

***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**

В роботі запропонований аналіз впливу п'яти видів компоновки кузовів міських автобусів на формування потоків повітря в салоні, згенерованих вентилятором мотовідсіку в умовах вимушеної конвекції. Авторами проведено три типи випробувань з різними крайовими умовами у розрахунковому модулі ANSYS Fluent: вхідною швидкістю потоків від вентилятора мотовідсіку, температурою потоків та середовища, внутрішньою та зовнішньою конвекцією. За результатами імітації натурних випробувань встановлено, що найбільш ефективним є варіант компоновки автобуса з розташуванням двигуна горизонтально у задньому звісі.

**Ключові слова:** салон, компоновання, температура, швидкість повітря, температурна карта, конвекція, компоновка, міський автобус, салон автобусу, вентиляція, мікроклімат.

***K. HOLENKO, Y. VOICHYSHYN, Y. YAKOVENKO, O. HORBAY, O. RUDYK***

## **INFLUENCE ANALYSIS OF THE DIFFERENT TYPES BUS BODY COMPOSITION ON THE CHARACTERISTICS OF THE AIR FLOWS FORMATION IN CONDITIONS OF FORCED CABIN CONVECTION**

The paper proposes the influence analysis of five types of city bus body layouts on the air flows formation in the cabin, generated by the motor compartment fan under conditions of forced convection. The authors conducted three types of tests with different boundary conditions in the finite element calculation module of ANSYS Fluent: the input velocity of the flows from the motor compartment fan, the temperature of the flows and the environment, internal and external convection. According to the results of simulated field tests, it was established that the most effective is the layout of the bus with the engine located horizontally in the rear overhang. Such a layout is relatively expensive from the point of view of production, because it requires the installation of the opposite type of "boxer" engine in most cases, which is characterized by a higher cost, complexity of maintenance and is less common in contrast to V-type internal combustion engine schemes. However, air circulation occurs throughout the cabin the most effectively in this layout scheme, taking into account the driver's cabin and other locations. Layouts with central positioning of the engine (vertical and horizontal) also deserve attention - they ensure a symmetrical distribution of air in the front and rear of the bus body, which can be especially relevant in the cold period of the year.

**Key words:** interior, layout, temperature, air speed, temperature map, convection, layout, city bus, bus interior, ventilation, microclimate.

**Вступ.** Протягом поточного десятиріччя з врахуванням тенденцій до посилення конкуренції на ринку пасажирських перевезень комфортність останніх постає надзвичайно важливою проблемою перед інженерами й науковцями та включає в себе не тільки плавність і швидкість руху, екологічно чисті матеріали та зручну ергономіку, а також і таке поняття, як мікроклімат внутрішнього середовища транспортного засобу. За умови забезпечення комфортного температурного режиму пасажир чи водій фізично та емоційно відчувають себе краще, зберігають заряд сил та уваги, а, відповідно, й сама поїздка проходить більш комфортно та якісно.

Розвиток вітчизняного автобусобудування продиктовано потребами відповідності діючим в країнах ЄС нормативним вимогам щодо забезпечення перевезення у міському транспорті пасажирів з обмеженими фізичними можливостями, що в свою чергу формує предметні вимоги до компоновки міських автобусів. Так, згідно з Правил №107 ЄЕК ООН, що діють в Україні, рівень підлоги міських та приміських автобусів має відповідати висоті 340-360 мм (рівень тротуару) та забезпечувати прохід в салон без сходинок щонайменше у передній та центральній частині кузова. Тип кузова із рівномірно низьким рівнем підлоги по всій його довжині без сходинок у дверних проїмах має назву Low-floor та застосовується переважно в класі «таксі», що є раціональним для великих міст (загальна довжина - 12 м). Варіації такого

типу кузова можуть мати різні компоновки мотовідсіку у задньому звисі (горизонтальне або вертикальне положення), центральне (вертикальний мотовідсік у вигляді шафи або горизонтальний пандус з опозитним двигуном), тощо. Очевидно, кожен з таких різних за своєю концепцією типів кузовів має свої особливості вентиляції, обігріву, тощо, параметри яких визначаються низкою норм, включно й Правилами №107 ЄЕК ООН. Так, якщо в кабіні водія буде занадто спекотно або недостатньо тепло, його сенсомоторні реакції можуть проходити з певними порушеннями: реакція буде сповільнюватись, почне проявлятися погане самопочуття. Відповідно, в умовах екстреної ситуації водій не зможе вчасно і коректно зреагувати, виконавши маневр або екстрене гальмування, що призведе до ДТП. Невідповідність основних мікрокліматичних параметрів негативно впливатиме на пасажирів - такі перевезення будуть несприятливі, як для перевізників, так і для пасажирів, що призведе до пошуку більш комфортних альтернативних перевезень останніми з відповідними фінансовими наслідками для власників пасажирських компаній, що здійснюють перевезення.

**Аналіз останніх досягнень і публікацій.** На сьогоднішній день в науковому світі питання досліджень по мікроклімату транспортних засобів є дуже популярним та не стоїть на місці. Існує безліч вчених, які займаються дослідженнями в даній галузі, як в Україні, так і за кордоном, що продиктовано не тільки наукою, але й потребами самого бізнесу. Для прикладу наведемо деяких вчених, зокрема Кравченко О.П. [1], де автором розглядається формування комфортного мікроклімату в салоні автобуса шляхом визначення тепловтрат. Автором Е.Т. Tosun розглядаються такі задачі, як ексергетичний аналіз системи кондиціонування міжміських автобусів [2]. Ця тематика доповнюється публікацією [3] про можливість CFD моделювання внутрішнього середовища в транспортному засобі та [4] щодо оцінки комфортності їзди пасажирів за допомогою комп'ютерного моделювання. У роботах [5,6] йдеться про особливості прогріву салонів автобусів, включно з електробусами, що набуває актуальності в тому числі в Україні (на даний момент ведуться розробки автобусів на електричній тязі). Дослідження на тему теплового комфорту наводяться у публікаціях [7-9], а нормативні вимоги згідно Правил ЄЕК ООН [10] корисно доповнюють багаж знань в даній сфері.

