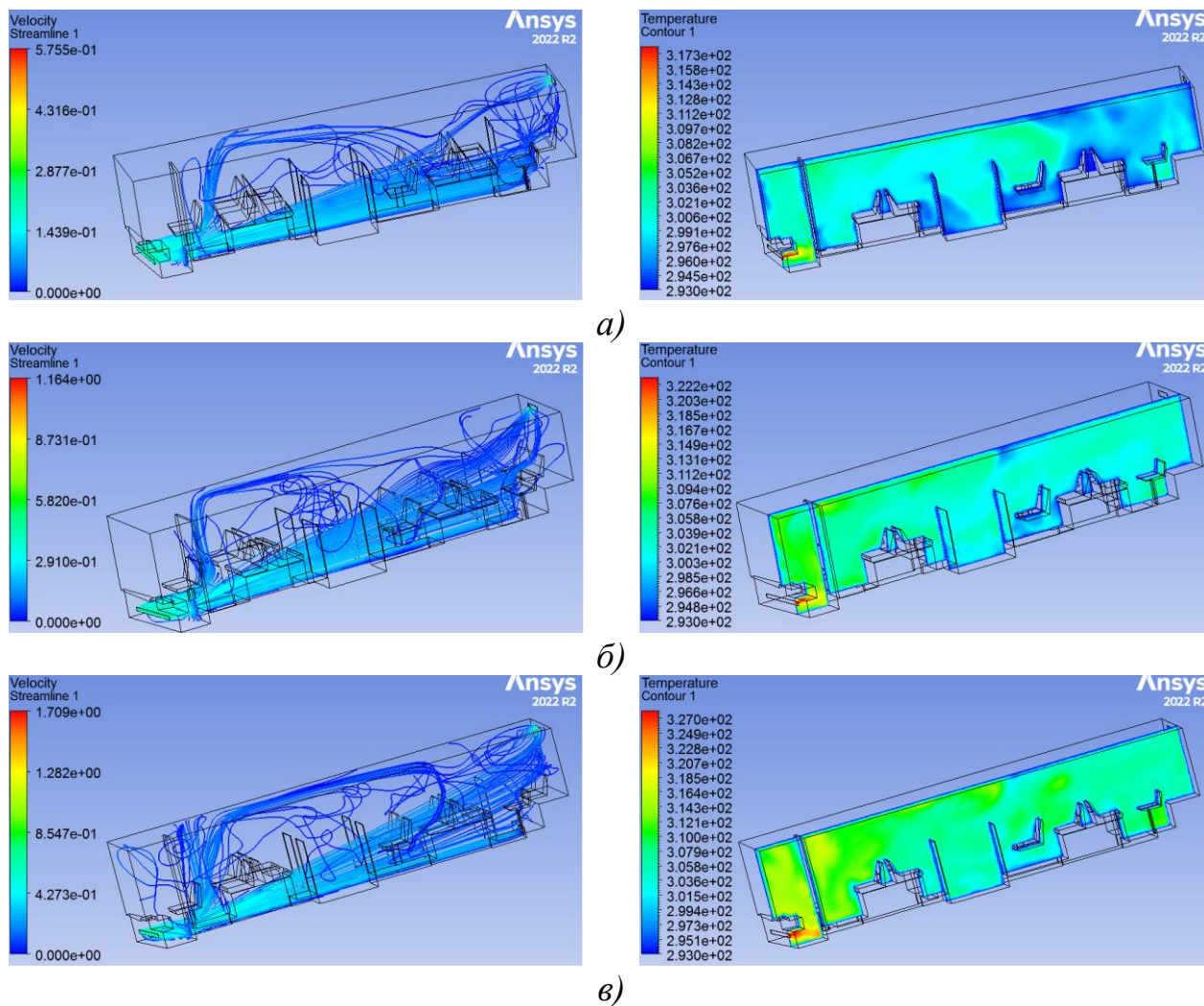
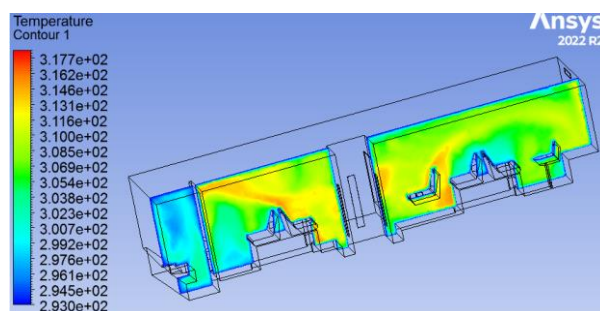
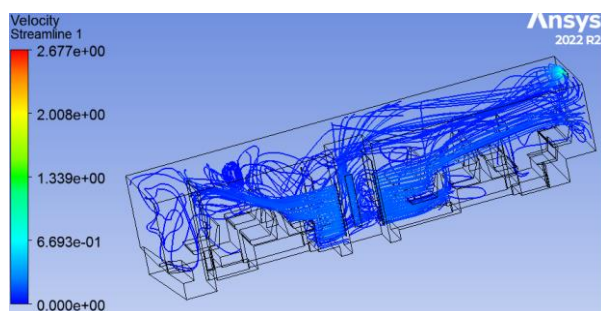
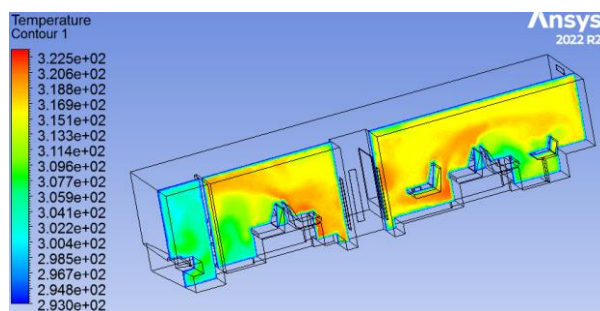
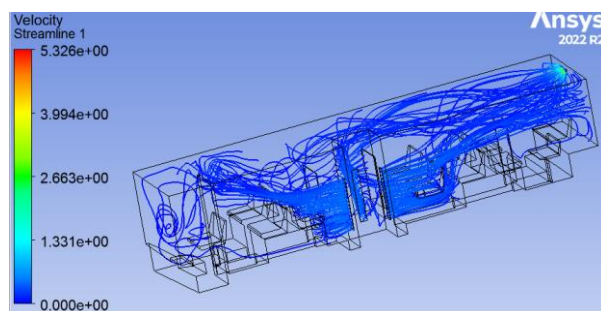


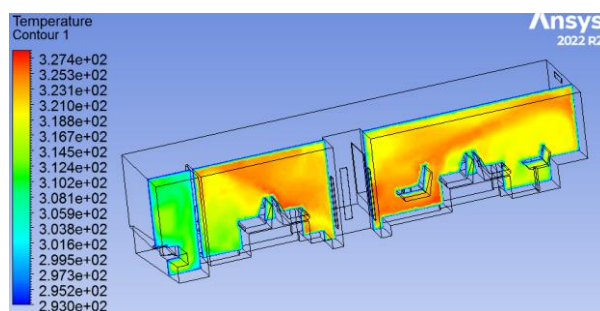
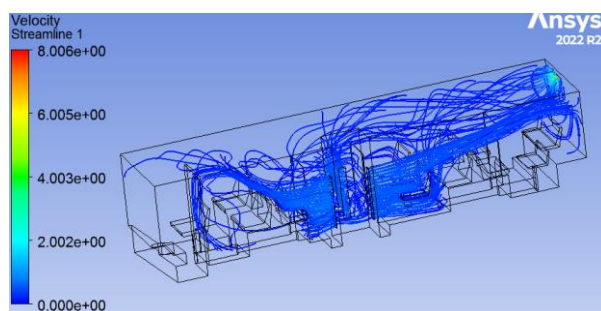
Рисунок Е.1 – Розподіл швидкостей повітря та температур по салону автобуса з розташуванням двигуна спереду: а) 1-й режим роботи вентилятора; б) 2-й режим роботи вентилятора; в) 3-й режим роботи вентилятора



а)

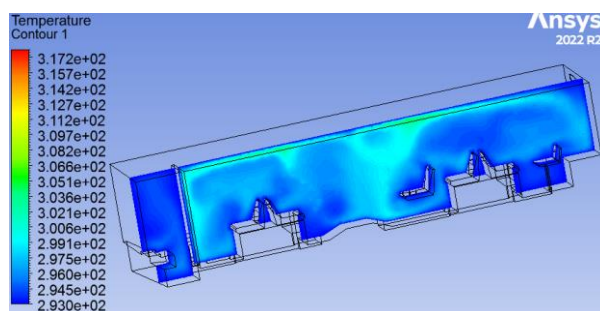
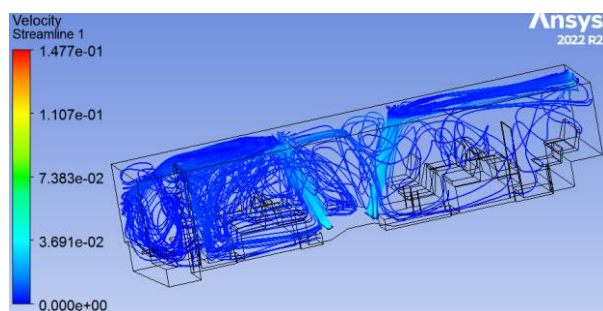


б)

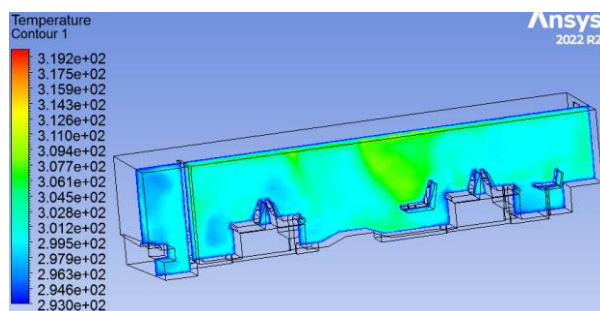
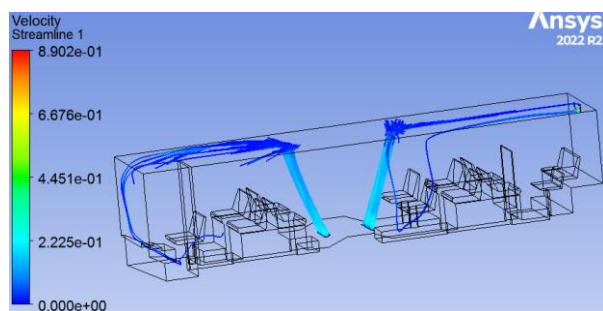


в)

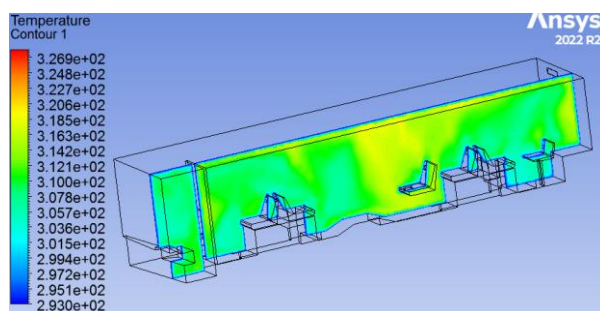
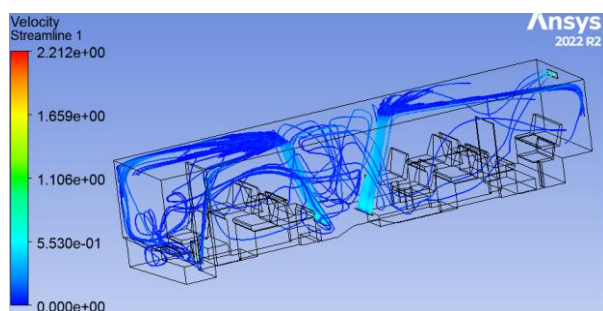
Рисунок Е.2 – Розподіл швидкостей повітря та температур по салону автобуса з розташуванням двигуна посередині вертикально: а) при першому режимі роботи вентилятора; б) при другому режимі роботи вентилятора; в) при третьому режимі роботи вентилятора



а)

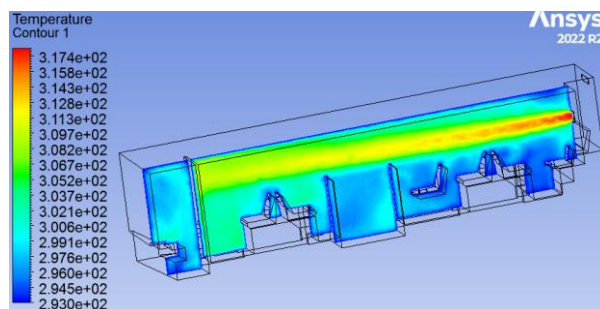
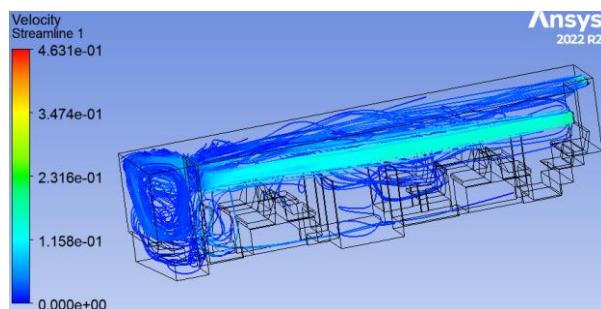


б)

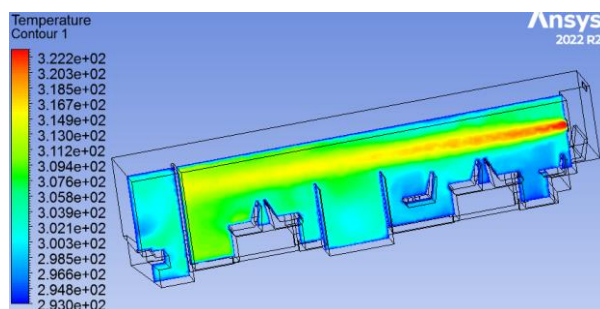
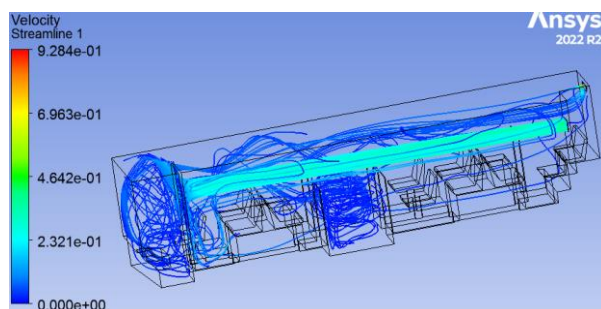


в)

