

Ю. І. Войчишин¹
К. Е. Голенко²
О. З. Горбай¹
А. П. Поляков³
О. Ю. Рудик²
Ю.В. Гай¹

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ МІКРОКЛІМАТУ В САЛОНІ АВТОБУСА В ХОЛОДНУ ПОРУ РОКУ

¹Національний університет «Львівська політехніка»

²Хмельницький національний університет

³Вінницький національний технічний університет

У роботі проведено аналіз сучасного стану досліджень параметрів мікроклімату в салонах автобусів та визначено основні напрями проблематики наведеної теми. Проаналізовано та роз'яснено важливість забезпечення сприятливого мікроклімату в салонах транспортних засобів, оцінено ризики їхнього недотримання. Актуальність теми підтверджується наявними науковими роботами вчених, які працюють в цій галузі та досліджують подібні питання. Окрім наукових публікацій проведено аналіз нормативної документації у світі та Україні. Теоретичні знання доповнено експериментальними дослідженнями – показано технічні характеристики досліджуваного автобуса та представлено суть експерименту. Експериментальні дослідження проводилися в салоні автобуса українського виробництва Електрон А18501. Було виміряно за допомогою спеціальної апаратури такі параметри мікроклімату: температура, вологість, кількість повітря по всьому пасажирському салону в холодну пору року. Вимірювання проводилися у передній, середній та задній частині салону автобуса. Всього було визначено 4 умовні зони вимірювань: зона 1 (між стінкою кабіни водія та накопичувальним майданчиком), зона 2 (в районі накопичувального майданчика), зона 3 (між накопичувальним майданчиком та задніми дверима) та зона 4 (в районі задніх дверей та мотовідсіку), де в конкретних точках визначалися температура та вологість повітря. Також у певних локаціях робилися заміри кількості повітря, що надходить від опалювального обладнання (дифузори). Аналізуючи нормативні документи, зокрема ті, що використовуються в нашій країні, було встановлено, що температуру повітря та вологість потрібно вимірювати на рівні ніг та голови пасажирів. На рівні поясу в пасажирському салоні вимірювання не проводилися, оскільки заміри робити немає потреби, хіба що у разі, коли автобус буде експлуатуватися в дуже холодних або дуже спекотних умовах. Оскільки в Україні клімат є помірний, то такі додаткові заміри проводити не потрібно. Під час вимірювань автобус здійснював рух по маршруту Рясне 1–Левандівка–Скнилів у Львові. Цей маршрут повністю відповідає міському циклу їзди автобуса, а також за своєю протяжністю – середньостатистичному маршруту міського автобуса. Внаслідок експерименту було визначено, що в салоні наявні специфічні точки, де показники параметрів мікроклімату не відповідають нормативним. Ці визначені недоліки потребують подальших досліджень задля покращення комфортності мікрокліматичних умов у салоні автобуса.

Ключові слова: мікроклімат, система опалення, температура повітря, вологість повітря, кількість повітря, опалювач, конвектор, накопичувальний майданчик, мотовідсік.

Вступ

Сьогодні неможливо собі уявити транспортний засіб без системи клімат-контролю. Адже кожен водій чи пасажир хоче мати комфортні умови в салоні транспортного засобу, де він перебуває чи яким керує. Під час розробки нових моделей інженери та науковці проробляють різні варіанти тих чи інших ідей задля покращення комфортних умов у салоні транспортного засобу. Під час розробки нового продукту переважно проводять теоретичні розрахунки та за допомогою комп'ютерного моделювання визначають, як потрібно краще розташувати опалювачі в салоні КТЗ. Ці методи є по суті суто теоретичними, а готовий продукт може все одно мати якісь проблеми під час експлуатації, тим більше з системою опалення. Дуже важко створити таку систему ідеальною, оскільки автобус, який їздить на маршруті, перевозить різну кількість пасажирів. Саме тому важко встановити, скільки потрібно в тому чи іншому місці подавати теплого повітря. Навіть у порожньому салоні при вимірюваннях можуть виникати проблеми та невідповідності. Отже, основною задачею сучасних інженерів-конструкторів та науковців є якомога краще удосконалити систему забезпечення мікроклімату, щоб пасажир, який буде

їхати в салоні автобуса, та водій, який ним кермуватиме, не відчували дискомфорту. З іншого погляду транспортний засіб, що може забезпечити комфортні умови перевезення, матиме економічну вигоду, адже пасажир обиратиме, яким ТЗ йому краще добиратися з точки А в точку Б. Якщо, для прикладу, пасажир буде мати можливість проїхатися двома автобусами, один з яких буде щодо мікроклімату комфортніший, то, звісно, він вибере той автобус, де йому буде комфортніше, а перевізник, який експлуатує цей автобус, матиме економічну вигоду.