**Мета та постановка задачі.** Метою даної роботи є дослідити розподіл температури по салону автобуса із застосуванням додаткового вентилятора, який встановлюється на стінці мотовідсіку, при різних компоновках 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.

**Варіанти розміщення двигуна в автобусах.** В наш час у світі існує безліч різних моделей та модифікацій автобусів, що ускладнює наші дослідження, адже потребує аналізу багатьох варіантів компоновальних схем. В зв'язку з тим, що ми будемо моделювати повітряні потоки від вентилятора, який встановлюється на мотовідсіку, нам спочатку слід навести варіанти розміщення двигунів в автобусах, зокрема розглянути ті моделі, які експлуатуються в Україні.

На рис. 1 показано різні типи автобусів залежно від розташування двигуна: 1а - розташування двигуна спереду над передньою віссю в салоні біля водія; 1б - капотна компоновка (відокремлений від всього салону); 1в - розташування двигуна посередині горизонтально є в сучасних автобусах доволі рідким явищем, проте всі ми знаємо автобус Ікарус 280, де така схема була розповсюдженою; 1г - відносно рідкісна компоновка з розташуванням двигуна вертикально в шафі-тумбі; 1д, 1е - найбільш популярні варіанти компоновки з двигуном у задньому звисі. В даному випадку ми маємо два варіанти розміщення: горизонтально (рис. 1д) з припіднятими в салоні сидіннями заднього ряду; вертикально в шафі-тумбі (рис. 1е), що зберігає 100% площі низької підлоги, але скорочує посадкову формулу на декілька сидячих місць. Така компоновка є найбільш популярною серед сучасних міських автобусів не в останню чергу завдяки встановленню V- та R-подібних двигунів, що є суттєво доступніші за собівартістю та обслуговуванням за опозитні Voхer.



Рис. 1 - Види автобусів згідно розташування двигуна:

а – Атаман А092; б – ТУР 407; в – Ікарус 280; г – МАЗ 215; д – ЛАЗ 13,5LE; е – Електрон А18501

**Теоретичний огляд.** Оскільки в даній роботі досліджується теплообмін в салоні автобуса, тобто перенесення теплових мас, нам слід розглянути деякі поняття законів, що характеризують дані фізичні процеси. Основним терміном є тепловий потік  $Q$  – величина, яка характеризує перенесення тепла за одиницю часу (1):

$$Q = \frac{\delta Q_{\tau}}{d\tau} \quad (1)$$

де:  $Q_{\tau}$  – зміна кількості тепла за одиницю часу  $\delta\tau$ .

Густина теплового потоку характеризується відношенням теплового потоку  $dQ$  до одиниці площі поверхні  $dF$  та визначається за допомогою (2):

$$q = \frac{dQ}{dF} \quad (2)$$

Далі потрібно скласти рівняння збереження теплоти. Нам потрібно в об'ємі салону автобуса виділити елементарний об'єм  $dV = dxdydz$ .

Рівняння збереження теплоти для елементарного об'єму матиме вигляд:

$$\delta Q_{\tau 1} + \delta Q_{\tau 2} = \delta Q_{\tau 3} \quad (3)$$

де:  $\delta Q_{\tau 1}$  – кількість теплоти, що входить в елементарний об'єм шляхом теплопровідності за час  $d\tau$ ;  $\delta Q_{\tau 2}$  – кількість теплоти, що виділилась за час  $d\tau$  за рахунок внутрішніх джерел;  $\delta Q_{\tau 3}$  – зміна ентальпії в елементарному об'ємі за час  $d\tau$ .

Загальну кількість теплоти, що надходить до елементарного об'єму, представимо у наступному вигляді:

$$\delta Q_{\tau 1} = Q_{\tau x} + \delta Q_{\tau y} + \delta Q_{\tau z} \quad (4)$$

Далі розпишемо складові рівняння (4) по елементарному об'єму з врахуванням коефіцієнту теплопровідності середовища  $\lambda$ :

$$\delta Q_{\tau x} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda \frac{\partial t}{\partial x} \right) dxdydzd\tau, \delta Q_{\tau y} = \frac{\partial}{\partial y} \left( \lambda \frac{\partial t}{\partial y} \right) dydxdzd\tau, \delta Q_{\tau z} = \frac{\partial}{\partial z} \left( \lambda \frac{\partial t}{\partial z} \right) dzdxdydzd\tau \quad (5)$$

Закон збереження теплоти для елементарного об'єму матиме наступний кінцевий вигляд (6):

$$q_v + \operatorname{div} \lambda \nabla t = \rho c \frac{dt}{d\tau} \quad (6)$$

де:  $\nabla$  - оператор Набла;  $\rho$  – густина;  $c$  – теплоємність.

**Аналіз результатів дослідження.** В ході даної наукової роботи був змодельований рух повітряних мас, які створюються додатковим вентилятором (вимушена конвекція) 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 °С;
- 2-й – швидкість повітря 0.5 м/с та температура 50 °С;
- 3-й – швидкість повітря 0.75 м/с та температура 55 °С.

Для моделювання в програмному середовищі ANSYS Fluent нам потрібно задати наступні вихідні розрахункові параметри, що наведені у таблиці 1.

Таблиця 1 – Вихідні параметри для розрахунків

№	Параметр	Одиниця виміру	Значення 1 режим	Значення 2 режим	Значення 3 режим
1	Швидкість повітря	м/с	0.25	0.5	0.75
2	Вхідна температура	К	318	323	328
3	Конвекція повітря	Вт/м <sup>2</sup> К	25	25	25

Розрахунок базується на моделюванні руху теплових мас по салону автобуса на базі спрощеної просторової Solid-моделі внутрішнього простору салону міського автобуса, що розбивається на кінцеві елементи в середовищі Ansys Fluent з подальшою візуалізацією руху повітряних мас по салону автобуса. В якості обладнання для МКЕ-аналізу виступала наступна конфігурація: 2 Intel Xeon фізичні процесори (24 ядра загалом), RAM 48 Gb, NVIDIA GeForce 4Gb video. Час розрахунку на кожену модель склав порядку 1.5-2 години.