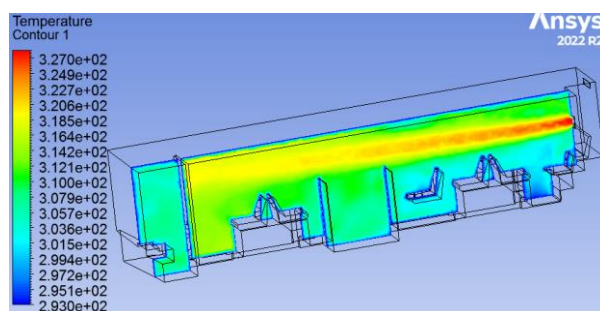
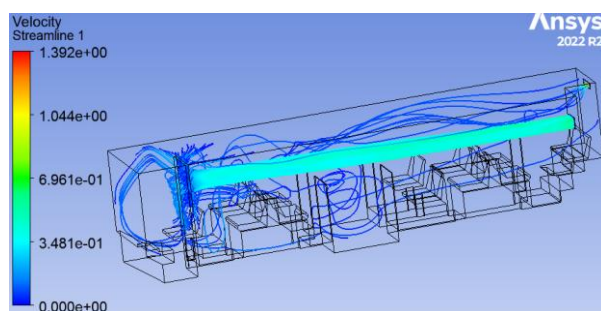
Рисунок Е.3 – Розподіл швидкостей повітря та температур по салону автобуса з розташуванням двигуна посередині горизонтально: а) 1-й режим роботи вентилятора; б) 2-й режим роботи вентилятора; в) 3-й режим роботи вентилятора



а)

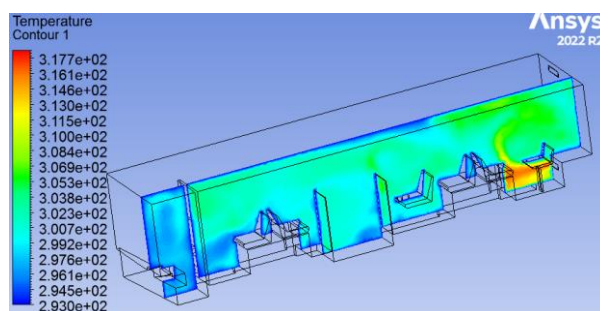
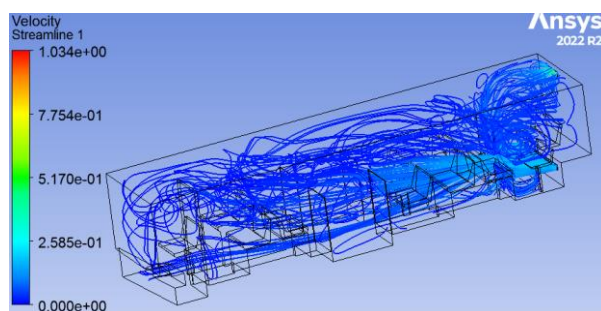


б)

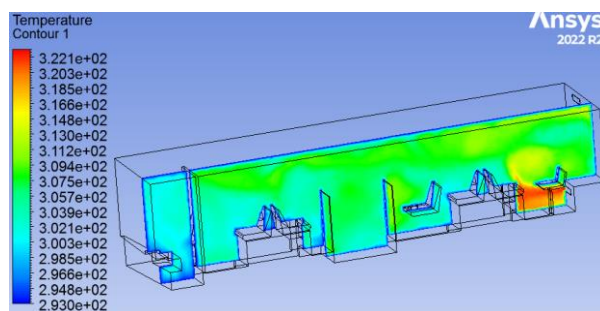
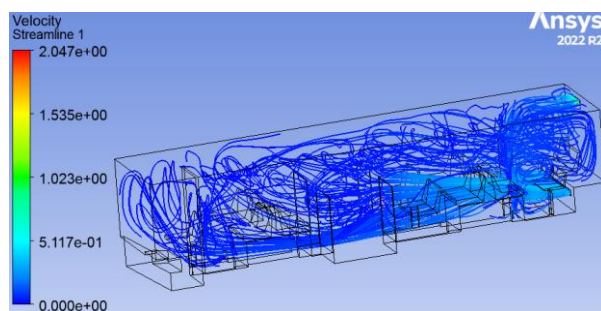


в)

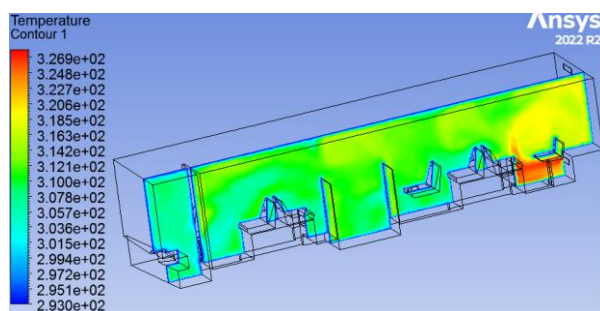
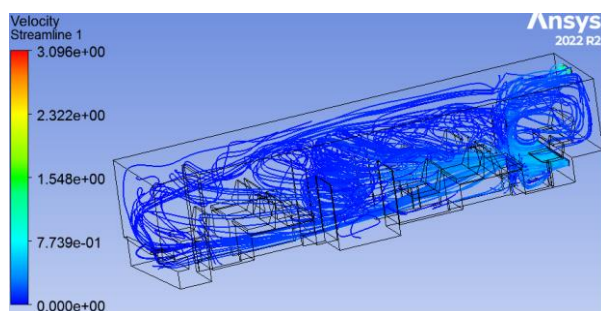
Рисунок Е.4 – Розподіл швидкостей повітря та температур по салону автобуса з розташуванням двигуна ззаду вертикально: а) 1-й режим роботи вентилятора; б) 2-й режим роботи вентилятора; в) 3-й режим роботи вентилятора



а)



б)



в)

Рисунок Е.5 – Розподіл швидкостей повітря та температур по салону автобуса з розташуванням двигуна ззаду горизонтально: а) 1-й режим роботи вентилятора; б) 2-й режим роботи вентилятора; в) 3-й режим роботи вентилятора

Додаток Ж

Результати моделювання роботи повітряних завіс

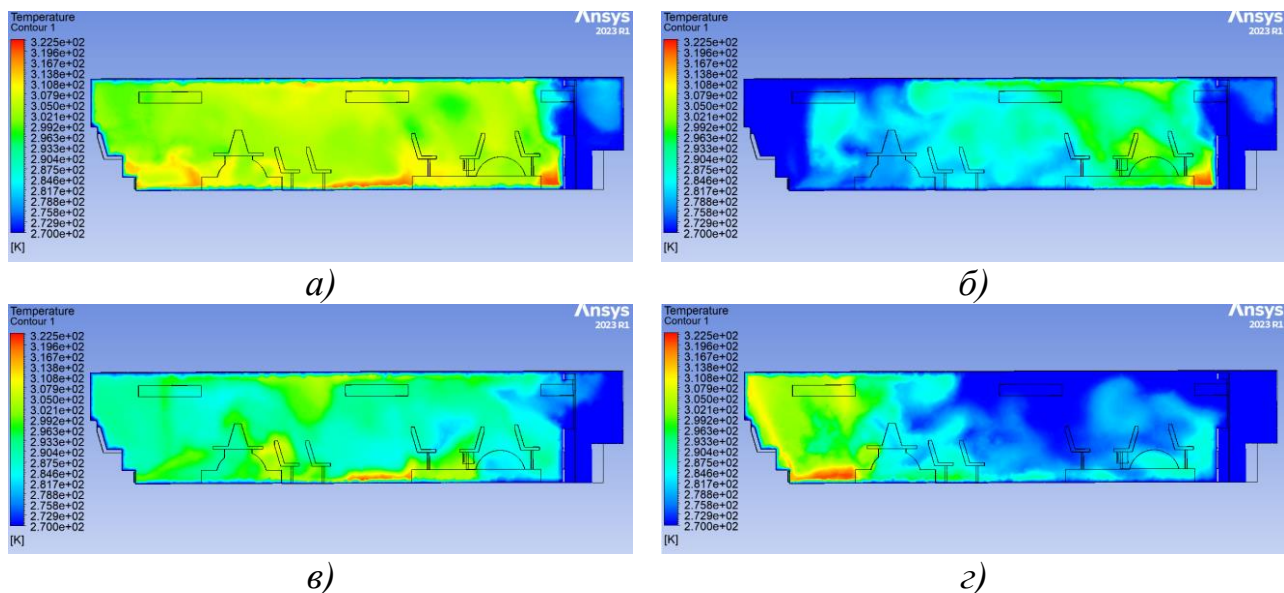


Рисунок Ж.1 – Температурні карти по середині салону автобуса при 2-му режимі роботи завіс встановлених над дверима: а) працюють всі повітряні завіси; б) працюють передні повітряні завіси; в) працюють середні повітряні завіси; г) працюють задні повітряні завіси

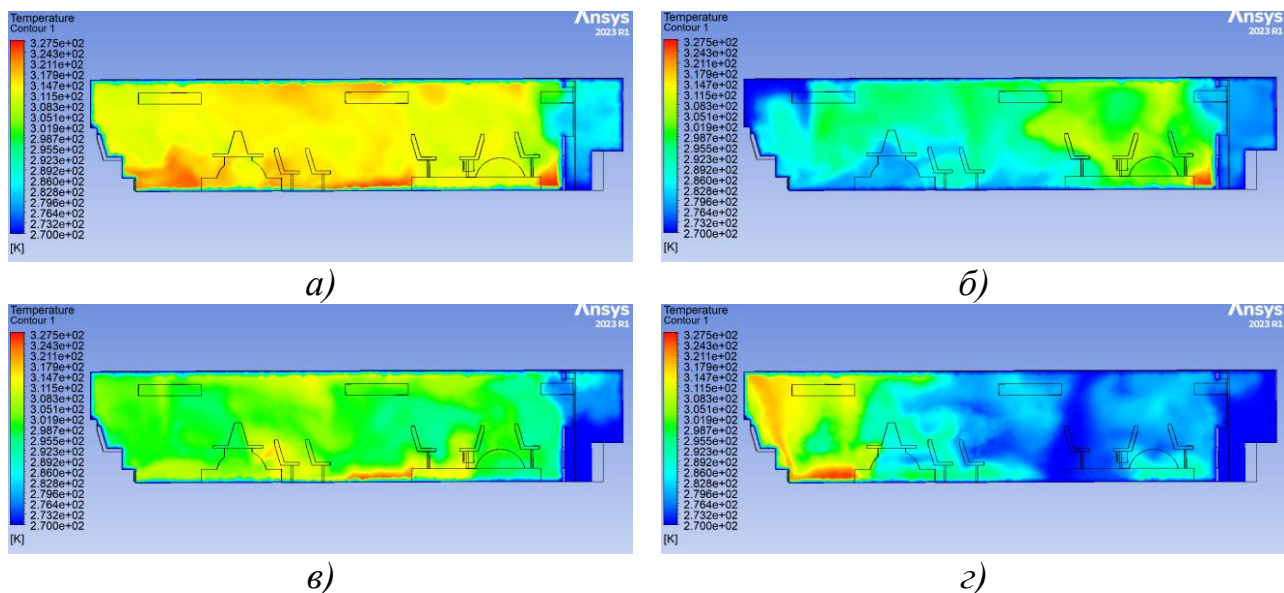


Рисунок Ж.2 – Температурні карти по середині салону автобуса при 3-му режимі роботи завіс встановлених над дверима: а) працюють всі повітряні завіси; б) працюють передні повітряні завіси; в) працюють середні повітряні завіси; г) працюють задні повітряні завіси

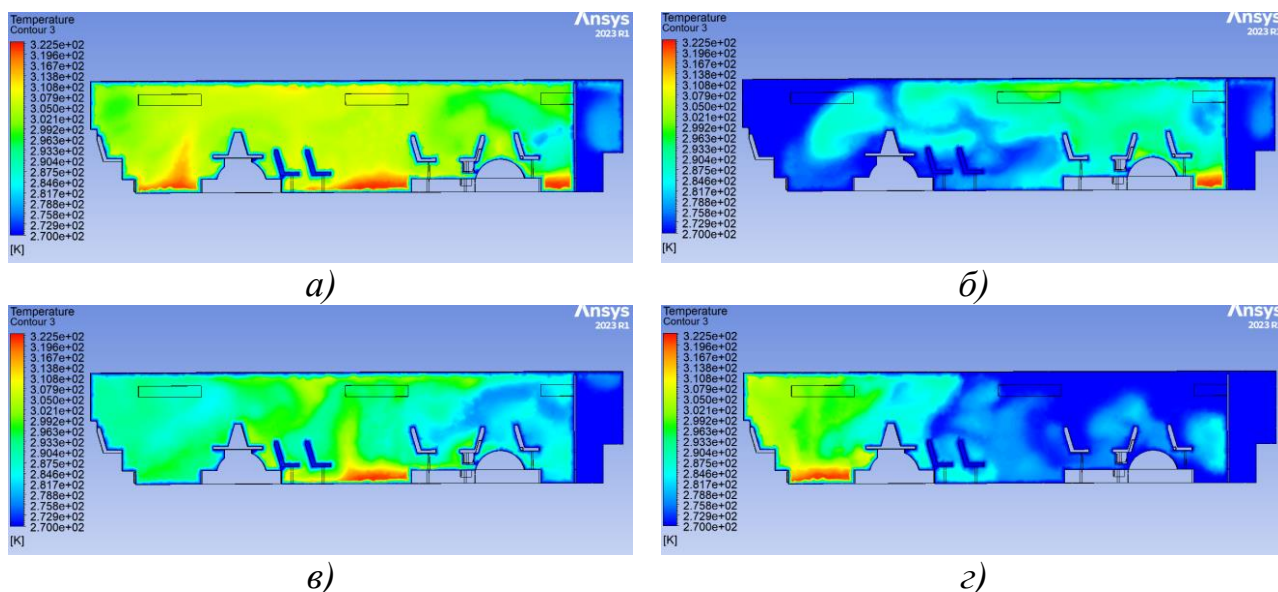


Рисунок Ж.5 – Температурні карти по правій частині сидінь салону автобуса при 2-му режимі роботи завіс встановлених над дверима: а) працюють всі повітряні завіси; б) працюють передні повітряні завіси; в) працюють середні повітряні завіси; г) працюють задні повітряні завіси

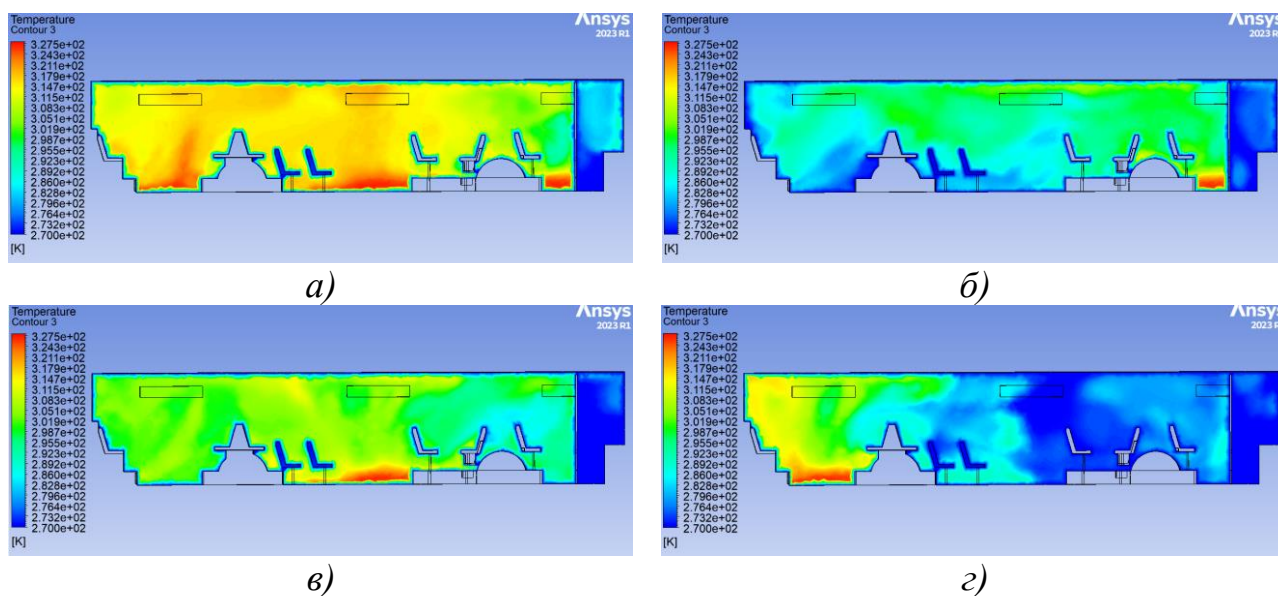


Рисунок Ж.6 – Температурні карти по правій частині сидінь салону автобуса при 3-му режимі роботи завіс встановлених над дверима: а) працюють всі повітряні завіси; б) працюють передні повітряні завіси; в) працюють середні повітряні завіси; г) працюють задні повітряні завіси