У роботі [1] було проведено експериментальне дослідження для визначення правильності встановлення системи кондиціонування на прототипі автобуса. Було виміряно внутрішню та зовнішню температуру, температуру на вході та на виході випарника і значення відносної вологості. Значення відчуття тепла розраховували згідно з ASHRAE.

Точна оцінка сприйняття теплоти пасажирами є необхідною передумовою для підвищення комфорту перевезень. Отже, у [2] проводять опитування щодо оцінки уявного комфорту з використанням двох об'єктивних факторів, коефіцієнта завантаженості пасажирами та часу перебування в салоні. Результати цих досліджень можуть допомогти перевізникам та органам влади розробити більш привабливі заходи для підвищення рівня комфортності автобусних перевезень. Комфорт під час перевезення пасажирів є важливим показником, що показує нам якість послуг, які надає перевізник, а також він є вирішальним фактором при виборі пасажирами режиму та стилю руху [3, 4]. Сьогодні затори поширені скрізь – як у мегаполісах, так і в містах з великою кількістю населення. Отже, підвищенню комфорту перевезень громадського транспорту задля залучення більшої кількості пасажирів і подальшого зменшення заторів на дорогах приділяється велика увага перевізників та органів влади [5]. У [6] вказано, що сприйнята цінність, яка визначається якістю обслуговування, позитивно впливає на загальний рівень задоволення та поведінку. Комфорт є одним із ключових факторів високої якості обслуговування та суттєво впливає на задоволеність пасажирами громадським транспортом [7, 8].

Дослідження комфортності перевезень автобусами можна розподілити на дві категорії: перша охоплює дослідження продуктивності транспортного засобу та його стану, оскільки ці поняття впливають на комфорт пасажирів (наприклад, вібрації [9], прискорення, величина прискорення [10] та шум КТЗ [5]); друга – середовище експлуатації автобуса.

Наприклад, у [11] проводили опитування і показали, що коли пасажир має менше ніж 40 % імовірності отримати вільне місце під час поїздки, він чи вона відчуває себе некомфортно. У [12] оцінили сприйняття комфорту перевезень пасажирами провінційного автобуса за трьома умовами подорожі – сидячи, зручно стоячи та стоячи в натовпі. Виявилося, що відчуття комфорту суттєво впливає на загальну кількість пасажирів. Натовп впливає не тільки на фізичний комфорт, але й психологічно, створюючи тривогу, стрес та відчуття вторгнення в особистий простір. Фактично виявлено, що різний рівень скупченості між конкурентними маршрутами та незбалансоване навантаження транспортних засобів впливають на вибір пасажирами маршруту та транспортного засобу [13, 14]. У [15] вивчали вплив пасажирського завантаження на вибір режиму поїздки, розглядаючи лише два рівні переповненості автобусів: переповнений та непереповнений. У [16] сказано, що коли автобус «пропонує» комфортне середовище для поїздки, очікуваний час у дорозі для пасажирів є умовно менший, ніж фактичний час у дорозі. Однак автор не досліджував, чи впливає фактичний час у дорозі пасажирів на сприйняття комфорту.

Велика кількість літератури про комфортність перевезень значною мірою зосереджена на впливі пасажирського навантаження на рівень комфорту, тобто дослідницька увага присвячена часу перебування в ТЗ, хоча є й інші фактори, що впливають на комфортність перевезень [7, 17]. Судження пасажирів про певні атрибути обслуговування можна вважати суб'єктивним показником якості обслуговування, водночас показники ефективності, що залежать від перевізників, можуть бути об'єктивними показниками якості обслуговування [4]. У [18] запропонували додатково використовувати об'єктивні показники. Перевізники та органи влади повинні проводити опитування щодо сприйняття, для того, щоб отримати інформацію про суб'єктивну оцінку пасажирами послуг перевезення.

Метою роботи є проведення практичних експериментальних досліджень задля подальшого покращення конструкції системи опалення автобуса та її ефективності.