#### Результати розрахунків компоновки з розташуванням двигуна спереду

Якщо подивитись на рис. 2а, 2б та 2в, 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°С, 27°С 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°С, 16-20°С та 19-23°С відповідно. Якщо проаналізувати рух повітряних мас в місці найбільшого скупчення людей (накопичувальна площадка), то можна побачити на рис. 1б та 1в, 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°С, 16-20°С та 19-23°С. Як видно найбільше обігрівується зона на рівні підлоги в кабіні водія, адже там в нас відбувається вихід повітряних мас із вентилятора. Температура становить, як вище було сказано, залежно від режиму роботи вентилятора 25-30°С.

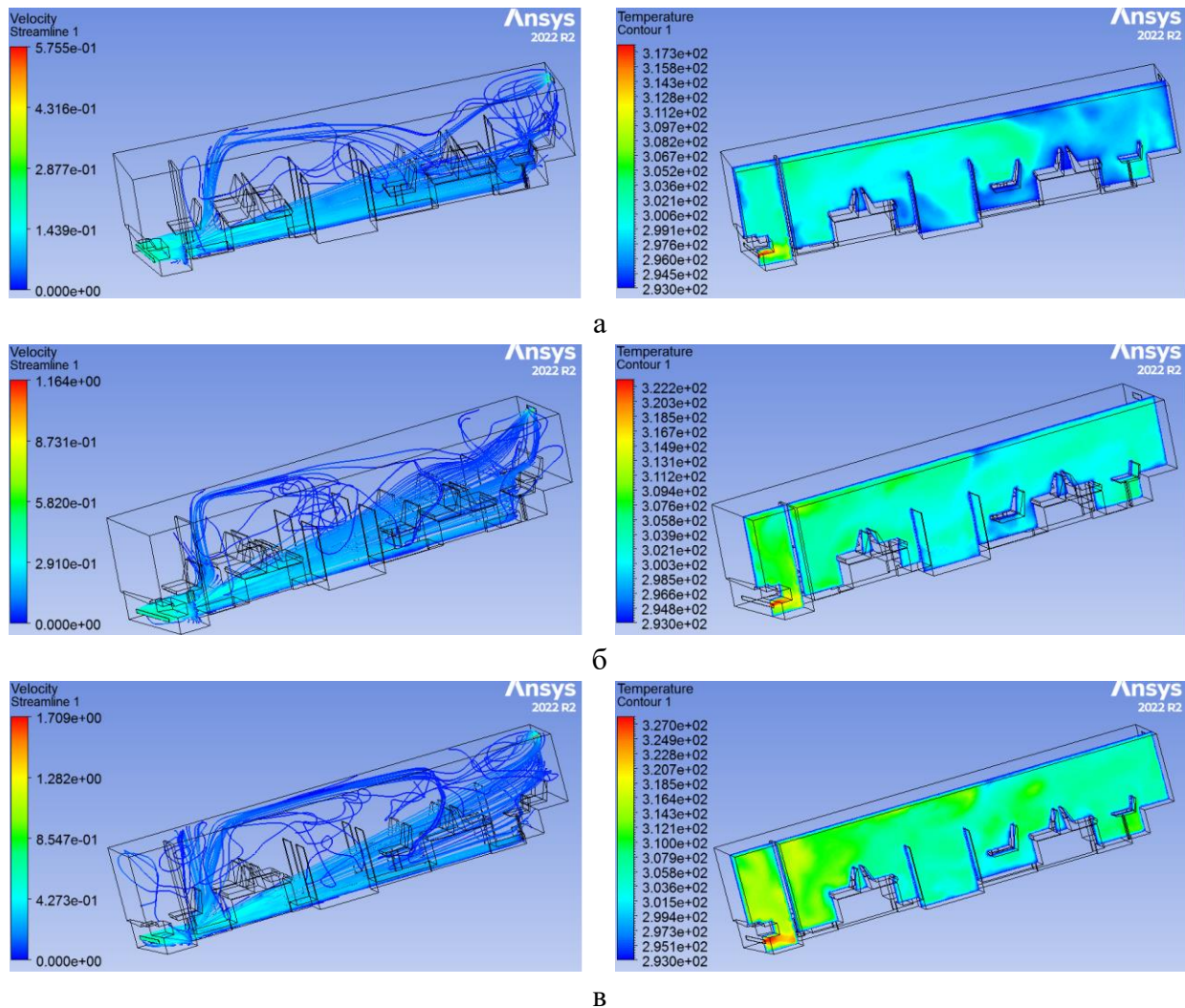


Рис. 2 - Розподіл швидкостей повітря та температур по салону автобуса з розташуванням двигуна спереду: а – 1-й режим роботи вентилятора; б – 2-й режим роботи вентилятора; в – 3-й режим роботи вентилятора

#### Аналіз результатів розрахунків при розташуванні двигуна посередині вертикально

На рис. 3а, 3б та 3в, 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. Розглянувши рис. 3а та 3б, ми бачимо, що 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 кабінку водія знаходиться на рівні 18<sup>0</sup>С, 20<sup>0</sup>С та 23<sup>0</sup>С 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<sup>0</sup>С, 27-29<sup>0</sup>С та 30-32<sup>0</sup>С, що є доволі нагрітим місцем в салоні автобуса.