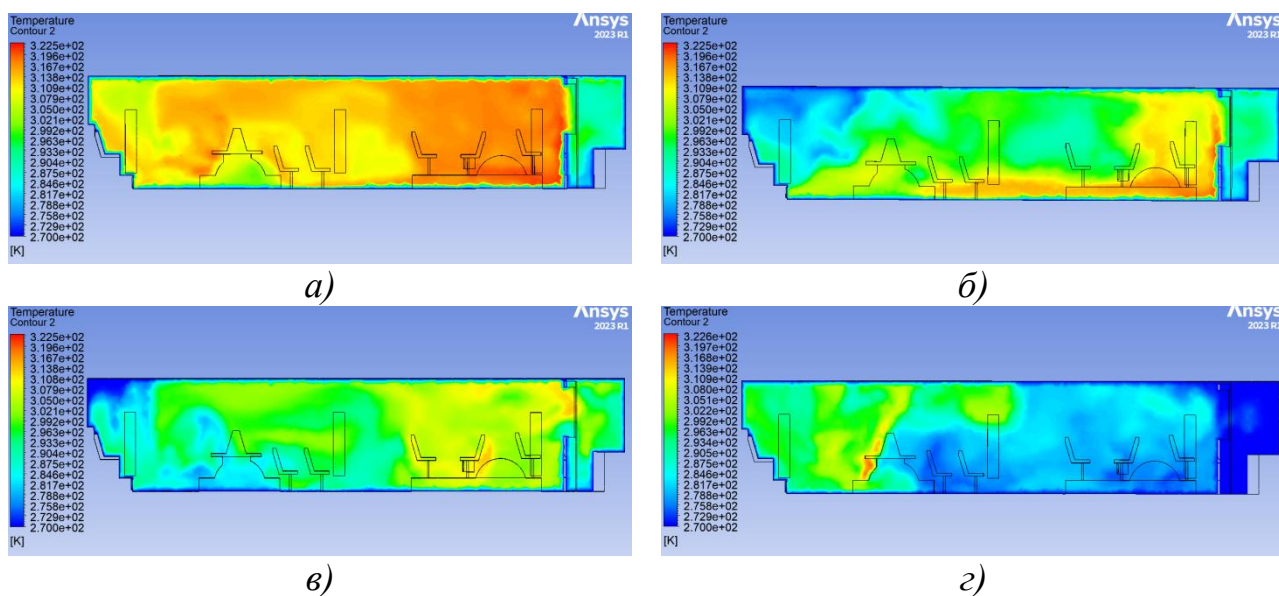


Рисунок Ж.7 – Температурні карти по середині салону автобуса при 2-му режимі роботи завіс встановлених біля дверей: а) працюють всі повітряні завіси; б) працюють передні повітряні завіси; в) працюють середні повітряні завіси; г) працюють задні повітряні завіси

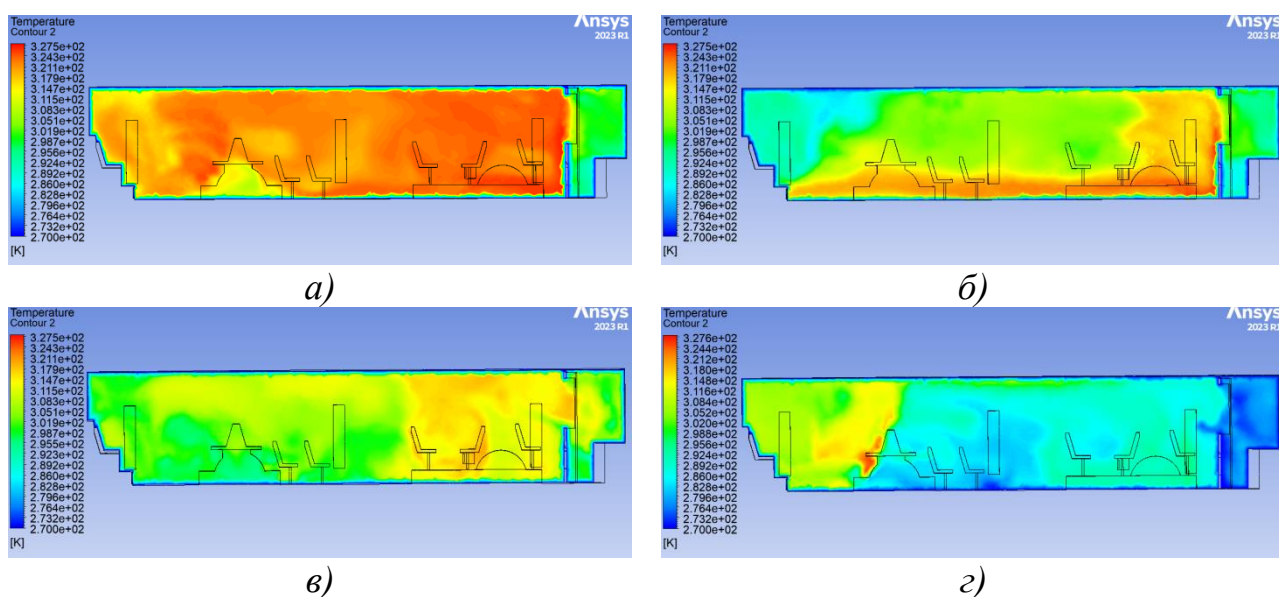


Рисунок Ж.8 – Температурні карти по середині салону автобуса при 3-му режимі роботи завіс встановлених біля дверей: а) працюють всі повітряні завіси; б) працюють передні повітряні завіси; в) працюють середні повітряні завіси; г) працюють задні повітряні завіси

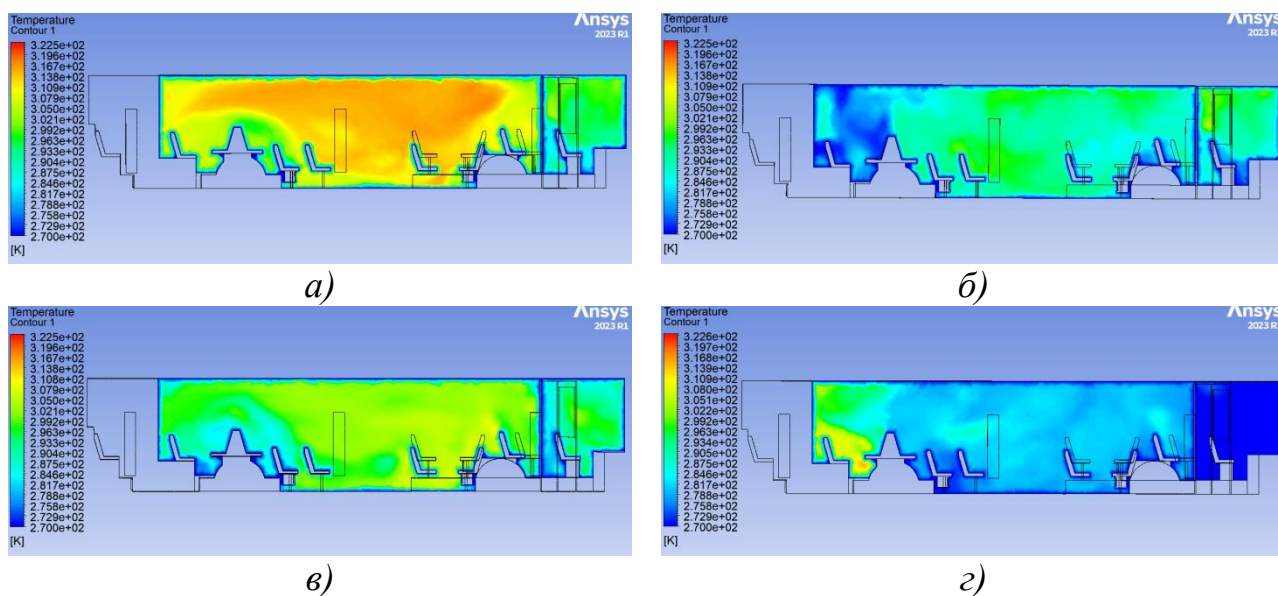


Рисунок Ж.9 – Температурні карти по лівому ряду сидінь салону автобуса при 2-му режимі роботи завіс встановлених біля дверей: а) працюють всі повітряні завіси; б) працюють передні повітряні завіси; в) працюють середні повітряні завіси; г) працюють задні повітряні завіси

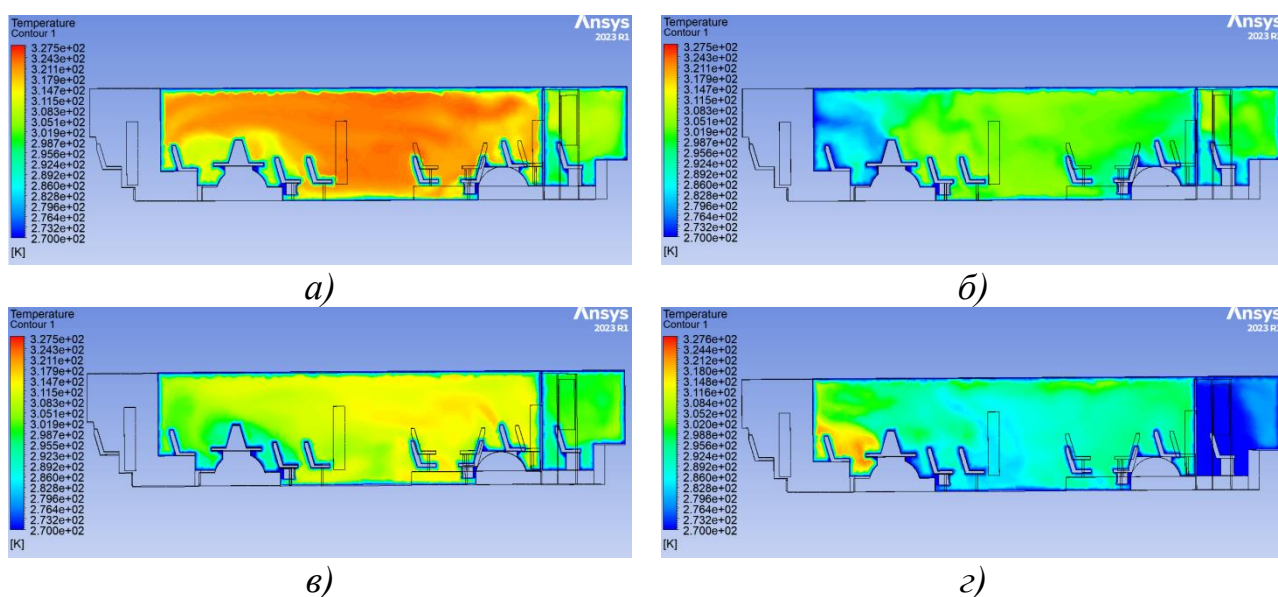


Рисунок Ж.10 – Температурні карти по лівому ряду сидінь салону автобуса при 3-му режимі роботи завіс встановлених біля дверей: а) працюють всі повітряні завіси; б) працюють передні повітряні завіси; в) працюють середні повітряні завіси; г) працюють задні повітряні завіси

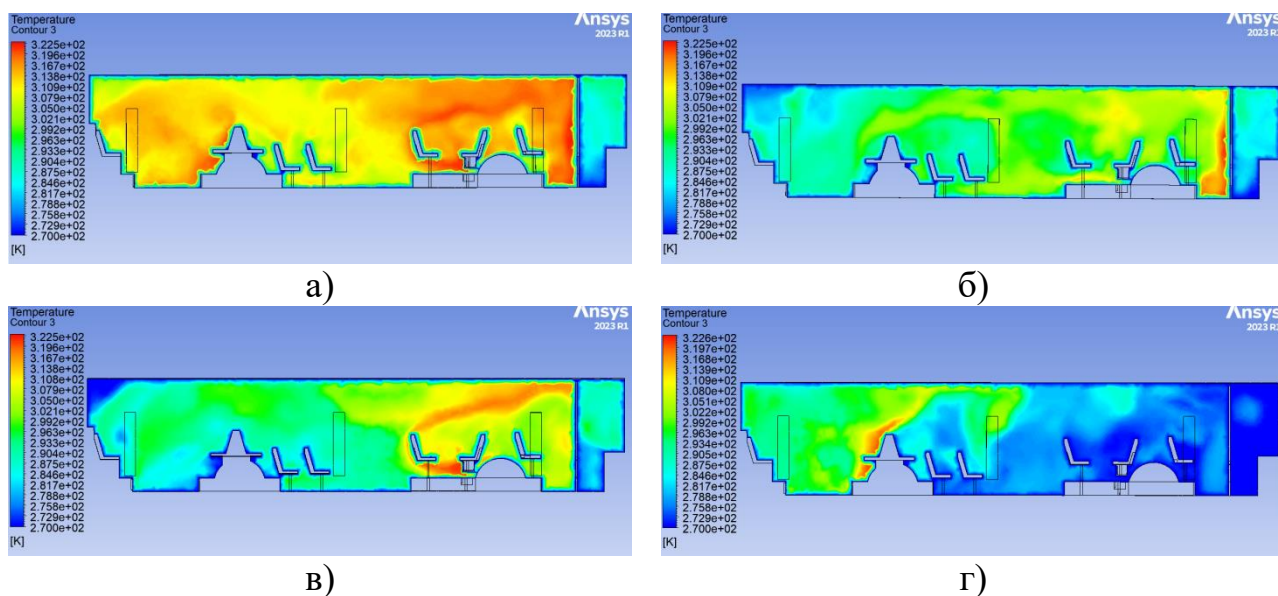


Рисунок Ж.11 – Температурні карти по правому ряду сидінь салону автобуса при 2-му режимі роботи завіс встановлених біля дверей: а) працюють всі повітряні завіси; б) працюють передні повітряні завіси; в) працюють середні повітряні завіси; г) працюють задні повітряні завіси