Опис експерименту

У цій роботі проводились експериментальні дослідження в салоні міського низькопідлогового 12-ти метрового автобуса вітчизняного виробництва Електрон А18501 (рис. 1), який можна побачити на вулицях міст Львова та Ужгорода. Деякі технічні характеристики автобуса наведені в таблиці 1.



Рис. 1. Автобус Електрон А 18501

Таблиця 1

Деякі основні параметри автобуса Електрон А18501

Характеристика	Значення
Пасажиромісткість	
- кількість місць для сидіння, шт.	30
- загальна пасажиромісткість, шт.	102
Порожня маса автобуса у спорядженому стані, кг	11 160
Технічно-допустима максимальна маса автобуса, кг	18 100
Габаритні розміри:	
- довжина (по кузову), мм	12 100
- ширина (за габаритами кузова), мм	2 500
- висота, мм	2 990
- колісна база, мм	5 880

Салон автобуса було умовно поділено на 4 зони (рис. 2):

зона I – між стінкою кабіни водія та накопичувальним майданчиком;

зона II – в районі накопичувального майданчика;

зона III – між накопичувальним майданчиком та задніми дверима;

зона IV – в районі задніх дверей.

Вимірювальні прилади розміщувалися в точках, рекомендованих нормативними документами [19, 20] (рис. 2). Нумерація точок проводилася відносно номера вимірювального датчика, тобто 1–4 – це датчики температури та вологості, а 5 – це датчик, що вимірює кількість повітря.

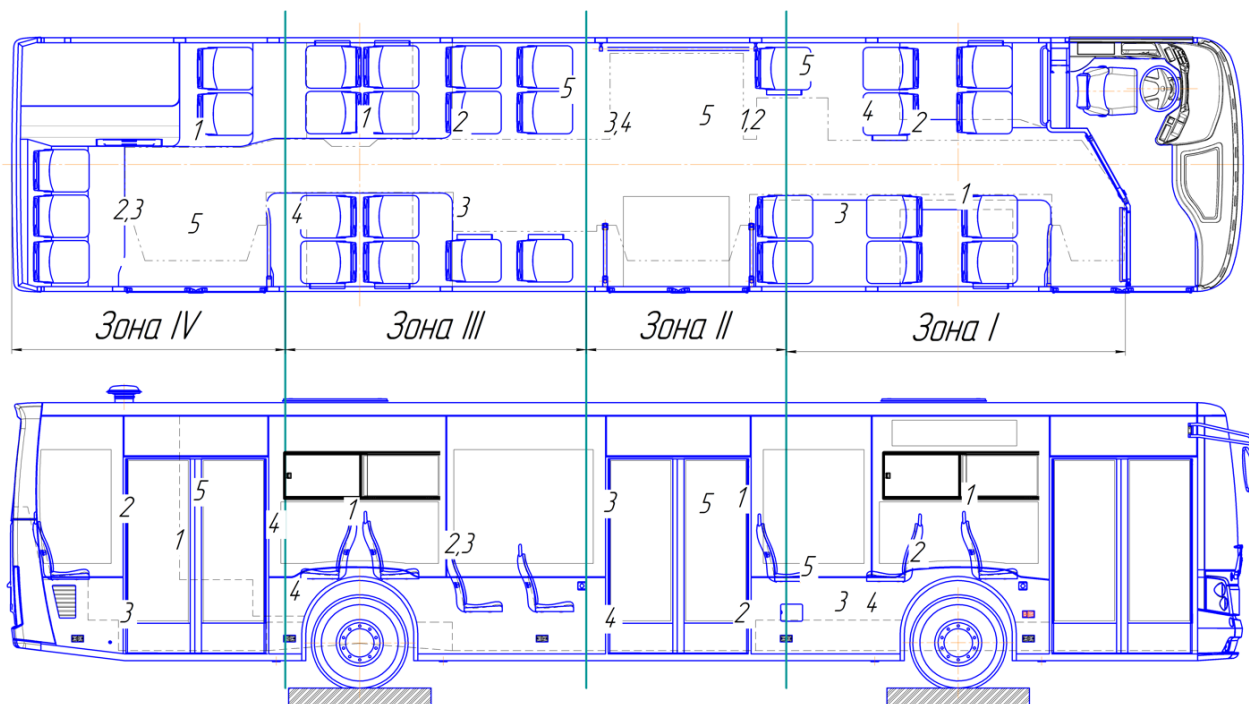


Рис. 2. Зони салону автобуса та схема розташування вимірювальної апаратури

Опишемо більш детально розташування вимірювальної апаратури по зонах салону автобуса (рис. 2).