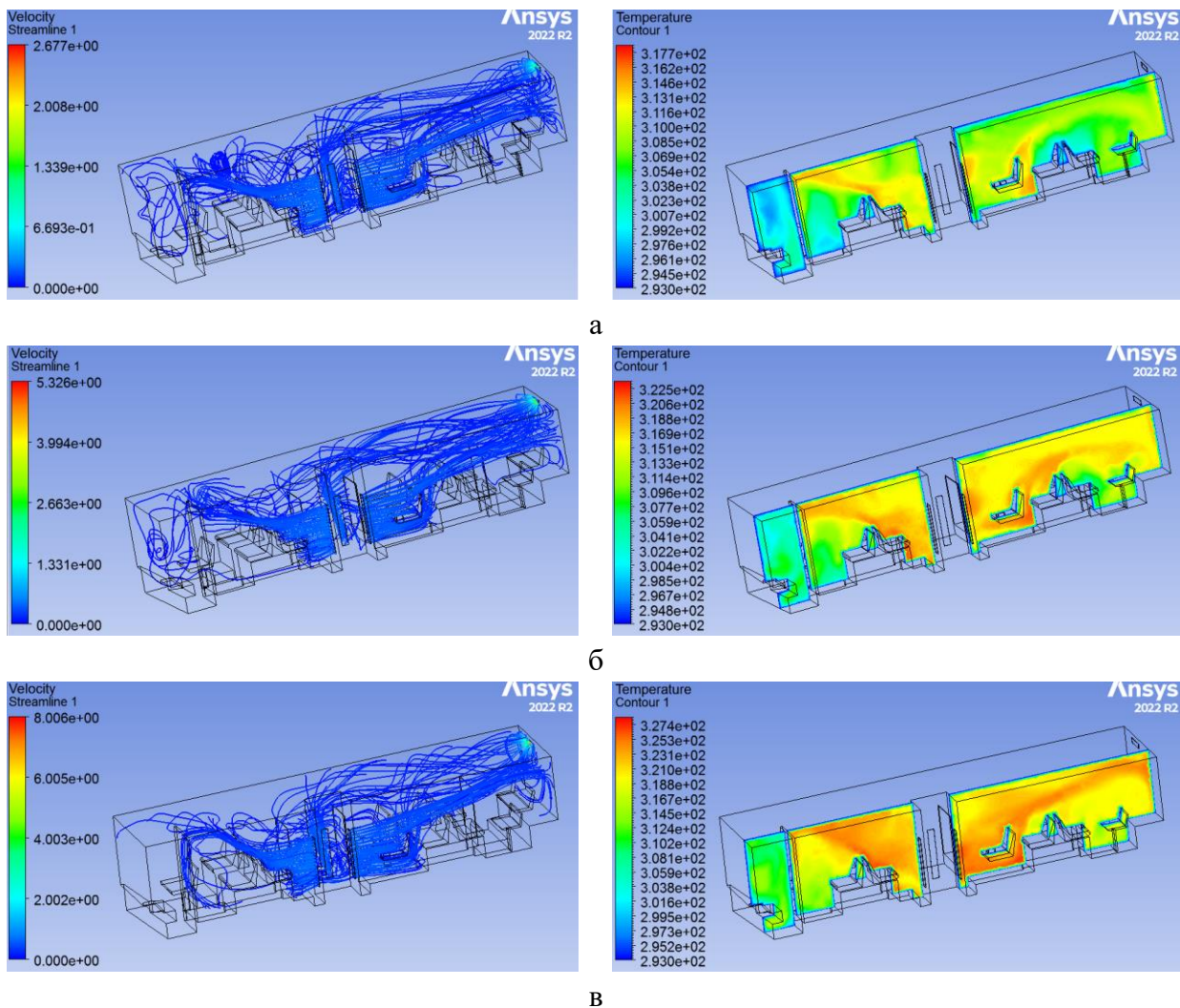


Рис. 3 - Розподіл швидкостей повітря та температур по салону автобуса з розташуванням двигуна посередині вертикально: а – при першому режимі роботи вентилятора; б – при другому режимі роботи вентилятора; в – при третьому режимі роботи вентилятора

#### Аналіз результатів розрахунків при розташуванні двигуна посередині горизонтально

Тепер розглянемо випадок при наявності двох додаткових вентиляторів, що розташовані по суті на підлозі, адже в даному випадку незначне підвищення рівня підлоги на території накопичувальної площадки слугує і мотовідсіком для опозитного двигуна, розташованого в базі. Як бачимо, інтенсивний розподіл повітря по салону відбувається в 1-му випадку (рис. 4а). 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 стелі (рис. 3б, 3в). Швидкість повітря на рівні підлоги та рівні голови сидячого пасажиря є менша, ніж в першому випадку (в окремих локаціях становить 0,05 м/с). В задній частині (рис. 3б) рівень швидкостей повітря становить близький до 0 м/с. Дивлячись на температурні карти салону автобуса, видно, що в третьому випадку обігрів салону відбувається найкраще - рівень температур сягає 19-21<sup>0</sup>С. Найгірше обігрів салону проходить для першого режиму роботи вентиляторів. Рівень температур по салону, не враховуючи місця виходу, становить 14-16<sup>0</sup>С.