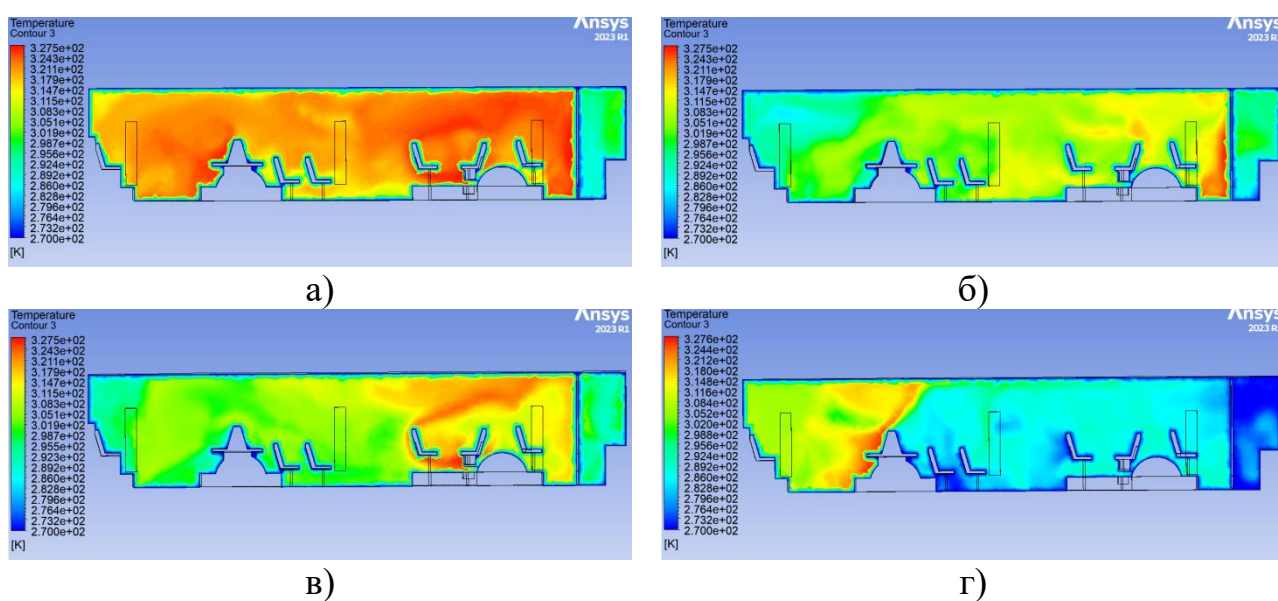


Рисунок Ж.12 – Температурні карти по правому ряду сидінь салону автобуса при 3-му режимі роботи завіс встановлених біля дверей: а) працюють всі повітряні завіси; б) працюють передні повітряні завіси; в) працюють середні повітряні завіси; г) працюють задні повітряні

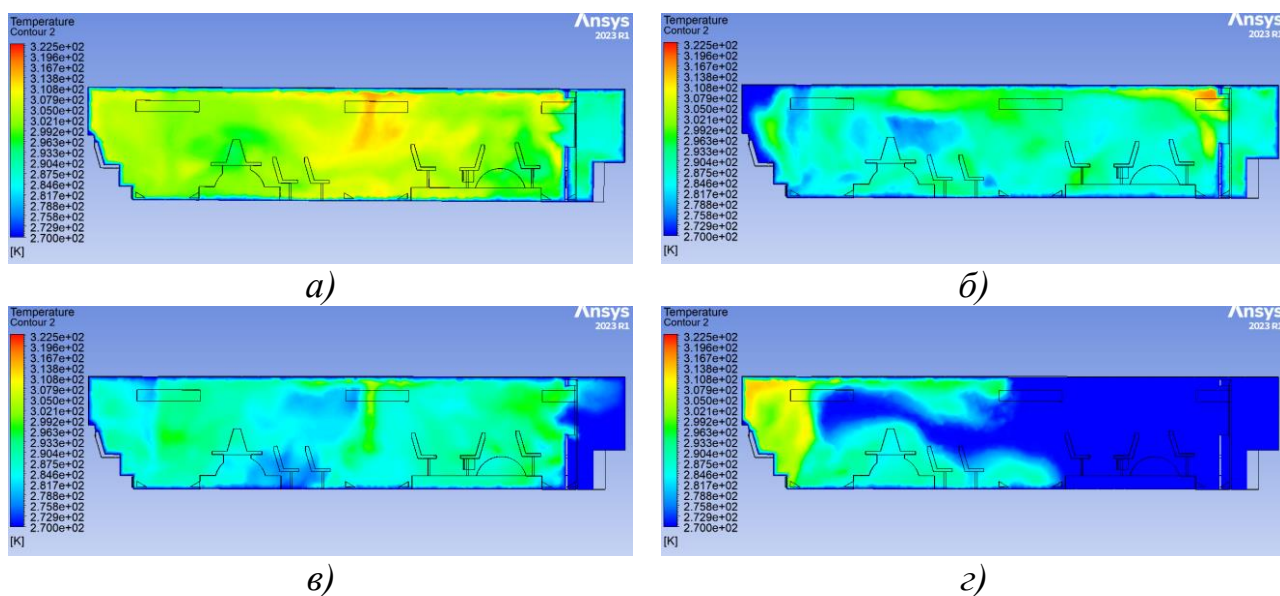


Рисунок Ж.13 – Температурні карти по середині салону автобуса при 2-му режимі роботи завіс встановлених внизу під кутом: а) працюють всі повітряні завіси; б) працюють передні повітряні завіси; в) працюють середні повітряні завіси; г) працюють задні повітряні завіси

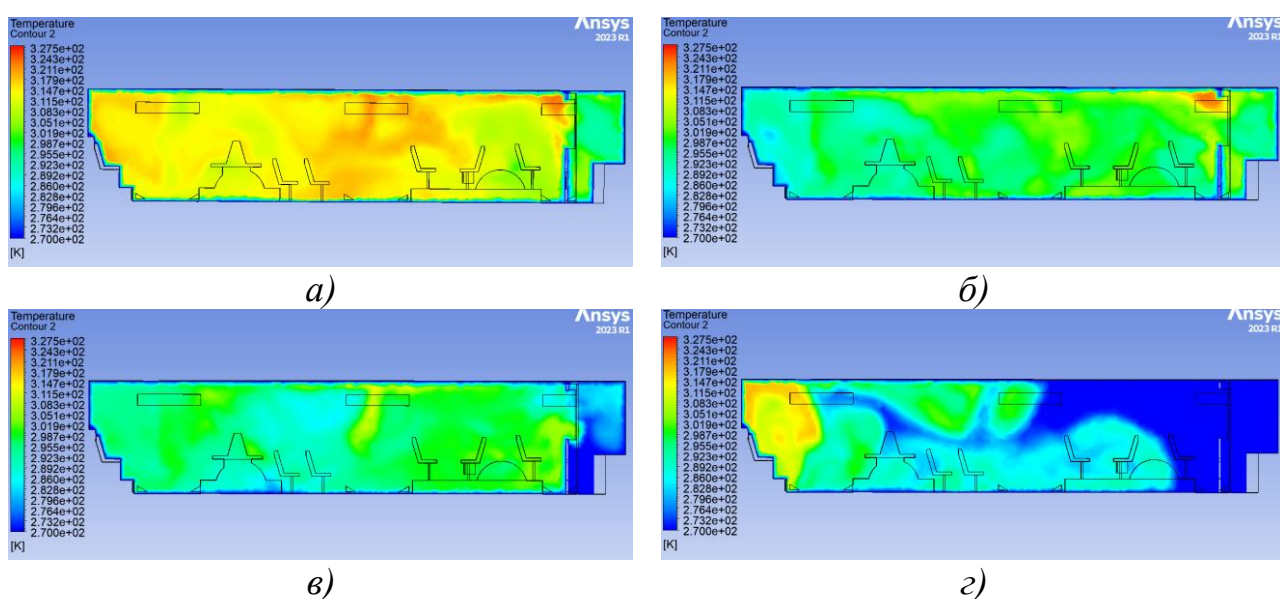


Рисунок Ж.14 – Температурні карти по середині салону автобуса при 3-му режимі роботи завіс встановлених внизу під кутом: а) працюють всі повітряні завіси; б) працюють передні повітряні завіси; в) працюють середні повітряні завіси; г) працюють задні повітряні завіси

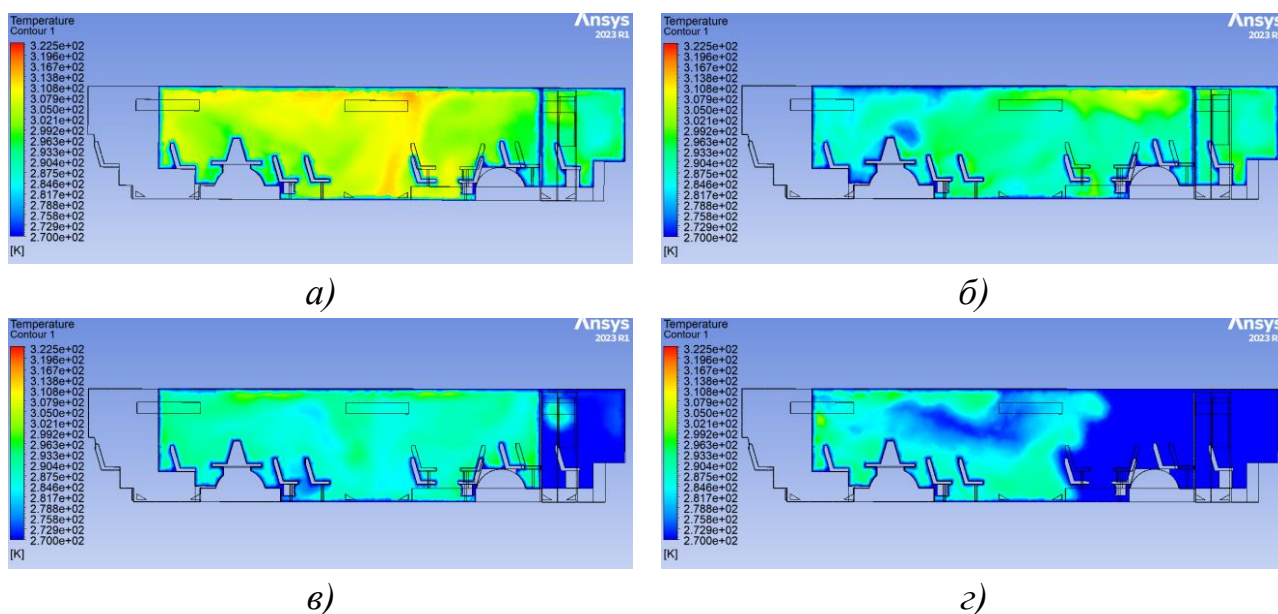


Рисунок Ж.15 – Температурні карти по лівому ряду сидінь салону автобуса при 2-му режимі роботи завіс встановлених внизу під кутом: а) працюють всі повітряні завіси; б) працюють передні повітряні завіси; в) працюють середні повітряні завіси; г) працюють задні повітряні завіси

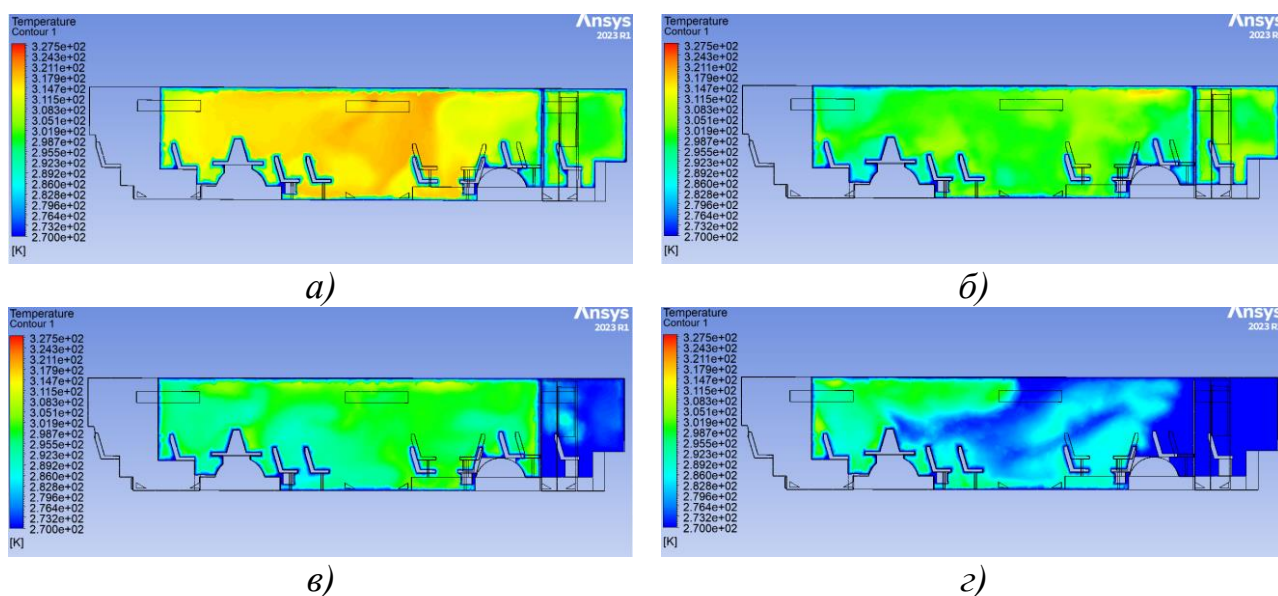


Рисунок Ж.16 – Температурні карти по лівому ряду сидінь салону автобуса при 3-му режимі роботи завіс встановлених внизу під кутом: а) працюють всі повітряні завіси; б) працюють передні повітряні завіси; в) працюють середні повітряні завіси; г) працюють задні повітряні завіси

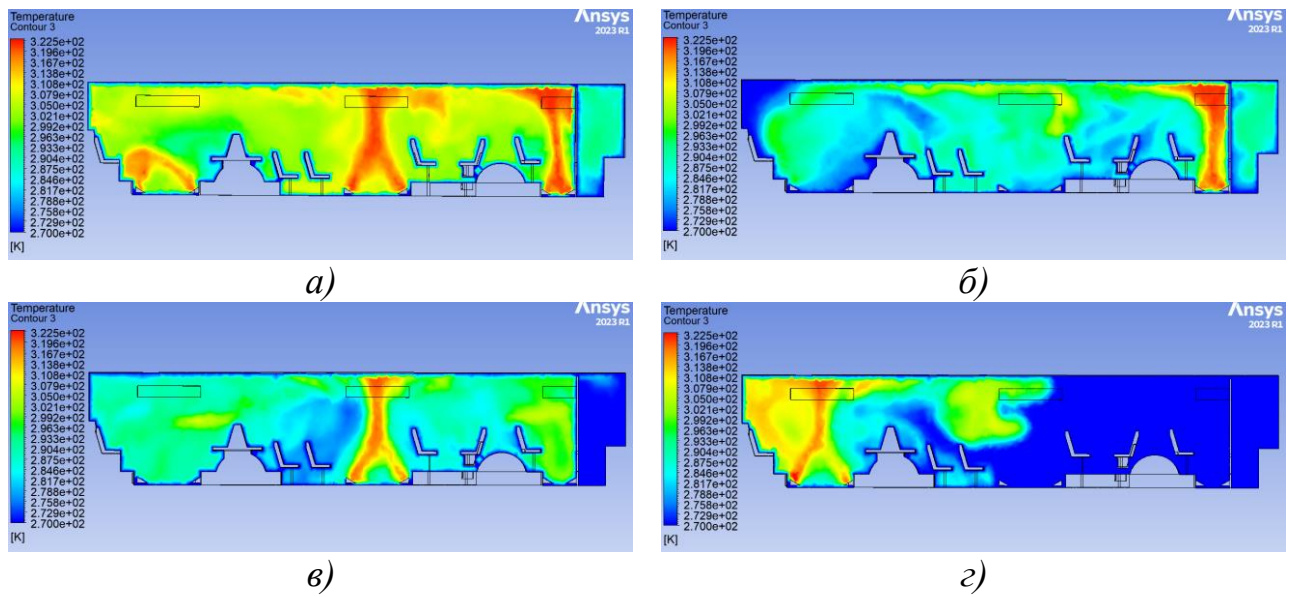


Рисунок Ж.17 – Температурні карти по правому ряду сидінь салону автобуса при 2-му режимі роботи завіс встановлених внизу під кутом: а) працюють всі повітряні завіси; б) працюють передні повітряні завіси; в) працюють середні повітряні завіси; г) працюють задні повітряні завіси