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

У зоні II вимірювальна апаратура здебільшого розміщувалася в районі накопичувального майданчика. Датчики температури і вологості були розміщені на рівні голови (1, 3) та ніг (2, 4). Датчик виміру кількості повітря (5) було розташовано посередині накопичувального майданчика на рівні голови. Вимірювалася кількість повітря, що надходить від конвектора, розташованого на боковій стінці кузова автобуса.

У 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).

У зоні IV вимірювання проводилися 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 місці відкривання дверей (5).

Температура та вологість повітря, на відміну від кабіни водія, вимірювалася в 2-х точках (на рівні голови та ніг пасажирів). У пасажирському салоні автобуса не потрібно вимірювати температурні показники в зоні поясу (хіба що, якщо автобус буде експлуатуватися в дуже холодному або дуже гарячому кліматі) [20].

Вимірювання показників мікроклімату проводилися в холодну пору року при зовнішній температурі $-2...+2^{\circ}\text{C}$ у прогрітому салоні. Рух автобуса відбувався в міських умовах по маршруту Рясне1–Левандівка–Скнилів у м. Львові. Цей маршрут відповідає міському циклу їзди автобуса.

Результати досліджень

На рисунку 3 показано температурні показники по зонах салону автобуса.

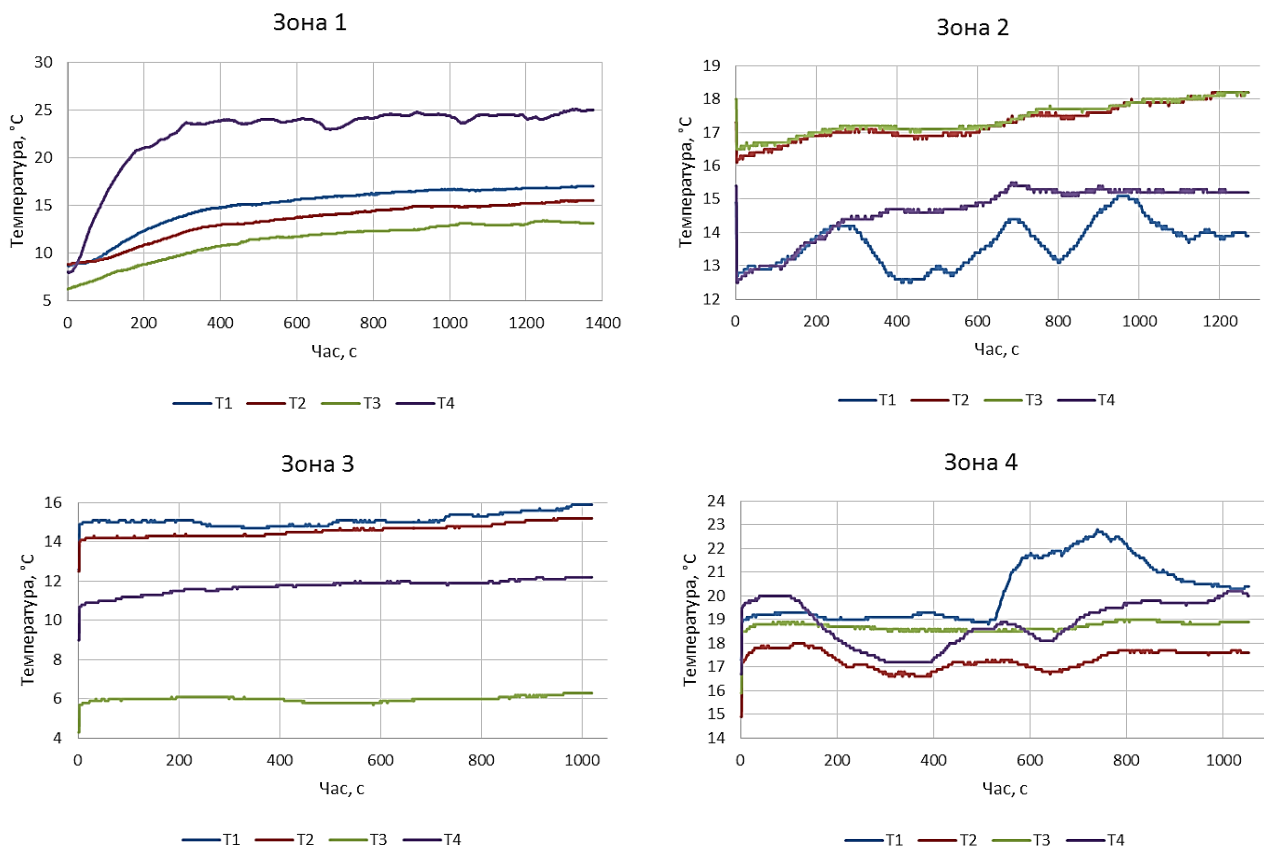