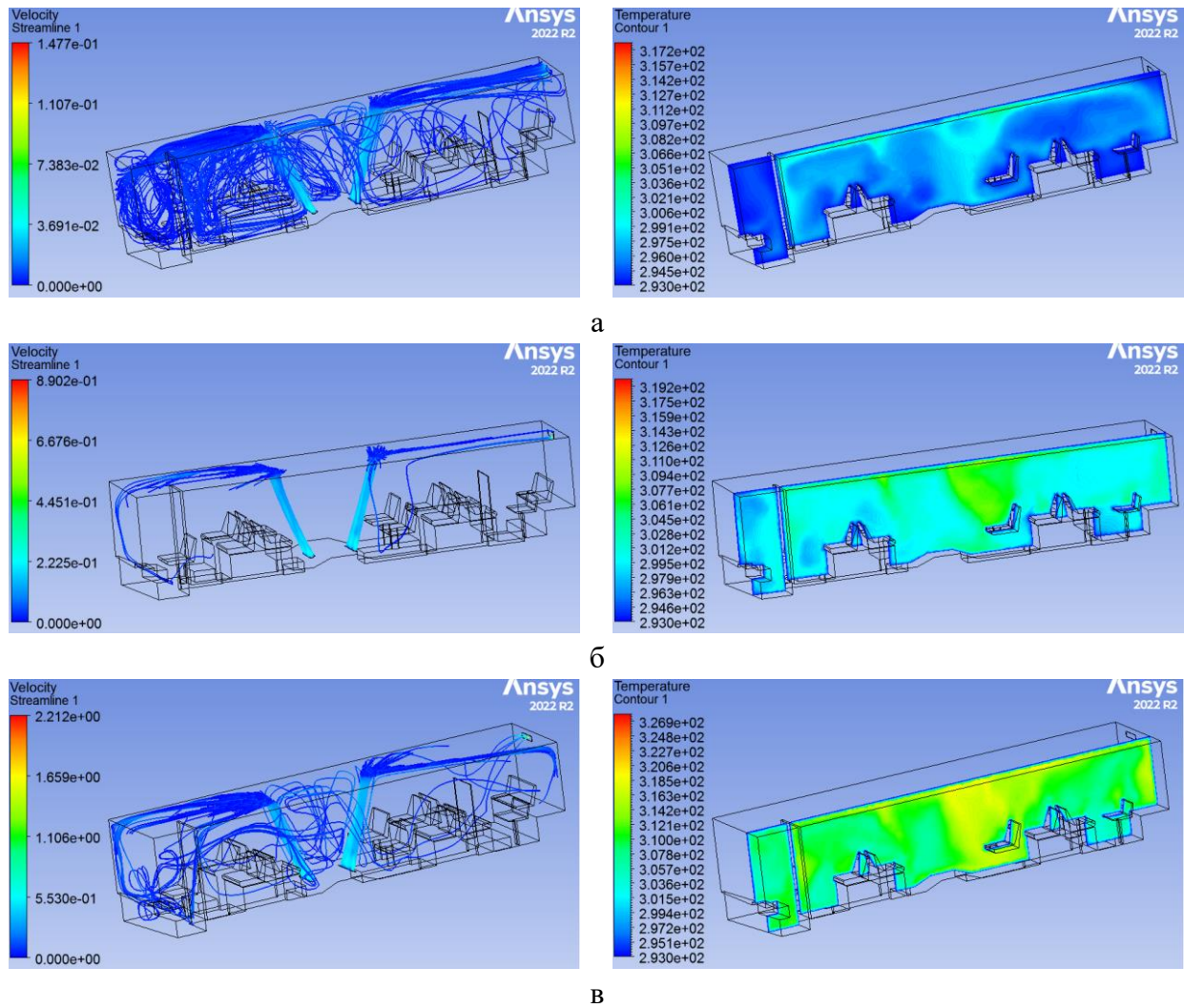


Рис. 4 - Розподіл швидкостей повітря та температур по салону автобуса з розташуванням двигуна посередині горизонтально: а – 1-й режим роботи вентилятора; б – 2-й режим роботи вентилятора; в – 3-й режим роботи вентилятора

Аналіз результатів розрахунків при розташуванні двигуна вертикально у задньому звісі

В даному випадку маємо компоновку салону найбільш вживаного міського низькопідлогового автобуса у більшості країн ЄС. Повітряний потік із додаткового вентилятора розсіюється на рівні вище голови стоячого пасажира. В 1-му (рис. 5а) та 2-му випадку (рис. 5б) циркуляція повітря в кабіні водія є інтенсивною зі швидкостями 0.18, 0.35 м/с відповідно. При 3-му режимі роботи вентилятора повітряні маси потрапляють в кабіну водія в меншій кількості, але зі швидкістю повітря 0.45 м/с (рис. 5в). Рівень швидкостей повітря на рівні накопичувальної площадки становить приблизно 0.15, 0.3 та 0.4 м/с відповідно. Згідно з температурних карт у всіх трьох випадках найбільш гаряче повітря помічено в задній частині автобуса (19, 21 та 24<sup>0</sup>С відповідно). В даному випадку кабіна водія є менш обігрітою, ніж салон. Температура коливається в межах 18-19<sup>0</sup>С, 20-21<sup>0</sup>С та 23-24<sup>0</sup>С відповідно.