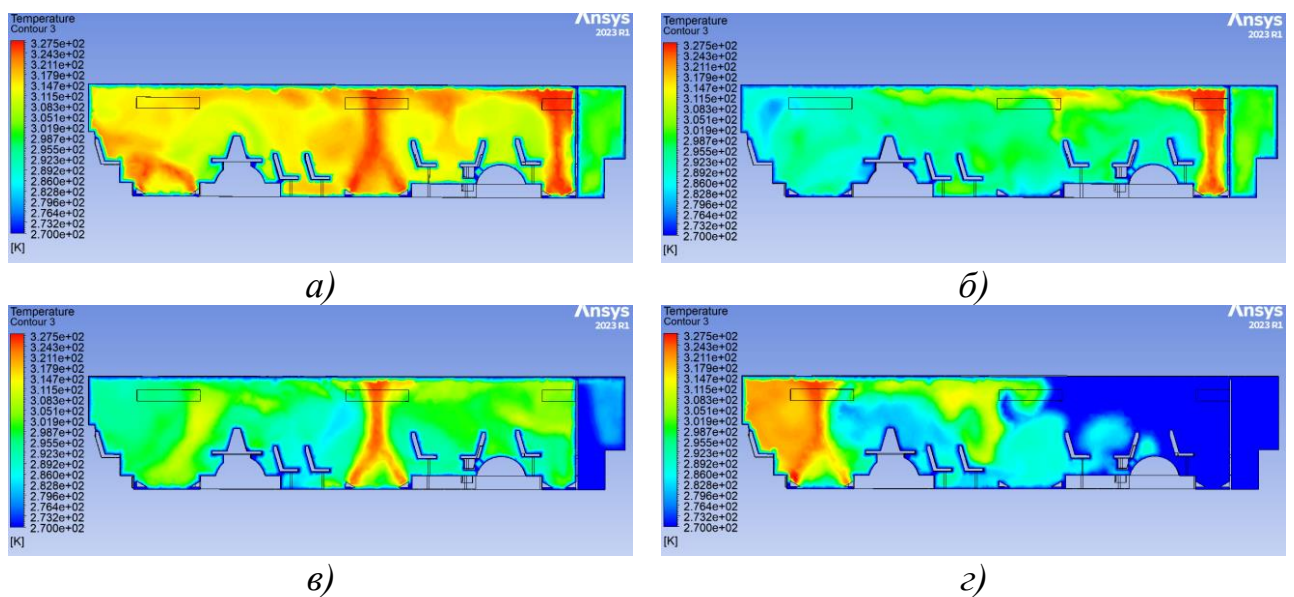


Рисунок Ж.18 – Температурні карти по правому ряду сидінь салону автобуса при 3-му режимі роботи завіс встановлених внизу під кутом: а) працюють всі повітряні завіси; б) працюють передні повітряні завіси; в) працюють середні повітряні завіси; г) працюють задні повітряні завіси

Додаток 3

Типажі автобусів, які експлуатуються у містах України



BAZ-2215



Karsan Atak



Ruta



ZAZ A10



MAZ 206



Ataman A092



Electron-A185



LAZ-A183



MAZ-203



LAZ-13.5 LE



Bogdan-A801



MAZ-107



LAZ-20LE



MAZ-215



Solaris Urbino 18

*Рисунок 3.1 – Типажі автобусів, які експлуатуються у містах України:
а) до 8 м; б) 8-9 м; в) 11-12 м; г) 13-15 м; д) понад 15 м**

**узагальнено автором*

Додаток II

Технічні характеристики автобуса Електрон А185

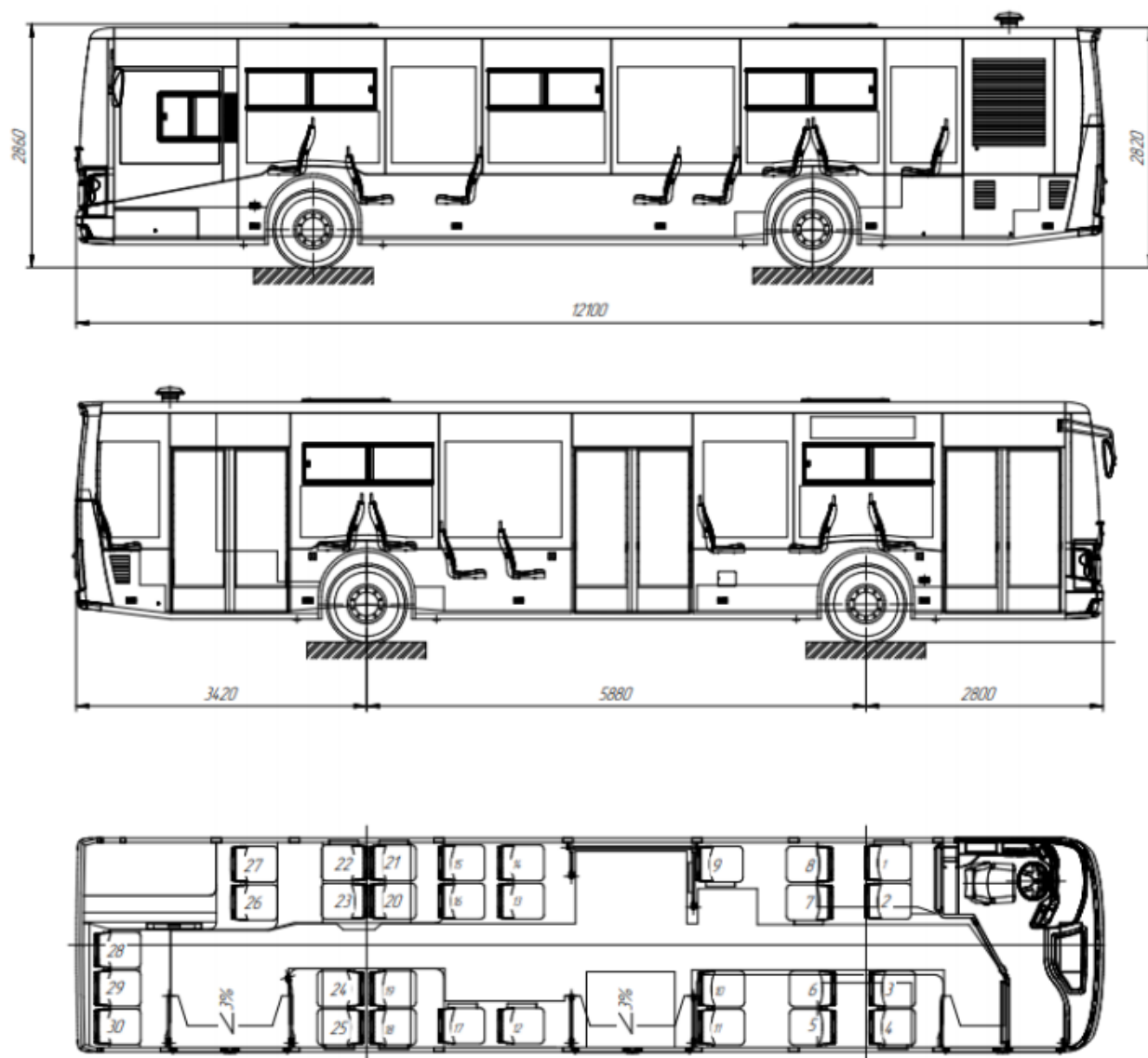


Рисунок II.1 – Загальний вид автобуса Електрон А18501

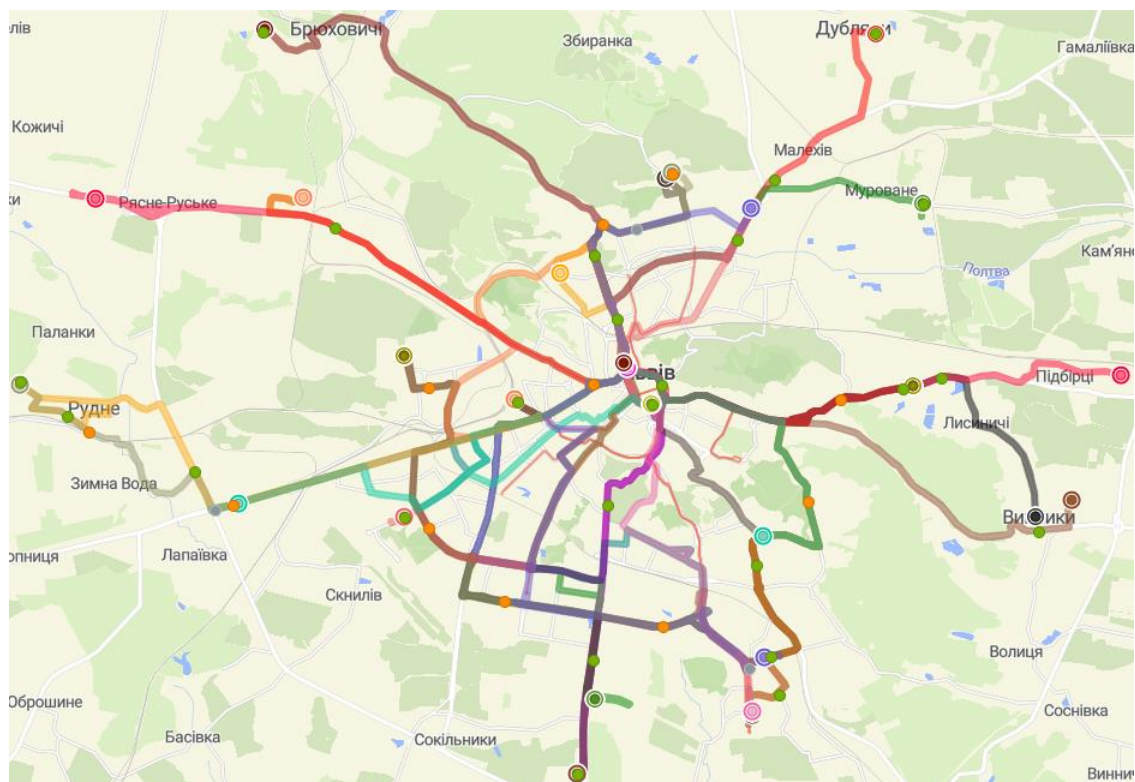
Таблиця И.1

Технічні характеристики автобуса Електрон А18501

Характеристика	Параметр
Довжина	12,1 м
Ширина	2,55 м
Висота	2,85 м
Колісна база	5 880 мм
Формула дверей	2-2-2
Ширина дверей	1 400 мм
Відсоток низької підлоги	100%
Висота входу	340 мм
Висота входу з функцією «kneeling»	250 мм
Пасажиромісткість (повна)	102 пас.
Пасажиромісткість (сидячі)	30
Максимальна швидкість	85 км/год
Двигун	Cummins Euro 5
Потужність	210 кВт
Крутний момент	1020 Нм
Трансмісія	ZF
Споряджена маса	11,0 т
Повна маса	18,1 т
Навантаження на передню вісь	6,6 т
Навантаження на задню вісь	11,5 т
Підвіска	Пневматична з «kneeling»
Гальмівна система	Двоконтурна, ABS, стоянкове та світлофорне гальмо
Електрообладнання	CAN-шина

Додаток Й

Перелік маршрутів м. Львова, де експлуатуються автобуси великого класу



*Рисунок Й.1 – Маршрутна мережа м. Львова, де експлуатуються низькопідлогові автобуси довжиною 10...12 м станом на вересень 2024 р. **

*узагальнено автором за допомогою eway.in.ua.

Таблиця Й.1

Перелік маршрутів на яких експлуатуються низькопідлогові автобуси у м.
Львові довжиною 10...12 м (станом на вересень 2024 р.)*

№	Маршрут слідування	Середня протяжність маршруту в одну сторону, км	Орієнтований час руху на маршруті, хв.
1А	Центр – Дубляни	11,5	40
3А	Центр – KingCross	10	40
6А	Центр – Рясне 2	10	40
8А	Центр – Брюховичі	12	30
9	Автовокзал – Центр – Муроване	18,5	75
10	Вокзал – KingCross	12	40
16	Вокзал – Сихів	15	55
18	Левандівка – Центр – Трак Глинянський	19	75
23	Левандівка – Сихів – Тракт Глинянський	24,5	90
29	Вокзал – Центр – Лисиничі	14	55
40	KingCross – Сихів – Винники	23	65
41	Сихів – Привокзальна – Галицьке Перехрестя	20	80
46	Сихів – Центр – Миколайчука	16,5	65
47А	Сихів – Центр – Рясне 2	25	100
48	Аеропорт – Центр – Галицьке Перехрестя	13	50
49А	Вокзал – Рясне 2	12	35
52	Варшавська – Центр – Рудно	18,5	60
53	Сихів – Центр – Галицьке Перехрестя	15	60
61	Підрясне – Центр – Підбірці	23	70
84	Рудно – Центр – Щурата	22	75
92	АС Західна – Центр – Вашингтона	17	75

*узагальнено автором за допомогою eway.in.ua.