Рис. 3. Температурні показники по салону автобуса

У зоні I, як бачимо з рисунка 3, є деякі невідповідності нормативним значенням температури. В точках 1–3 маємо температуру нижчу за 18°C . В точці 4 в лівій частині зони салону, в місцях, де розташований опалювач, температура коливається в межах $23\text{--}25^{\circ}\text{C}$, що в принципі є верхньою межею нормативного значення, а в деяких випадках навіть перевищується його значення.

У зоні II температура в точках 2 та 3 відповідає нормативному значенню (17–18 °С), а в точках 1 та 4 маємо температури дещо нижчі за нормативні (12–15 °С). Це зумовлено тим, що накопичувальний майданчик розміщений в зоні дверей, тому може відбуватися надходження холодного повітря через нещільності в дверях.

У зоні III температурні значення в точках не відповідають нормативним (12–15 °С). Зона також розташована поблизу дверей, тому через їх нещільності може надходити холодне повітря. В точці 3 бачимо значення температури (6 °С), яке набагато нижче від нормованого значення.

У зоні IV у всіх точках температурні показники відповідають нормованим та коливаються в межах 18–22 °С. Це ще зумовлено тим, що в задній частині салону автобуса розташований мотовідсік [21, 22], від якого додатково тепло надходить у салон автобуса.

На рисунку 4 показано показники вологості по зонах салону автобуса.