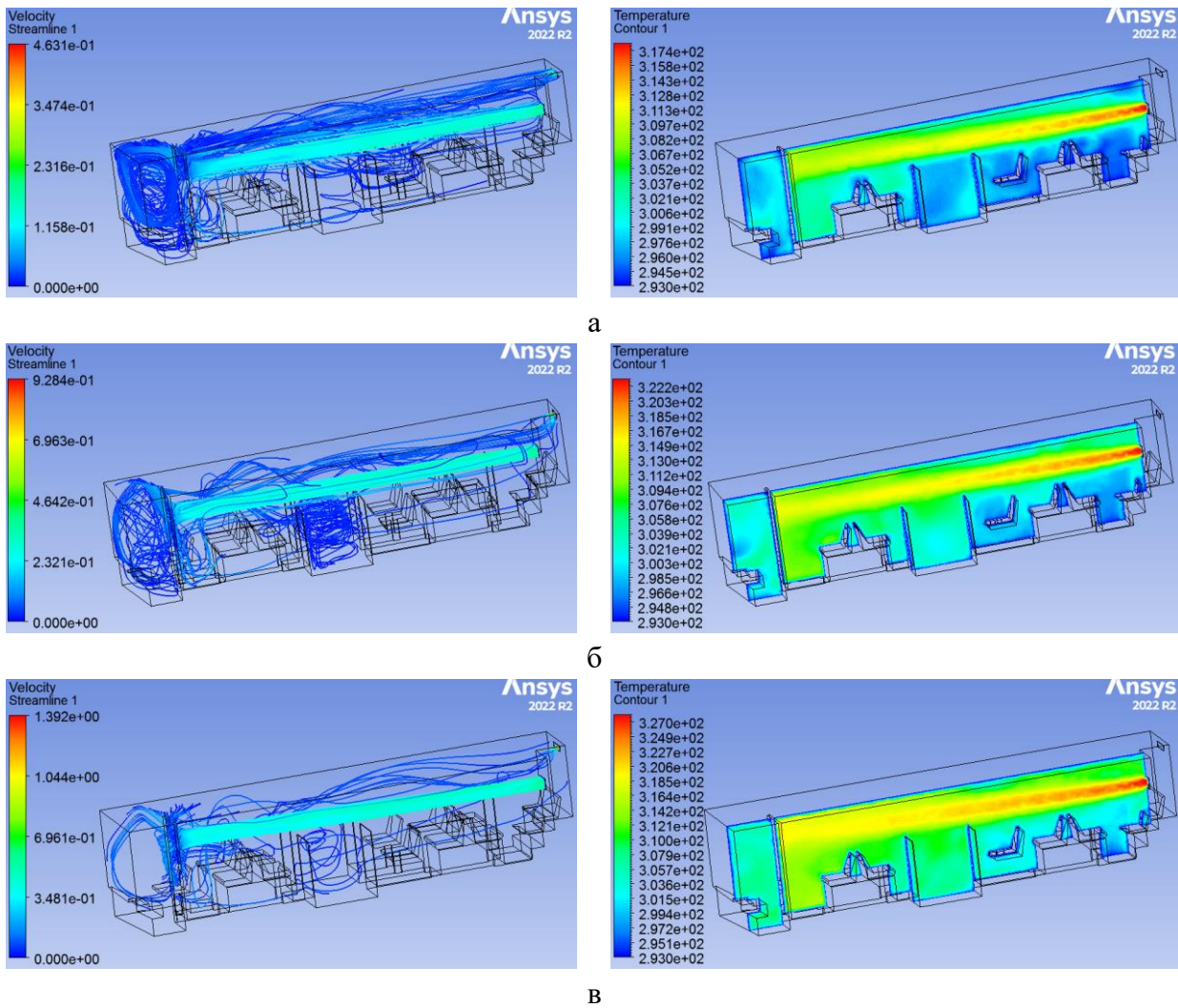


Рис. 5 - Розподіл швидкостей повітря та температур по салону автобуса з розташуванням двигуна ззаду вертикально: а – 1-й режим роботи вентилятора; б – 2-й режим роботи вентилятора; в – 3-й режим роботи вентилятора

#### Аналіз результатів розрахунків при розташуванні двигуна горизонтально у задньому звісі

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 кабінку водія повітряні потоки потрапляють 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<sup>0</sup>С, 28<sup>0</sup>С та 31<sup>0</sup>С відповідно. Рівень температур у середній частині салону становить 20<sup>0</sup>С, 22<sup>0</sup>С та 25<sup>0</sup>С. Кабіна водія є менш обігрітою - рівень температур сягає 18<sup>0</sup>С, 20<sup>0</sup>С та 23<sup>0</sup>С. Всі отримані результати зведено таблицях (табл. 2 та 3).