Додаток К

Перелік матеріалів стінок автобуса

Таблиця К.1

Дані по матеріалах облицювання стінок автобуса Електрон А185 для розрахунків затрат теплоти в салоні

Поверхня	Площа, м ²	Матеріал складових пакету стінок	δ	λ	K	Q
Дах	21.84	Лист сталевий Внутрішня обшивка – матеріал «FRONTPAK – 30QRHFCSB2» Алюмокомпозит	0,0008 0,02 0,004	50 0,021 1	0,97	953
Вікна	27.5	Скло (затемнення 80%)	0,004	0,07	7.58	9380
Боковини	20.61	Лист сталевий Внутрішня обшивка – матеріал «FRONTPAK – 30QRHFCSB2» Алюмокомпозит	0,008 0,02 0,004	50 0,028 1	0,97	900
Задня частина	0.924	Лист сталевий Внутрішня обшивка – матеріал «FRONTPAK – 30QRHFCSB2» Алюмокомпозит	0,008 0,02 0,004	50 0,028 1	0,97	40
Підлога	21	Фанера вібропоглинаюча, ПВХ покриття підлоги «Grabiol»	0,016 0,003	0,16 0,15	5,12	4838

Додаток Л

Схеми підключення датчиків вимірювальної апаратури

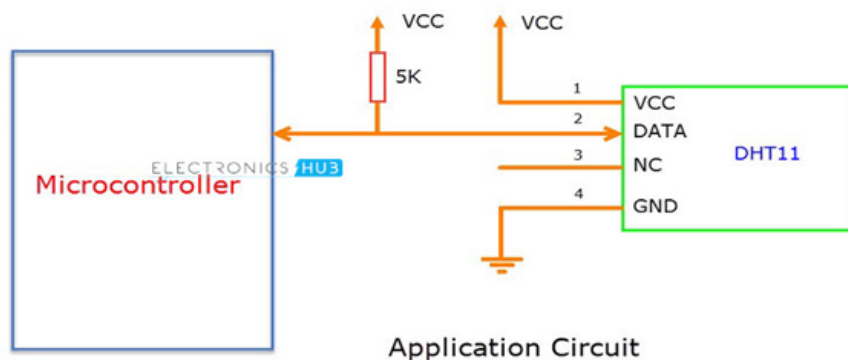


Рисунок Л.1 – Схема датчика вологості і температури DHT11

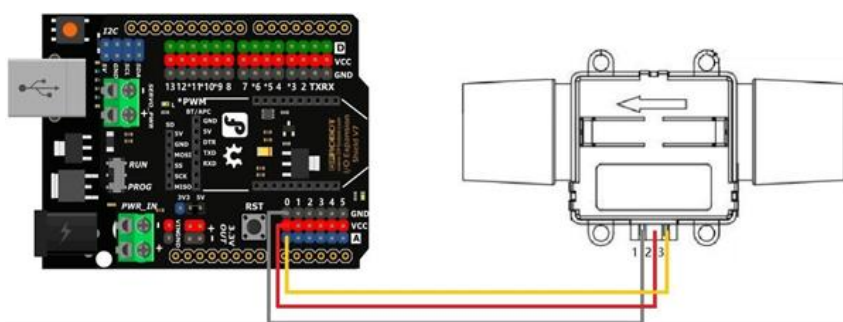


Рисунок Л.2 – Схема підключення датчика DFRobot F1031V до плати Arduino

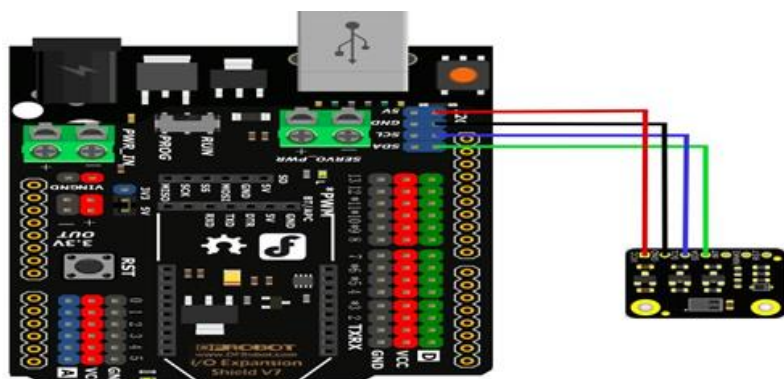


Рисунок Л.3 – Схема підключення CCS811 до плати Arduino

Додаток М

Маршрут слідування автобуса під час експериментальних вимірювань

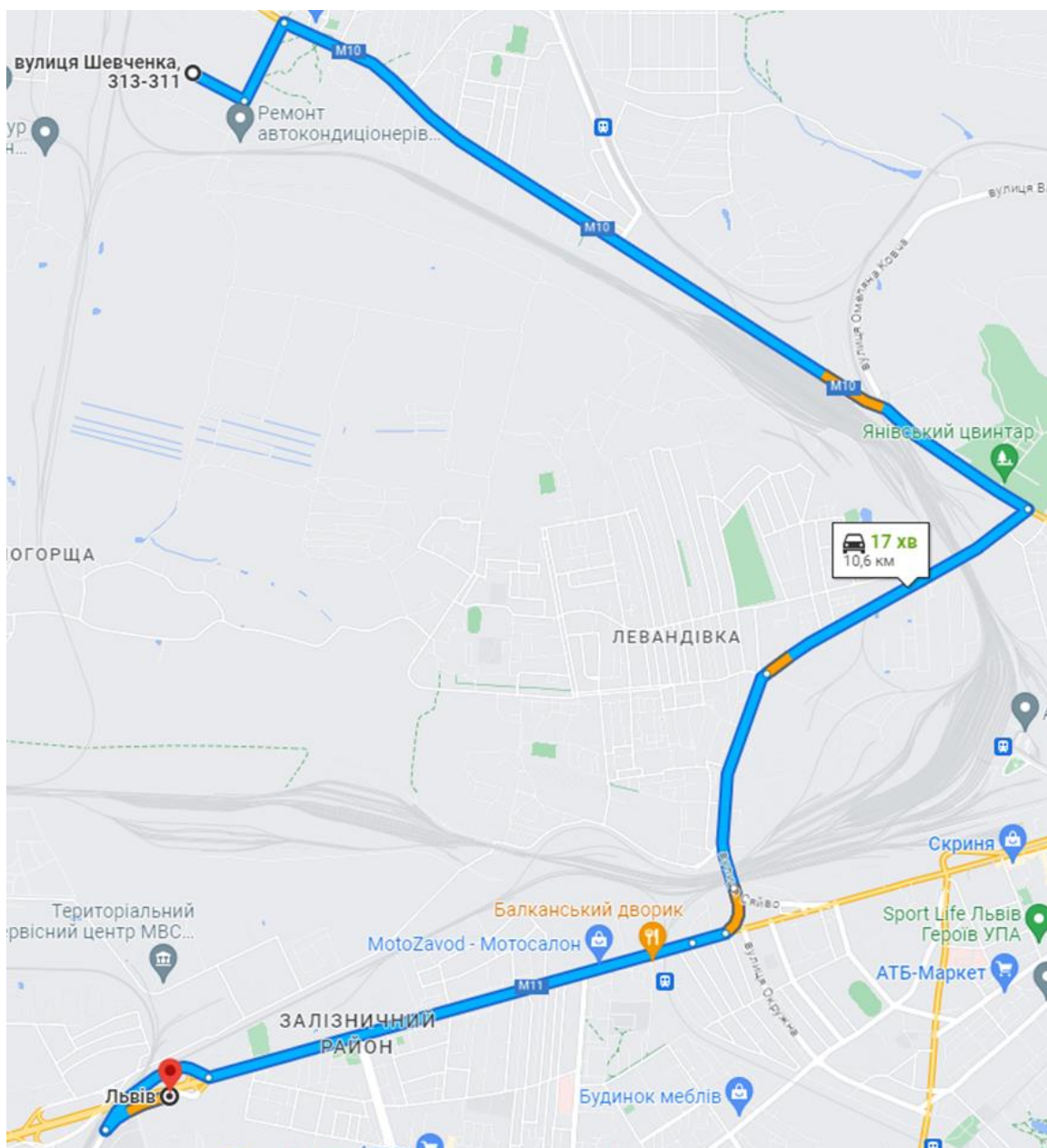


Рисунок М.1 – Маршрут слідування автобуса під час експерименту*

*власна розробка автора

Додаток Н

Рівні концентрації шкідливих речовин у приміщенні

Таблиця Н.1

Рівні концентрації CO₂

Умови мікроклімату	Рівень концентрації CO ₂ , ppm	
	Типовий діапазон	Типове значення
Підвищені оптимальні	≤ 400	350
Оптимальні	400-600	500
Допустимі	600-1000	800
Обмежено допустимі	≥ 1000	1200

Додаток П
Порівняння результатів температур повітря під час моделювання та експерименту

Таблиця П.1

Порівняльна таблиця результатів вимірювання температури та моделювання, [°C]

Зона	Точка	Модель	Експеримент	Різниця між моделлю та експериментом	Норм. значення	Відпов. норм. знач.
I	1	14-15	15-16	1...2	18-20±(1...2)	ні
	2	12-14	13-15	1...2		ні
	3	11-13	11-13	0		ні
	4	23-25	24-25	1		ні
II	1	20-22	13-15	5		ні
	2	17-20	17-18	2		так
	3	20-22	17-18	2...4		так
	4	13-16	13-15	1		ні
III	1	14-16	15-16	1		ні
	2	13-15	14-15	1		ні
	3	12	6	6		ні
	4	12-15	12	1...3		ні
IV	1	22	19-23	0		так
	2	20-22	17-18	2...4		так
	3	20-22	19	3...5		так
	4	20-22	18-20	1...2		так

Додаток Р

Протоколи експериментальних вимірювань

Таблиця Р.1

Середні показники температури та вологості повітря в кабіні водія та салоні автобуса в холодну пору року

Час, хв.	Температура, °C				Вологість, %			
	T1	T2	T3	T4	H1	H2	H3	H4
Кабіна водія								
1	5,8	7,1	8,0	7,5	86,5	86,5	86,5	86,5
2	6,3	7,7	8,5	8,1	88,0	88,0	88,0	88,0
3	6,8	8,3	8,7	8,5	88,0	88,0	88,0	88,0
4	7,6	8,9	9,1	9,1	88,0	88,0	88,0	88,0
5	8,1	9,5	9,5	9,4	88,0	88,0	88,0	88,0
6	8,5	10,0	9,9	9,6	88,0	88,0	88,0	88,0
7	8,8	10,3	10,5	9,7	88,0	88,0	86,7	88,0
8	9,0	10,7	11,1	9,8	88,0	88,0	83,9	88,0
9	9,3	10,9	11,7	10,0	88,0	88,3	81,0	88,0
10	9,6	11,4	12,4	10,3	88,0	87,5	78,8	87,4
11	9,9	11,9	13,2	10,9	88,0	86,1	76,6	86,1
12	10,3	12,4	13,9	11,4	88,0	84,3	73,6	84,2
13	10,6	12,8	14,6	11,8	88,0	82,6	70,2	82,7
14	10,9	13,2	15,4	12,2	88,3	81,5	66,9	81,8
15	11,1	13,4	16,0	12,3	89,0	79,6	64,3	80,3
16	11,3	13,7	16,5	12,7	89,0	78,8	62,7	79,6
17	11,5	13,9	16,9	12,9	88,5	77,6	60,9	78,3
18	11,6	14,0	17,3	12,9	86,7	76,3	58,0	77,1
19	11,8	14,2	17,5	12,8	85,6	75,3	56,0	77,0
20	11,9	14,3	17,8	12,7	84,5	74,1	54,5	77,0
21	12,1	14,4	18,1	12,8	84,1	73,3	53,9	76,0
22	12,2	14,5	18,3	12,8	83,1	72,8	52,6	75,8
Зона І								
1	8,9	9,0	6,6	9,7	85,5	84,2	88,0	81,3
2	9,9	9,5	7,6	15,5	84,2	84,9	89,5	64,7
3	11,4	10,3	8,4	19,6	79,5	82,7	86,2	48,6
4	12,7	11,1	9,0	21,5	74,1	79,7	83,6	40,3
5	13,7	11,9	9,7	22,7	69,6	76,9	80,3	36,7
6	14,4	12,7	10,3	23,9	65,0	74,2	77,3	32,6
7	15,0	13,1	10,8	24,2	61,1	71,5	75,5	30,4
8	15,3	13,3	11,3	24,1	58,6	70,1	73,7	29,5
9	15,4	13,5	11,7	24,3	57,1	68,5	71,0	29,5
10	15,7	13,8	11,8	24,2	55,7	67,0	69,4	29,5

11	16,0	14,1	12,0	24,3	54,7	65,9	68,4	29,5
12	16,2	14,3	12,2	23,5	54,1	65,0	68,6	30,2
13	16,3	14,4	12,4	24,2	53,9	64,1	67,3	29,5
14	16,5	14,7	12,5	24,7	53,1	63,2	67,1	28,1
15	16,7	14,9	12,6	24,9	52,7	62,3	66,6	27,5
16	16,8	15,1	12,7	25,0	52,0	61,1	66,6	26,7
17	16,9	15,1	13,0	24,8	50,9	60,1	65,9	26,3
18	16,9	15,1	13,3	24,4	50,2	59,7	64,6	27,0
19	16,9	15,2	13,1	24,9	49,6	58,9	62,4	25,5
20	17,0	15,3	13,2	24,9	48,8	58,0	63,5	25,4
21	17,1	15,5	13,5	24,5	47,7	57,1	62,7	25,1
22	17,1	15,6	13,5	25,1	46,8	55,9	60,8	24,1
23	17,3	15,7	13,4	25,4	46,6	55,1	61,0	22,6
Зона II								
1	13,0	16,3	16,6	12,9	52,7	45,8	38,8	52,1
2	13,2	16,8	17,0	13,2	53,0	45,9	38,8	52,1
3	13,6	17,0	17,1	13,6	51,9	44,5	37,8	51,0
4	14,2	17,2	17,3	14,1	49,9	43,6	37,0	49,8
5	14,4	17,3	17,4	14,6	47,8	42,7	36,6	47,8
6	13,8	17,4	17,5	14,7	47,7	42,1	35,6	45,1
7	12,9	17,2	17,4	14,9	49,0	41,7	34,7	43,6
8	12,8	17,2	17,4	14,9	49,8	41,7	34,6	43,2
9	13,1	17,2	17,4	14,9	49,3	41,0	34,3	42,8
10	13,3	17,3	17,4	15,0	49,2	40,5	33,6	42,0
11	13,9	17,4	17,5	15,2	48,0	39,7	33,6	42,3
12	14,5	17,7	17,7	15,6	45,6	39,5	33,6	41,5
13	14,0	17,8	17,9	15,6	45,6	38,6	32,8	40,3
14	13,5	17,8	18,0	15,4	47,4	38,6	32,5	40,2
15	14,3	17,8	18,0	15,5	46,5	38,6	32,5	41,3
16	15,1	18,0	18,1	15,5	44,1	38,3	32,5	41,6
17	15,1	18,2	18,2	15,5	42,7	37,7	32,1	41,3
18	14,5	18,2	18,3	15,5	43,4	37,6	32,4	41,0
19	14,1	18,3	18,3	15,5	44,8	37,6	32,3	40,9
20	14,2	18,4	18,4	15,5	45,1	37,6	31,7	40,5
21	14,2	18,5	18,5	15,5	44,7	36,9	31,5	39,8
22	14,2	18,5	18,5	15,5	44,7	36,7	31,3	39,8
Зона III								
1	15,0	14,1	5,8	10,8	59,6	64,4	88,0	74,1
2	15,3	14,4	6,1	11,3	59,2	64,1	89,5	74,2
3	15,3	14,5	6,1	11,5	58,7	63,5	89,5	72,5
4	15,3	14,5	6,2	11,7	57,9	63,4	89,5	71,6
5	15,1	14,5	6,2	11,8	57,0	62,5	89,5	70,3
6	15,0	14,5	6,1	11,9	56,7	61,1	89,5	69,0
7	15,0	14,6	6,1	11,9	56,1	60,6	89,5	67,7
8	15,1	14,7	5,9	12,0	55,8	59,6	89,5	67,1
9	15,2	14,8	5,9	12,0	54,8	58,9	89,5	66,5