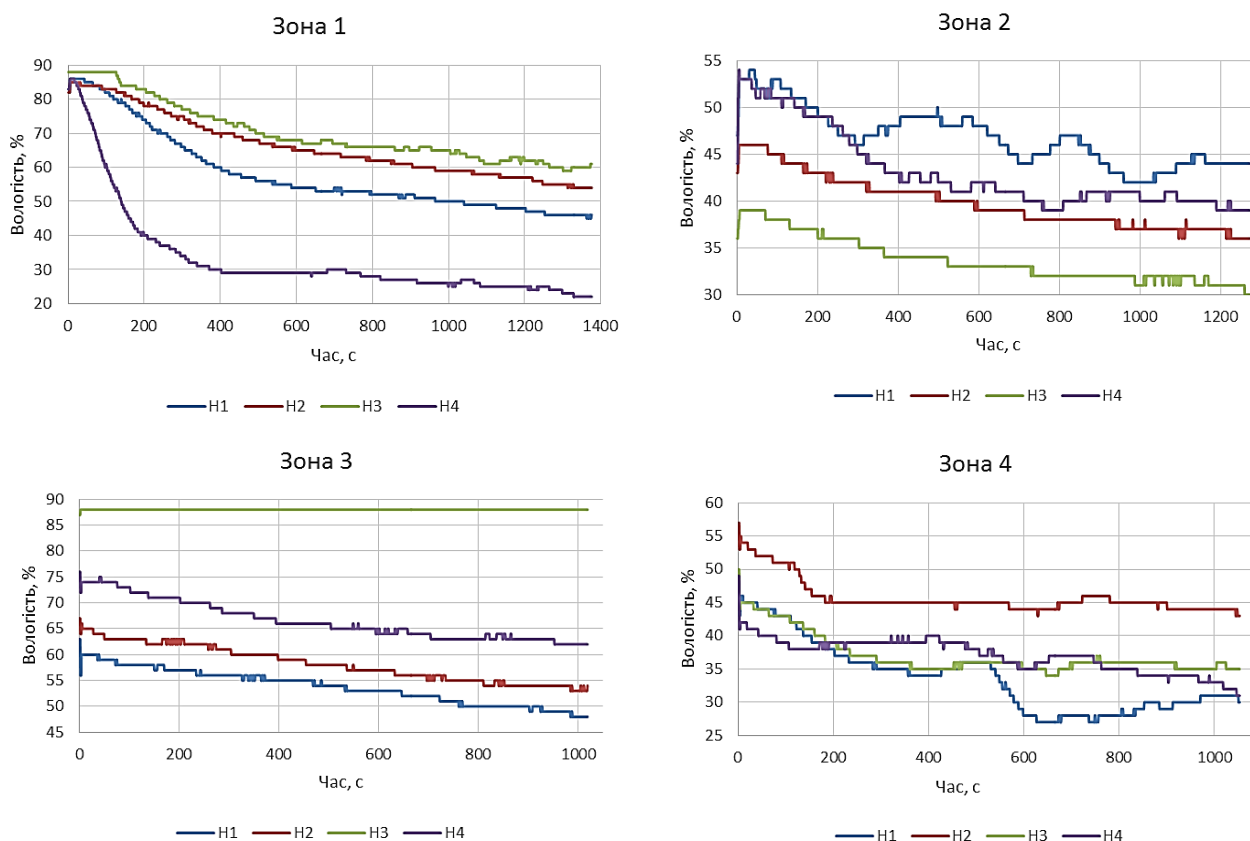


Рис. 4. Показники вологості повітря по салону автобуса

У зоні I в усіх точках, крім точки 4, після достатнього прогрівання салону значення вологості зберігається приблизно на рівні нормованого (50–65 %). В місці (точка 4), де поблизу розташовані опалювальні прилади, значення вологості становить менше нормованого (25–30 %).

У зоні II значення вологості приблизно відповідають нормованим (35–55 %), тільки в точці 3 рівень вологості є не набагато менший від нормативного. Це зумовлено тим, що конвектор системи опалення розташований внизу біля накопичувальної площадки.

У зоні III значення вологості відповідають нормативним тільки в точках 1 та 2 (55–60 %). У точках 3 та 4 вони є завищені.

У зоні IV спостерігається дотримання нормативних значень (40–50%), але в точці 1 (біля мотовідсіку двигуна) рівень вологості з часом падає нижче нормованого та становить (30 %).

На рисунку 5 показано показники кількості повітря в певних точках по зонах салону автобуса.