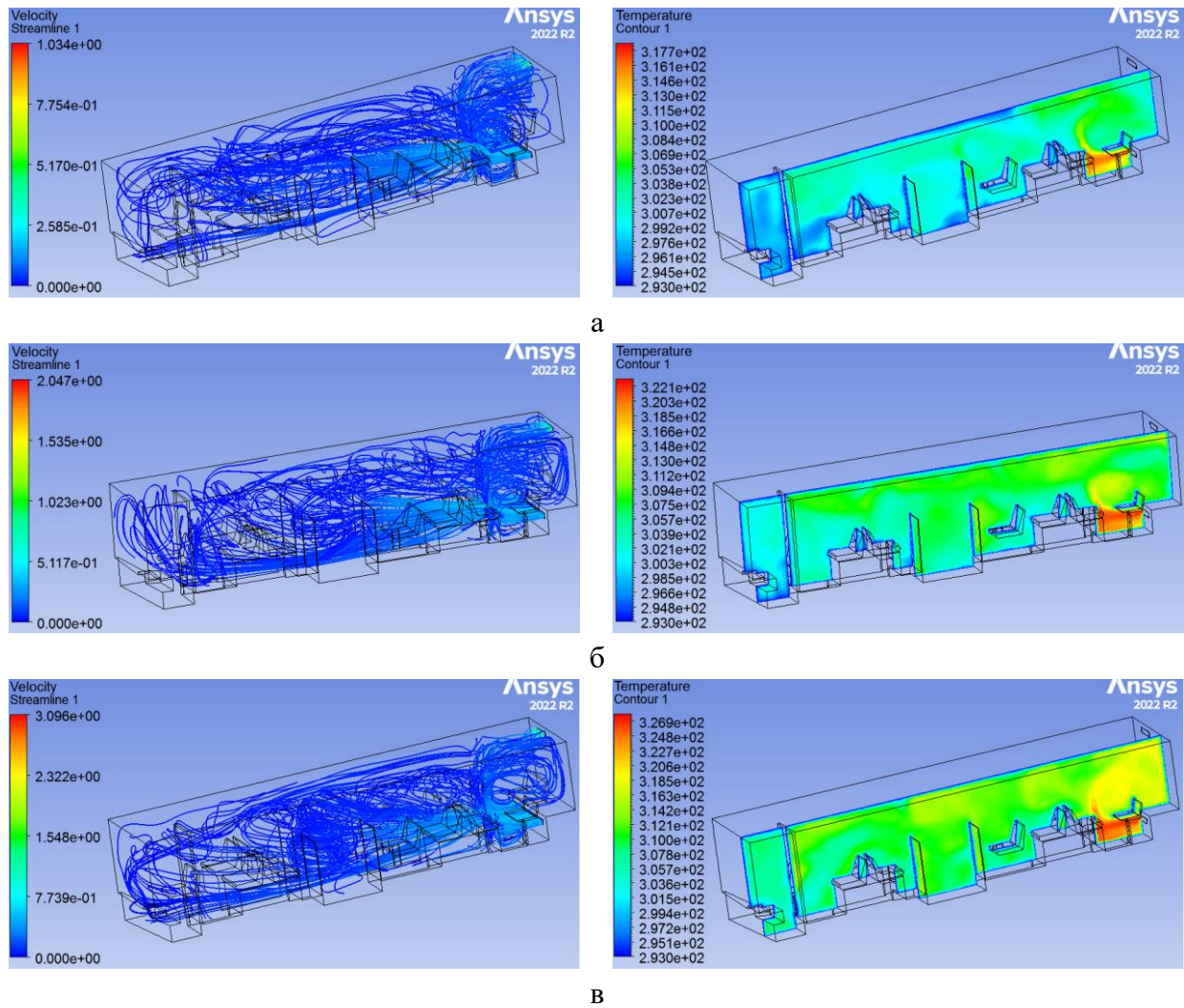


Рис. 6 - Розподіл швидкостей повітря та температур по салону автобуса з розташуванням двигуна у задньому звісі горизонтально: а – 1-й режим роботи вентилятора; б – 2-й режим роботи вентилятора; в – 3-й режим роботи вентилятора

Таблиця 2 – Значення температур (°C) в різних ділянках салонів автобусів

№	Розміщення двигуна	Рівень салону	Кабіна водія			Накоп. площадка			Задня площадка		
			I	II	III	I	II	III	I	II	III
1.	А	Підлоги	25	27	30	18	20	23	18	20	23
2.		Поясу	19	21	24	18	20	23	14	16	19
3.		Голови	18	19	22	18	20	23	14	16	19
4.	Б	Підлоги	18	20	23	25	27	30	18	20	23
5.		Поясу	18	20	23	27	29	32	18	20	23
6.		Голови	18	20	23	27	29	32	20	22	25
7.	В	Підлоги	14	16	19	14	16	19	14	16	19
8.		Поясу	14	16	19	14	16	19	16	18	21
9.		Голови	14	16	19	18	20	23	16	18	21
10.	Г	Підлоги	18	20	23	19	21	24	16	18	21
11.		Поясу	18	20	23	20	22	25	16	18	21
12.		Голови	19	21	24	20	22	25	22	24	27
13.	Д	Підлоги	18	20	23	20	22	25	26	28	31
14.		Поясу	18	20	23	20	22	25	24	26	29
15.		Голови	18	20	23	20	22	25	21	23	26

Таблиця 3 - Швидкість повітря по салонах автобусів в залежності від розміщення двигуна, м/с

№	Розміщення двигуна	Рівень салону	Кабіна водія			Накоп. площадка			Задня площадка		
			I	II	III	I	II	III	I	II	III
1.	А	Підлоги	0.2	0.4	0.6	0.18	0.35	0.45	0.13	0.25	0.4
2.		Поясу	0.05	0.1	0.15	0.18	0.35	0.45	0.1	0.2	0.3
3.		Голови	0.02	0.05	0.06	0.05	0.1	0.15	0.05	0.1	0.15
4.	Б	Підлоги	0.2	0.4	0	0.22	0.4	0.6	0.22	0.4	0.6
5.		Поясу	0.22	0.5	0	0.22	0.4	0.6	0.22	0.4	0.6
6.		Голови	0.22	0.5	0	0.22	0.4	0.6	0.22	0.4	0.6
7.	В	Підлоги	0.2	0.4	0.6	0.22	0.05	0.6	0.2	0	0.2
8.		Поясу	0.2	0.4	0.6	0.22	0.05	0.6	0.2	0	0.2
9.		Голови	0.2	0.4	0.6	0.22	0.05	0.6	0.2	0	0.2
10.	Г	Підлоги	0.18	0.35	0.45	0.15	0.3	0.4	0.22	0.4	0.6
11.		Поясу	0.18	0.35	0.45	0.15	0.3	0.4	0.22	0.4	0.6
12.		Голови	0.18	0.35	0.45	0.15	0.3	0.4	0.22	0.4	0.6
13.	Д	Підлоги	0.17	0.3	0.4	0.18	0.35	0.45	0.22	0.4	0.6
14.		Поясу	0.17	0.3	0.4	0.18	0.35	0.45	0.22	0.4	0.6
15.		Голови	0.17	0.3	0.4	0.18	0.35	0.45	0.2	0.4	0.6

### Висновки.

1. Однією із важливих тематик в автомобільному науковому світі є дослідження мікроклімату салонів міських автобусів, адже комфортні умови пасажирських перевезень є основою їх комерційної складової з однієї сторони та запорукою безпеки руху (втома та реакції водія) – з іншої. Водночас показники комфорту є достатньо конкретними й продиктованими низкою Правил ЄЕК ООН, що визначають саме поняття сертифікації транспортних засобів.

2. Аналізуючи різні варіанти компоновок автобусів, можна сказати, що найбільш популярною характеризується схема з розташуванням двигуна вертикально у задньому звісі, що продиктовано наявністю широкої гама V-подібних двигунів та відносно доступним їх обслуговуванням. Додатковим аргументом слугує отримання 100% рівної площі підлоги з низьким рівнем (Low-floor).

3. За допомогою програмного забезпечення Ansys Fluent та напрацьованих досліджень по формуванню крайових умов було змодельовано рух повітряних мас для різних компоновок автобусів з відповідними детальними висновками та показниками. Результати розрахунків показали, що найбільш ефективною можна вважати компоновку з горизонтальним розміщенням двигуна у задньому звісі. В такому разі в нас циркуляція повітря проходить по всьому салону, враховуючи кабіну водія.