10	15,3	14,9	5,9	12,1	53,9	58,0	89,5	66,1
11	15,3	14,9	6,0	12,1	53,7	57,5	89,5	65,5
12	15,3	14,9	6,1	12,1	52,9	56,8	89,5	64,8
13	15,6	15,0	6,1	12,1	51,6	56,1	89,5	64,1
14	15,6	15,1	6,1	12,1	50,8	55,6	89,5	64,3
15	15,8	15,3	6,2	12,3	50,8	55,0	89,5	64,3
16	15,9	15,4	6,3	12,3	50,2	54,9	89,5	63,9
17	16,1	15,5	6,4	12,4	49,3	54,4	89,5	63,0
Зона IV								
1	19,1	17,6	18,6	19,7	44,7	53,0	44,7	41,2
2	19,6	18,1	19,2	20,3	43,8	52,0	43,6	39,8
3	19,5	18,1	19,1	19,4	40,6	48,1	41,6	38,7
4	19,3	17,5	19,0	18,4	37,9	45,9	39,1	39,5
5	19,4	17,3	19,0	17,8	36,4	45,8	37,5	39,7
6	19,4	17,0	18,9	17,5	35,6	45,8	36,6	39,8
7	19,6	17,0	18,9	17,6	34,6	45,8	35,6	40,1
8	19,4	17,4	18,9	18,4	35,7	45,7	36,0	39,6
9	19,3	17,5	18,8	19,0	36,4	45,8	36,6	38,3
10	21,4	17,5	18,9	19,0	31,9	45,2	36,5	36,7
11	22,1	17,1	18,9	18,5	27,9	44,7	35,4	36,3
12	22,5	17,3	19,0	19,1	28,2	45,5	35,7	37,6
13	22,9	17,7	19,2	19,7	28,2	46,7	36,7	36,8
14	22,3	18,0	19,3	20,0	28,7	45,8	36,6	35,6
15	21,4	18,0	19,3	20,1	30,0	45,7	36,6	34,6
16	20,9	17,9	19,1	20,0	30,3	44,8	35,9	34,5
17	20,8	17,9	19,2	20,3	31,3	44,7	35,9	33,7
18	20,7	17,9	19,2	20,5	31,5	44,6	35,9	32,9

Таблиця Р.2

Середні показники температури та вологості повітря в кабіні водія та салоні автобуса в теплу пору року

Час, хв.	Температура, °С				Вологість, %			
	T1	T2	T3	T4	H1	H2	H3	H4
Кабіна водія								
1	20,1	21,6	21,2	21,5	91,5	91,0	88,9	85,2
2	20,9	22,3	22,0	22,0	93,5	91,3	89,5	86,8
3	21,2	22,7	22,2	22,1	94,0	89,7	88,1	85,9
4	21,4	22,8	22,4	22,2	94,0	87,6	86,2	84,9
5	21,5	23,0	22,5	22,5	93,0	87,0	85,9	84,4
6	21,6	23,1	22,6	22,5	92,0	85,6	84,3	83,7
7	21,6	23,1	22,7	22,6	91,5	85,0	84,0	83,3
8	21,6	23,2	22,7	22,6	91,0	84,9	84,0	83,4
9	21,7	23,3	22,7	22,7	91,2	85,0	84,4	83,0
10	21,8	23,4	22,9	22,9	91,9	85,0	85,0	83,1
11	21,9	23,6	23,0	23,0	92,0	85,0	85,0	83,0
12	21,9	23,7	23,1	23,0	92,6	85,0	85,0	82,8
13	21,9	23,8	23,2	23,0	92,7	84,8	84,7	83,1
14	22,0	23,8	23,2	23,1	93,0	84,0	84,0	83,1
15	22,1	23,9	23,3	23,1	92,3	83,7	83,5	82,8
16	22,1	23,9	23,3	23,1	92,1	82,8	82,8	82,8
17	22,1	24,0	23,4	23,1	92,1	82,5	82,7	82,4
18	22,1	24,0	23,3	23,0	91,6	81,9	81,7	82,7
19	22,1	23,9	23,3	22,9	91,0	81,1	81,0	82,0
20	22,1	23,9	23,2	22,8	91,0	81,0	81,0	81,9
21	22,1	23,9	23,2	22,8	90,9	81,0	81,0	81,5
22	22,1	23,9	23,1	22,9	91,0	81,0	81,0	81,0
23	22,1	23,9	23,1	22,9	91,0	81,0	81,0	81,0
Зона І								
1	24,9	25,4	24,2	24,5	74,8	74,0	75,6	75,0
2	25,5	26,0	24,8	25,1	74,8	74,2	76,3	75,4
3	25,5	26,0	24,9	25,2	74,2	74,2	75,8	75,2
4	25,5	25,9	24,9	25,2	74,2	74,2	75,2	74,7
5	25,5	26,0	25,0	25,3	74,2	74,2	75,2	74,2
6	25,5	25,9	25,0	25,3	73,6	74,2	75,2	74,2
7	25,5	25,9	25,0	25,3	74,1	74,2	75,2	74,2
8	25,4	25,9	25,0	25,3	74,2	74,2	75,2	74,2
9	25,3	25,7	24,9	25,2	74,2	74,2	75,2	74,2
10	25,2	25,6	24,8	25,1	75,0	75,0	75,3	74,7
11	25,1	25,5	24,7	25,1	75,2	75,2	75,7	75,2
12	25,1	25,4	24,6	25,1	75,2	75,2	76,0	75,2
13	25,1	25,4	24,7	25,1	75,2	75,2	75,7	75,2
14	24,9	25,3	24,6	25,0	75,2	75,3	76,0	75,2
15	24,9	25,2	24,5	24,9	76,1	76,3	76,3	75,5

16	24,7	25,1	24,4	24,8	76,6	76,7	77,2	76,3
17	24,6	24,9	24,2	24,6	77,3	77,3	77,5	76,7
18	24,5	24,8	24,1	24,5	78,0	77,9	78,3	77,3
19	24,5	24,8	24,1	24,5	78,1	78,0	78,3	77,3
Зона II								
1	23,5	23,7	23,3	23,7	81,1	81,3	80,1	79,4
2	24,1	24,3	23,9	24,3	82,0	81,9	80,4	79,6
3	24,0	24,3	24,0	24,3	82,0	81,3	79,8	79,3
4	24,1	24,3	24,0	24,4	82,1	81,3	80,3	79,3
5	24,1	24,4	24,1	24,4	82,3	81,3	79,7	79,3
6	24,0	24,4	24,1	24,5	82,2	81,3	79,3	78,9
7	24,0	24,4	24,1	24,5	82,4	81,3	79,3	78,3
8	23,8	24,4	24,1	24,5	82,8	81,3	79,3	78,6
9	23,8	24,3	24,1	24,5	83,4	81,3	79,3	79,3
10	23,9	24,4	24,1	24,5	83,0	81,3	79,3	79,3
11	24,0	24,4	24,1	24,5	82,4	81,1	79,3	78,4
12	24,0	24,5	24,1	24,5	82,4	80,3	79,3	78,3
13	24,0	24,4	24,1	24,5	82,0	80,3	79,3	78,3
14	24,0	24,4	24,0	24,5	82,0	80,3	79,3	78,3
15	24,0	24,4	24,0	24,4	82,4	80,6	79,3	78,3
16	23,9	24,4	23,9	24,4	82,4	81,3	80,2	78,3
17	24,0	24,4	24,0	24,5	82,4	81,1	79,4	78,3
18	23,9	24,4	24,0	24,5	82,4	80,3	79,3	78,3
19	23,9	24,4	24,0	24,5	82,4	80,3	79,3	78,3
20	23,9	24,5	24,1	24,6	82,4	80,3	79,3	77,8
21	23,9	24,5	24,1	24,7	82,4	80,3	79,3	77,3
Зона III								
1	33,3	31,5	33,7	30,2	27,7	39,0	29,0	37,4
2	33,8	32,4	34,5	31,0	27,6	39,1	29,1	37,5
3	33,4	32,6	35,0	31,5	28,0	39,7	27,6	36,6
4	33,0	32,8	35,1	31,7	28,5	38,1	26,8	35,9
5	33,1	32,9	36,0	32,2	28,3	37,2	25,8	34,9
6	33,2	33,0	36,8	32,6	26,5	36,3	23,5	32,7
7	33,5	33,4	36,7	32,8	25,7	36,2	22,1	30,9
8	33,5	33,9	36,1	32,6	24,7	33,4	21,4	30,4
9	33,7	33,6	35,6	32,4	23,9	33,4	22,1	30,5
10	34,6	33,6	35,7	32,5	22,2	34,3	22,4	31,1
11	35,2	33,8	36,0	32,5	20,2	35,6	22,3	30,5
12	34,8	33,8	35,8	32,5	21,4	34,7	22,4	31,4
13	34,4	33,8	35,7	32,8	22,4	34,5	22,5	30,8
14	34,2	33,8	36,1	33,5	23,0	34,0	21,9	29,9
15	34,2	33,5	35,8	33,9	22,6	33,4	21,9	28,5
16	33,4	33,4	35,1	33,6	23,0	32,4	22,6	28,2
17	32,8	33,1	34,7	32,9	24,8	33,0	24,0	29,2
Зона IV								
1	30,4	32,4	30,5	30,3	26,3	29,6	28,6	29,8

2	31,2	33,5	31,7	31,7	26,4	29,2	29,3	30,9
3	31,3	33,9	32,2	32,5	26,4	29,2	28,6	29,7
4	31,4	34,3	32,5	32,8	25,8	28,1	27,5	27,8
5	31,2	34,5	32,6	33,0	26,0	27,5	26,9	27,4
6	31,2	34,6	32,7	33,1	26,4	27,3	27,0	27,5
7	31,0	33,8	32,6	32,9	26,3	27,1	26,4	26,9
8	30,3	32,7	32,3	32,3	28,1	29,4	27,2	28,4
9	30,3	32,5	32,2	32,1	29,2	30,5	27,9	29,5
10	30,4	32,8	32,2	32,2	29,0	30,5	28,5	29,5
11	30,3	32,8	32,1	32,2	30,1	31,0	29,2	30,2
12	30,3	32,7	32,0	32,1	30,8	31,9	29,8	31,1
13	30,2	31,9	31,7	31,8	29,6	31,8	29,0	30,5
14	29,9	31,2	31,4	31,6	30,1	32,7	28,9	30,5
15	30,2	31,3	31,4	31,4	30,2	33,1	29,5	30,9
16	30,9	31,9	31,6	31,7	29,5	33,6	30,3	31,5
17	31,3	32,4	31,9	32,1	28,2	32,6	30,2	30,9
18	31,0	32,4	31,9	32,2	27,8	31,9	29,6	30,0

Середні показники кількості повітря в холодну пору року

Час, хв.	Кількість повітря, мл/с				
	Кабіна водія	1	2	3	4
1	960	1032	80,1	998	1636
2	1108	1050	81	1024	1929
3	1111	1045	83	1029	2565
4	1114	1040	83	1065	2375
5	1103	1033	83	1067	2061
6	1098	1033	84	1066	1748
7	1099	1024	86	1062	1766
8	1108	1019	85	1061	1753
9	1110	1014	85	1060	1746
10	1126	1013	85	1062	1747
11	1120	1013	84	1061	1812
12	1128	1011	85	1061	1919
13	1138	1007	83	1060	2001
14	1126	1014	82	1060	2248
15	1141	1013	83	1059	2303
16	1144	1014	79	1059	2344
17	1140	1023	77	-	2458
18	1144	1027	77	-	2584
19	1143	1032	77	-	2552
20	1134	1036	79	-	2552
21	1128	1038	79	-	
22	1133	1039	76		
23	1135	1039	76	-	
24	-	1038	-	-	
25	-	1038	-	-	

Таблиця Р.4

Середні показники кількості повітря в теплу пору року

Час, хв.	Кількість повітря, мл/с				
	Кабіна водія	1	2	3	4
1	51	86	58	37	25
2	49	52	58	34	24
3	47	51	64	29	23
4	45	50	63	27	23
5	44	49	67	28	22
6	43	51	75	19	22
7	44	51	71	25	18
8	42	52	79	21	17
9	42	51	88	23	20
10	41	52	80	26	22
11	43	52	73	26	21
12	41	53	80	25	21
13	41	52	80	25	19
14	42	54	77	23	19
15	41	54	76	21	19
16	41	55	77	19	24
17	40	57	79	-	23
18	41	57	82	-	21
19	41	57	75	-	22
20	41	57	77	-	21
21	41	-	78	-	
22	42	-	82	-	
23	42	-	-	-	
24	43	-	-	-	
25	42	-	-	-	

Додаток С

Список публікацій здобувача, в яких наведено результати науково-дослідної роботи

1. Войчишин Ю.І., Круць Т.І., Зінько Р.В., Горбай О.З. Дослідження мікроклімату салону міського автобуса. Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті, №1 (14), 2020. С. 49-57.
2. Kernytskyu, I.; Yakovenko, Y.; Horbay, O.; Ryviuk, M.; Humenyuk, R.; Sholudko, Y.; Voichyshyn, Y.; Mazur, Ł.; Osiński, P.; Rusakov, K.; et al. Development of Comfort and Safety Performance of Passenger Seats in Large City Buses. *Energies* 2021, 14, 7471. (Scopus)
3. Yakovenko. E., Voichyshyn Y., Horbay O. Analysis of thermal comfort models of users of public urban and intercity transport // *Ukrainian Journal of Mechanical Engineering and Materials Science*. – 2022. – Vol. 8, №2. – P. 67-74.
4. Войчишин Ю.І., Яковенко Є.І., Горбай О.З., Голенко К.Е., Бур'ян М.В. Моделювання теплового комфорту міського автобуса PMV-методом за допомогою CBE Thermal Comfort Tool. Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті, № 2 (19), 2022. С. 32-41.
5. Ю.І. Войчишин, Д.А. Роман. Моделювання теплового комфорту міського автобуса PMV методом. Науково-прикладні аспекти автомобільної і транспортно-дорожньої галузей: матеріали VII міжнарод. наук.-прак. конф. (м. Луцьк, 14-16 черв. 2022р.). Луцьк, 2022. – С. 13-15.
6. К.Е. Голенко, Ю.І. Войчишин, Є.І. Яковенко, О.З. Горбай, О.Ю. Рудик. Аналіз впливу різних типів компоновки кузовів автобусів на особливості формування потоків повітря в умовах вимушеної конвекції салону. Вісник НТУ «ХПІ». Серія Автомобіле- та тракторобудування, №1, 2022. С. 3-13.
7. K. Holenko, Y. Voichyshyn, O. Horbai, M. Burian, V. Popovych, O. Makovkin. Thermal comfort formation of the bus interior depending on the power unit layout. *Problems of Tribology*, V. 27, No 4/106-2022, 58-68.
8. Ю. Войчишин, К. Голенко, М. Бур'ян, О. Горбай. Дослідження температурного впливу на стінки кузова під час роботи двигуна міського автобуса із

задньомоторною компоновкою. Міжнародна конференція «Покращення конструктивних та експлуатаційних показників автомобілів і машин». Збірник тез доповідей. – К.: НТУ, 2022. – С. 126 - 128.