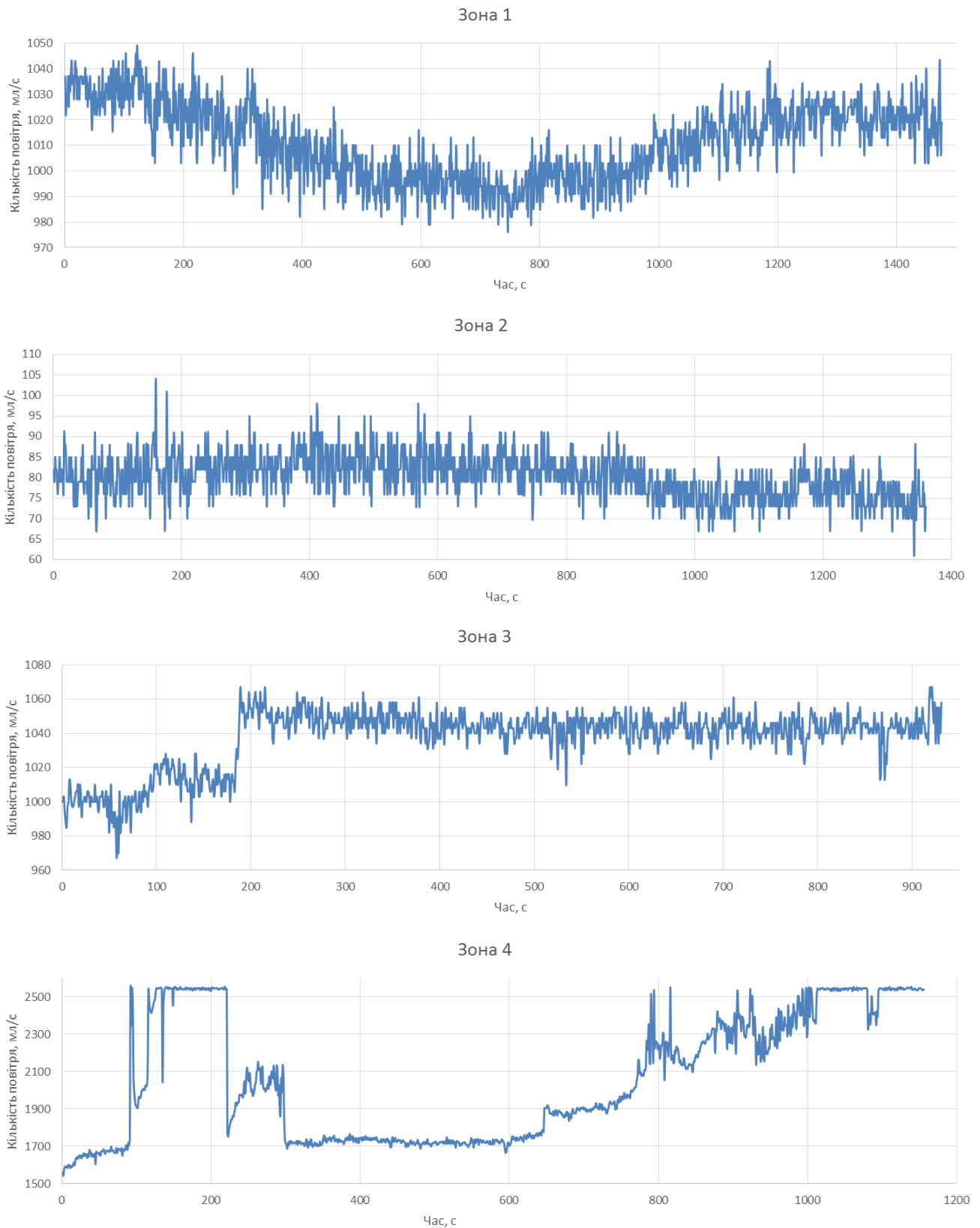


Рис. 5. Показники кількості повітря по салону автобуса

Аналізуючи результати вимірів кількості повітря, можна побачити, що в зоні II значення є набагато меншим (80–100 мл/с) ніж в інших зонах. Це зумовлено тим, що в районі накопичувального майданчика стоїть конвектор, який пологіше обігріває салон, тобто в цій ділянці немає інтенсивного видування повітря, як в опалювачах, де тепле повітря видуває вентилятор. У цьому разі повітря видувається від реєстра.

У зонах I та II значення коливається в межах (980–1060 мл/с). Результат є приблизно однаковий, оскільки датчики розміщувалися на однакових відстанях від опалювачів, які мають подібні технічні характеристики.

У зоні IV інтенсивність видудання повітря з опалювача є більшою, адже там розміщений більш потужний опалювач. Значення кількості повітря в цій зоні коливатиметься між 1500–2500 мл/с.