### Список літератури

1. Kravchenko, O., Hrabar, I., Gerlici, J., Chuiko, S., & Kravchenko, K. (2021). Forming Comfortable Microclimate in the Bus Compartment via Determining the Heat Loss. Communications - Scientific letters of the University of Zilina, 23(2), B150-157.
2. E. Tosun, M. Bilgili, G. Tuccar, A. Yasar, and K. Aydin, "Exergy analysis of an inter-city bus air-conditioning system," International Journal of Exergy, vol. 20, no. 4, pp. 445-464, Jan. 2016.
3. Danca, P., Bode, F., Nastase, I., & Meslem, A. (2017). On the Possibility of CFD Modeling of the Indoor Environment in a Vehicle. Energy Procedia, 112, 656-663.
4. DIZO, J. Evaluation of ride comfort for passengers by means of computer simulation. Manufacturing Technology [online]. 2015, 15(1), p. 8-14. ISSN 1213-2489.
5. Shangmai Chen, Wei Yang, Haimei Wu, Rongbin Deng, Tao Li, Yang Guo & Zunlong Jin (2022) Experimental study on the heating performance of transcritical CO<sub>2</sub> heat pump for electric buses, Science and Technology for the Built Environment, DOI: 10.1080/23744731.2022.2133855

6. Vehviläinen, M.; Lavikka, R.; Rantala, S.; Paakkinen, M.; Laurila, J.; Vainio, T. Setting Up and Operating Electric City Buses in Harsh Winter Conditions. *Appl. Sci.* **2022**, *12*, 2762.
7. Niemyi, S.. (2020). FEATURES OF CALCULATION OF THE TEMPERATURE STATE OF THE BUS SALON. *Bulletin of Lviv State University of Life Safety*. 22. 78-84. 10.32447/20784643.22.2020.10.
8. Pimenta, A. M., & Assunção, A. A. (2015). Thermal discomfort and hypertension in bus drivers and chargers in the metropolitan region of Belo Horizonte, Brazil. *Applied ergonomics*, *47*, 236-241.
9. Walgama, C., Fackrell, S., Karimi, M., Fartaj, A., & Rankin, G. (2006). Passenger Thermal Comfort in Vehicles - A Review. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, *220*(5), 543-562.
10. Regulation No 107 of the Economic Commission for Europe of the United Nations (UNECE) — Uniform provisions concerning the approval of category M2 or M3 vehicles with regard to their general construction [2018/237].

#### References (transliterated)

1. Kravchenko, O., Hrabar, I., Gerlici, J., Chuiko, S., & Kravchenko, K. (2021). Forming Comfortable Microclimate in the Bus Compartment via Determining the Heat Loss. *Communications - Scientific letters of the University of Zilina*, *23*(2), B150-157.
2. E. Tosun, M. Bilgili, G. Tuccar, A. Yasar, and K. Aydin, "Exergy analysis of an inter-city bus air-conditioning system," *International Journal of Exergy*, vol. 20, no. 4, pp. 445–464, Jan. 2016.
3. Danca, P., Bode, F., Nastase, I., & Meslem, A. (2017). On the Possibility of CFD Modeling of the Indoor Environment in a Vehicle. *Energy Procedia*, *112*, 656-663.
4. DIZO, J. Evaluation of ride comfort for passengers by means of computer simulation. *Manufacturing Technology [online]*. 2015, 15(1), p. 8-14. ISSN 1213-2489.
5. Shangmai Chen, Wei Yang, Haimei Wu, Rongbin Deng, Tao Li, Yang Guo & Zunlong Jin (2022) Experimental study on the heating performance of transcritical CO<sub>2</sub> heat pump for electric buses, *Science and Technology for the Built Environment*, DOI: 10.1080/23744731.2022.2133855
6. Vehviläinen, M.; Lavikka, R.; Rantala, S.; Paakkinen, M.; Laurila, J.; Vainio, T. Setting Up and Operating Electric City Buses in Harsh Winter Conditions. *Appl. Sci.* **2022**, *12*, 2762.
7. Niemyi, S.. (2020). FEATURES OF CALCULATION OF THE TEMPERATURE STATE OF THE BUS SALON. *Bulletin of Lviv State University of Life Safety*. 22. 78-84. 10.32447/20784643.22.2020.10.
8. Pimenta, A. M., & Assunção, A. A. (2015). Thermal discomfort and hypertension in bus drivers and chargers in the metropolitan region of Belo Horizonte, Brazil. *Applied ergonomics*, *47*, 236-241.
9. Walgama, C., Fackrell, S., Karimi, M., Fartaj, A., & Rankin, G. (2006). Passenger Thermal Comfort in Vehicles - A Review. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, *220*(5), 543-562.
10. Regulation No 107 of the Economic Commission for Europe of the United Nations (UNECE) — Uniform provisions concerning the approval of category M2 or M3 vehicles with regard to their general construction [2018/237]

*Надійшла (received) 13.12.2022 р.*

#### *Відомості про авторів / About the Authors*

**Голенко Костянтин Едуардович (Holenko Kostyantyn)** – кандидат технічних наук, викладач кафедри трибології, автомобілів та матеріалознавства, Хмельницького національного університету, м. Хмельницький, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6140-4573>; e-mail: [kgolenko@gmail.com](mailto:kgolenko@gmail.com).

**Войчишин Юрій Іванович (Voichyshyn Yurii)** – аспірант, Національний університет «Львівська політехніка», аспірант кафедри проектування машин та автомобільного інжинірингу, м. Львів, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7004-0567>; e-mail: [Yurii.I.Voichyshyn@lpnu.ua](mailto:Yurii.I.Voichyshyn@lpnu.ua)

**Яковенко Євгенія Ігорівна (Yakovenko Yevheniia)** – кандидат технічних наук, Національний університет «Львівська політехніка», доцент кафедри електронних засобів інформаційно-комп'ютерних технологій, м. Львів, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9065-5649>; e-mail: [yevheniia.i.yakovenko@lpnu.ua](mailto:yevheniia.i.yakovenko@lpnu.ua)

**Горбай Орест Зенонович (Horbay Orest)** – доктор технічних наук, професор, Національний університет «Львівська політехніка», професор кафедри проектування машин та автомобільного інжинірингу, м. Львів, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0915-5637>; e-mail: [orest\\_60@yahoo.ca](mailto:orest_60@yahoo.ca)

**Рудик Олександр Юхимович (Rudyk Oleksandr)**, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри трибології, автомобілів та матеріалознавства, Хмельницького національного університету, м. Хмельницький, Україна, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6937-1366>; e-mail: [yuhymovych@gmail.com](mailto:yuhymovych@gmail.com)