9. Голенко К.Е., Войчишин Ю.І., Бабак О.П., Роман Д.А. Моделювання мікроклімату міських автобусів методом кінцевих елементів. XV міжнародна науково-практична конференція «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту». Збірник тез доповідей. – Житомир: Житомирська політехніка, 2022. – 166 с.

10. Methodology of analytical research of the microclimate of the bus drivers cab using the ANSYS-FLUENT software environment / Yurii Voichyshyn, Kostyantyn Holenko, Orest Horbay, Volodymyr Honchar // Scientific Journal of TNTU. — Tern.: TNTU, 2023. — Vol 109. — No 1. — P. 90–98.

11. Ю. Войчишин, К. Голенко, О.Горбай, О.Потеряєв. Експериментальні дослідження мікроклімату кабіни водія автобуса Електрон А18501 в помірну та холодну пору року. Сучасна наука та освіта: стан, проблеми, перспективи. Матеріали III міжнародної науково-практичної конференції. 20 – 21 березня, 2023, Полтава, С. 394-396.

12. Голенко К.Е., Войчишин Ю.І., Гончар В.А. Методика оцінки вентиляції міських автобусів на основі циркуляції повітряних мас. Інноваційні технології розвитку машинобудування та ефективного функціонування транспортних систем: матеріали тез IV Всеукраїнської науково-технічної конференції, 26-27 квітня 2023 року, Рівне. – 2023. – С. 173-177.

13. Yurii Voichyshyn, Kostyantyn Holenko, Dmytro Roman, Orest Horbai. Study of microclimate parameters in the bus driver's cabin in the warm season. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 1277 (2023) 012035. 11 p.

14. Ю. І. Войчишин, К. Е. Голенко, О. З. Горбай, А. П. Поляков, О. Ю. Рудик, Ю.В. Гай. Експериментальні дослідження параметрів мікроклімату в салоні автобуса в холодну пору року. Вісник машинобудування та транспорту №2(18), 2023. С. 38-45.

15. Ю.І. Войчишин, К.Е. Голенко, О.З. Горбай. Дослідження мікрокліматичних показників в зоні підвищеного виділення теплоти в салоні міського автобуса. Матеріали XVI Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 23-25 жовтня 2023 року: збірник

наукових праць / Міністерство освіти і науки України, Вінницький національний технічний університет [та інш.]. – Вінниця: ВНТУ, 2023. С. 113-115.

16. Ю. Войчишин, О. Горбай. Експериментальні дослідження роботи дифузора системи опалення кабіни водія автобуса Електрон А185. Інноваційні технології розвитку машинобудування та ефективного функціонування транспортних систем: матеріали тез V Всеукраїнської науково-технічної інтернет-конференції 25–27 жовтня 2023 р. [Електронне видання]. Рівне : НУВГП, 2023. С. 12-15.

17. Войчишин Ю. І., Гай Ю. В., Горбай О. З., Голенко К. Е. Експериментальні дослідження мікрокліматичних показників робочого місця водія автобуса в теплу пору року // Актуальні задачі сучасних технологій: збірник тез доповідей XII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів, Тернопіль, 6–7 грудня 2023 р. – 2024. – С. 148–149.

18. Holenko, K., Dykha, A., Voichyshyn, Y., Horbay, O., Dykha, M., Dytyniuk, V. (2024). Determining the characteristics of contact interaction between the two-row windshield wiper and a curvilinear glass surface. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (7 (127)), 48–59. (Scopus)

19. Y. Voichyshyn. Study of Microclimate Indicators of a Bus Driver's Workplace in the Warm Season of the year. *Scientific Journal of the Ternopil National Technical University*, 2024, № 2 (114), 11-19 p.

20. Голенко К.Е., Войчишин Ю.І., Свідерський В.П., Клипко О.Р. Моделирование поведения стеклоочистика под час контакту з криволінійною поверхнею, фактори впливу на безпеку водіння. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*, № 2 (19), 2022. С. 32-41.

Додаток Т

Акти впровадження

ТОВ «Завод ЕлектронМаш»



«ЗАВОД ЕЛЕКТРОНМАШ»
ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. директора

ТОВ «Завод Електронмаш»

Володимир БУДЗАН
2024 року

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

методики вимірювання параметрів мікроклімату салону міського автобуса категорії МЗ, створеної на основі досліджень та за участю аспіранта інституту механічної інженерії та транспорту Національного університету «Львівська політехніка» Войчишина Юрія Івановича

Даний акт підтверджує, що розроблена методика, яка дозволяє провести розрахунок, моделювання та дослідження параметрів мікроклімату в салоні та на робочому місці водія міського автобуса. Вона застосовується на підприємстві при проектуванні нових модифікацій автобусів та електробусів.

Розроблений комплекс на основі вимірювальної апаратури на основі Arduino для дослідження параметрів мікроклімату, а саме: температури, вологості та кількості повітря та рівня CO₂ дозволяє оптимізувати ці параметри у відповідності стандартам EN ISO 7730, ISO 7933, EN ISO 14505.

Запропонована методика дозволяє покращити комфорт перевезення та провести розрахунок оптимального розміщення елементів системи опалення та вентиляції.

На основі проведених експериментальних досліджень моделі Електрон А18501 дано рекомендації щодо оптимального розміщення джерел надходження тепла у салон та виявлені невідповідності параметрів мікроклімату.

Дані дослідження мікроклімату кабіни водія автобуса дозволять для майбутніх моделей автобусів покращити комфорт на робочому місці водія, що в свою чергу підвищує безпеку руху транспортного засобу.

Ця, і аналогічні методики дозволяють збільшити конкурентоздатність продукції нашого підприємства і автобусобудівників на ринку.

Заст. директора, генеральний конструктор

Василь СИДЬ

Заст. директора, головний технолог

Роман ЯХИМЕЦЬ

Нач. управління якості

Віталій ПРОНІОК

Начальник УГСО

Микола МИГОВЧАК

Львівське АТП №1



Львівська міська рада
Департамент міської мобільності та вуличної інфраструктури
Львівське комунальне автотранспортне підприємство №1
79040, м. Львів, вул. Авіаційна, 1, тел.: (032) 244-22-07, e-mail: lk.atp1@ukr.net

«Погоджую»
В.о. директора ЛК АТП №1
Климчук С.В.

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

методики досліджень параметрів мікроклімату міського автобуса категорії М3

У 2022-2023 рр. було проведено, за участю аспіранта кафедри «Проектування машин та автомобільного інжинірингу» Національного університету «Львівська політехніка» Войчишина Юрія Івановича, вимірювання параметрів мікроклімату за допомогою розробленого комплексу вимірювальної апаратури на базі Arduino, а саме: температури, вологості, кількості повітря та рівня CO₂ на міських автобусах. Експериментальні дослідження проводились як в салоні, так і в кабіні водія автобуса Електрон А18501 у теплу та холодну пору року. Було експериментально визначено порушення деяких нормативних параметрів в салоні автобуса (особливо в задній частині автобуса, де влітку відбувається перегрів, а взимку є точки низьких температур).

Випробування проводились у відповідності до стандарту EN ISO 7730, ISO 7933, EN ISO 14505. Було надано рекомендації щодо розміщення опалювальних елементів у салоні та на робочому місці водія.

На сьогоднішній день, в нашому парку є наступні моделі автобусів: Електрон А18501, МАЗ-203, ЛАЗ-А183, в яких є проблеми із системами опалення та вентиляції.

Результати вимірів параметрів мікроклімату на основі вищевказаного комплексу та наукові положення, розроблені групою дослідників кафедри ПМАІ, підтверджуються нашим підприємством та можуть бути враховані при закупівлі наступних моделей автобусів.

Головний інженер

Начальник відділу ремонту ТЗ

__10.2024



Карпій Б.В.

Виджак А.І.

ПАТ ЗАЗ



ЗАЗ

ПРИВАТНЕ АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО
 «ЗАПОРІЗЬКИЙ АВТОМОБІЛЕБУДІВНИЙ ЗАВОД»

пр. Соборний, 8, м. Запоріжжя, 69600
 Телефон: (061)213 83 03, 213 83 05, телефакс: (061)213 77 98, E-mail: admin@zaz.zp.ua, www.avtozaz.com
 • Поточний рахунок UA68334851000000002600340369 в АТ «ЮМБ» м. Київ, МФО 334851, код ЄДРПОУ 25480917

№ _____



ЗАТВЕРДЖУЮ

Начальник ТЦ

ПРАТ «ЗАЗ»

РАЛЬЧЕНКО Ю.Ю.

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

методики розрахунку, моделювання та вимірювання параметрів мікроклімату салону міського автобуса класу М3 low-floor, створеної на основі досліджень аспіранта кафедри «Проектування машин та автомобільного інжинірингу» Національного університету «Львівська політехніка» Войчишина Юрія Івановича

Наше підприємство на даний час займається розробкою та випробуванням великого міського автобуса класу М3 моделі ЗАЗ А18А0Н. При розрахунку та моделюванні параметрів мікроклімату, а також розміщення джерел тепла та вентиляції застосовується методика розрахунку, моделювання та вимірювання, розроблена аспірантом Войчишином Ю.І.

Даний акт підтверджує, що розроблена методика по розрахунку, моделюванню та дослідженню параметрів мікроклімату (температури, вологості та кількості повітря та рівня CO₂) в різних зонах салону автобуса застосовується при проектуванні нових модифікацій автобусів. Дана методика дозволяє визначити невідповідності стандартним параметрам, їхньому коректуванню, що приводить до покращення комфорту перевезення пасажирів за рахунок оптимального розміщення джерел тепла та вентиляції.

Крім цього проведені дослідження мікроклімату кабіни водія автобуса дозволить покращити комфорт на робочому місці водія, що в свою чергу підвищить безпеку руху транспортного засобу.

Проведені корективи, за рахунок виявлення невідповідності параметрів нормованим нормам, дозволять збільшити конкурентоздатність продукції на ринку.

Заст. головного конструктора

Олег Помогач

Головний технолог

Георгій Гриценко

Львівське АТП – 14630

УКРАЇНА

Публічне акціонерне товариство

«Львівське автотранспортне підприємство-14630»

79019, м. Львів, вул. Городницька, 47, тел. 52-11-82, 52-12-49, факс 52-21-24,
тел. бух. 52-85-52, диспетчер 52-04-60

ЗКПО 03114744, р/р. 26000000011223 В ПАТ «Фольксбанк» м. Львова МФО325213



АКТ

щодо використання результатів досліджень мікроклімату салону міського автобуса

Група дослідників кафедри «Проектування машин та автомобільного інжинірингу» Національного університету «Львівська політехніка» за участю аспіранта Войчишина Юрія Івановича запропонувала провести на розробленому ними комплексі вимірювальної апаратури дослідження параметрів мікроклімату, а саме: температури, вологості, кількості повітря та рівня CO₂ на міських автобусах. Дослідження параметрів мікроклімату проводяться на комплексі на базі Arduino. Комплекс дозволяє проводити дослідження даних параметрів на робочому місці водія та салони автобуса протягом року. Особливі вимоги ставляться до спекотних та морозних періодів року.

Випробування проводяться у відповідності до стандарту EN ISO 7730, ISO 7933, EN ISO 14505. Дано рекомендації щодо раціоналізації розміщення джерел тепла у салоні та на робочому місці водія.

На сьогоднішній день в нашому парку є наступні моделі автобусів: VAN HOOL A330 та VDL CITEA LLE 120.225 в яких є проблеми з системами опалення та вентиляції.

На основі апробації комплексу наукові положення, розроблені науково-педагогічним колективом кафедри ПМАІ, зокрема методика проведення експериментальних натурних досліджень можуть бути прийняті до використання, та враховані при закупівлі наступних моделей автобусів для нашого парку.

Головний інженер

Головний механік

Кузбит С. З.
Слобода С. С.

Довідка про впровадження результатів науково-дослідної роботи у навчальний процес НУ «Львівська політехніка»

0002874


 УКРАЇНА

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

вул. С. Бандери, 12, Львів, 79013, тел. (380-32) 237-49-93, 258-21-11, факс: (380-32) 258-26-80
 ел. пошта: coffice@lpnu.ua, інтернет: www.lpnu.ua

6.10.2024 № 62-50-511

на № _____

Довідка
про використання дисертаційного дослідження Юрія Войчишина

Основні положення та результати дисертаційної роботи Войчишина Ю.І. на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузевого машинобудування використовуються при підготовці бакалаврів та магістрів базового напрямку 6.050503 «133 Галузеве машинобудування» спеціальності 7(8).05050305 «Колісні і гусеничні транспортні засоби» при написанні курсових, випускних бакалаврських та магістерських кваліфікаційних робіт. Також в навчальному процесі використано матеріали, запропоновані Ю.І. Войчишином, а саме:

- загальні положення по тематиці систем опалення, вентиляції та кондиціонування (дисципліна «Конструкція автомобілів і тракторів» 6.133.07.E.074, тема «Конструкція систем опалення, вентиляції та кондиціонування КТЗ»);
- розрахунок системи опалення автобуса за допомогою CFD-моделювання в програмі ANSYS-Fluent Workbench (дисципліна «Проектування і розрахунок кузовів автомобілів» 7.133.07.E.017, тема «Системи опалення, вентиляції та кондиціонування автобусів»);
- методика наукових досліджень повітрообміну, вентиляції в КТЗ, експериментальних вимірювань використовується при підготовці PhD у дисциплінах «Експериментальні, стендові та дорожні дослідження колісних і гусеничних машин» 8.133.00.M.026, тема «Формування адаптивного підходу до проектування систем вентиляції та повітрообміну і кондиціонування КТЗ», «Методологічне та математичне забезпечення наукових досліджень» 8.133.00.M.027, тема «CFD-моделювання систем вентиляції, повітрообміну та кондиціонування в транспортних засобах».

Проректор
З наукової роботи,
д.т.н., професор

Виконавець: д.т.н., проф. Орест ГОРБАЙ тел. 067-363-26-16


 Іван ДЕМИДОВ

Видавництво Львівської політехніки. Наклад 5000. Зам. 2231336. 2023.

ТОВ «БАНКЕ ЮКРЕЙН»**ТОВ «БАНКЕ ЮКРЕЙН»**

81130 Львівська область,
Пустомитівський р-н
с. Сокильники,
вул. Львівська Бічна, 3

Вих. №15/1
Від 26.08.2024р

АКТ ВИКОРИСТАННЯ

розрахунків у проекті « Великий міський автобус MAN»

ТзОВ БАНКЕ ЮКРЕЙН є офіційним представником датської компанії Banke ApS і її конструкторсько- технологічний підрозділ виконує замовлення з залученням фахівців по агрегуванню транспортних засобів.. На даний час проведенням розрахунків для великого міського автобуса класу М3 моделі MAN A14SD202 займається творчий колектив у складі д.т.н О. Горбая, к.т.н. К. Голенко та аспіранта Ю.Войчишина. В проекті використовуються STP-моделі, які імпортується в середовище Ansys Transient Structural та Fluent Workbench.

До основних результатів наукових досліджень, що знайшли практичне застосування, слід віднести отримані дані, які подано для можливості забезпечення вимог міжнародних правил ЄЕКООН R100.

Директор
ТзОВ БАНКЕ ЮКРЕЙН



Т. Яцюшка