Висновки

Під час експериментальних досліджень було встановлено, що в салоні автобуса є точки, в яких показники мікроклімату не відповідають нормативним значенням. Саме тому наявна система опалення потребує подальших досліджень, як експериментальних, так і теоретичних.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Ünal Ş. An Experimental Study on a Bus Air Conditioner to Determine its Conformity to Design and Comfort Conditions. Yildiz Technical University Press, 2017. P. 1089–1101.
- [2] Shen X., Feng S., Li Z., Hu B. Analysis of bus passenger comfort perception based on passenger load factor and in vehicle time. *Shen et al. SpringerPlus*. 2016. Vol. 62, № 5. 10 p.
- [3] Dell'Olivo L., Angel I., Patricia C. The quality of service desired by public transport users. *Transp Policy*. 2011. № 18. P. 217–227.
- [4] Eboli L., Mazzulla G. A methodology for evaluating transit service quality based on subjective and objective measures from the passenger's point of view. *Transp Policy*. 2011. № 18. P. 172–181.
- [5] Zhang K., Zhou K., Zhang F. Evaluating bus transit performance of Chinese cities: developing an overall bus comfort model. *Transp. Res Part A*. 2014. № 69. P. 105–112.
- [6] Lai W., Chen C. Behavioral intentions of public transit passenger – the roles of service quality, perceived value, satisfaction and involvement. *Transp. Policy*. 2011. № 18. P. 318–325.
- [7] Eboli L., Mazzulla G. Service quality attributes affecting customer satisfaction for bus transit. *J Public Transp*. 2007. Vol. 3, № 10. P. 21–136.
- [8] Eboli L., Mazzulla G. A new customer satisfaction index for evaluating transit service quality. *J Public Transp*. 2009. Vol. 3, № 12. P. 21–37.
- [9] Analysis of vibration effects on the comfort of intercity bus users by oscillatory model with ten degrees of freedom / Sekulic D. et al. *Appl Math Model*. 2013. № 37. P. 8629–8644.
- [10] Castellanos J. C., Fruett F. Embedded system to at evaluate the passenger comfort in public transportation based on dynamical vehicle behavior with user's feedback. *Measurement*. 2014. № 47. P. 442–451.
- [11] Statistical analysis of transit user preferences including in-vehicle crowding and service reliability / P. Vovsha et al. *TRB 2014 annual meeting*. 2014. P. 78–97.
- [12] Kumar C., Basu D., Maitra B. Modeling generalized cost of travel for rural bus users: a case study. *J Public Transp*. 2004. № 7. P. 59–72.
- [13] Li Z., Hensher D. A. Crowding and public transport: a review of willingness to pay evidence and its relevance in project appraisal. *Transp. Policy*. 2011. № 18. P. 880–887.
- [14] Tirachini A., Hensher D. A., Rose J. M. Crowding in public transport systems: effects on users, operation and implications for the estimation of demand. *Transp Res Part A*. 2013. № 53. P. 36–52.
- [15] Eboli L., Mazzulla G. How to capture the passengers' point of view on a transit service through rating and choice options. *Transp Rev*. 2010. Vol. 4, № 30. P. 435–450.
- [16] Litman T. Valuing transit service quality improvements. *J Public Transp*. 2008. № 11. P. 43–63.
- [17] Shek K., Chan W. T. Combined comfort model of thermal comfort and air quality on buses in Hong Kong. *Sci Total Environ*. 2008. № 389. P. 277–282.
- [18] Li Z., Hensher D. A. Crowding in public transport: a review of objective and subjective measures. *J Public Transp*. 2013. № 16. P. 107–134.
- [19] ДСТУ Б EN ISO 7730:2011 (EN ISO 7730:2005, IDT). Ергономіка теплового середовища. Аналітичне визначення та інтерпретація теплового комфорту на основі розрахунків показників PMV і PPD і критеріїв локального теплового комфорту. Київ: Мінрегіон України, 2011. 74 с.
- [20] ГОСТ Р 50993-96. Автотранспортные средства. Системы отопления, вентиляции и кондиционирования. Требования к эффективности и безопасности. Москва: ИПК издательство стандартов, 1997. 11 с.
- [21] Войчишин Ю., Голенко К., Бур'ян М., Горбай О. Дослідження температурного впливу на стінки кузова під час роботи двигуна міського автобуса із задньомоторною компоновкою» *Покращення конструктивних та експлуатаційних показників автомобілів і машин: Міжнародна конференція*. Київ, 2022. С. 126–128.
- [22] Voichyshyn Y., Holenko K., Roman D., Horbai O. Study of microclimate parameters in the bus driver's cabin in the warm season. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. Львів, 2023. 11 p.

Войчишин Юрій Іванович – аспірант кафедри проектування машин та автомобільного інжинірингу, e-mail: Yurii.I.Voichyshyn@lpnu.ua

Горбай Орест Зенонович – д-р техн. наук, професор, професор кафедри проектування машин та автомобільного інжинірингу, e-mail: Orest_60@yahoo.ca

Гай Юрій Віталійович – магістрант кафедри проектування машин та автомобільного інжинірингу, e-mail: yurahay89@gmail.com

Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів

Голенко Костянтин Едуардович – канд. техн. наук, викладач кафедри трибології, автомобілів та матеріалознавства, e-mail: kgolenko@gmail.com

Рудик Олександр Юхимович – канд. техн. наук, доцент кафедри трибології, автомобілів та матеріалознавства, e-mail: Yukhymovych@gmail.com

Хмельницький національний університет, м. Хмельницький

Поляков Андрій Павлович – д-р техн. наук, професор, професор кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, e-mail: farv@vntu.edu.ua

Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

Y. Voichyshyn¹
K. Holenko²
O. Horbay¹
A. Polyakov³
O. Rudyk²
Y. Hay¹

Experimental studies of microclimate parameters in the bus passenger compartment in the cold season

¹Lviv Polytechnic national university

²Khmelnyskyi National University

³Vinnitsa National Technical University

The paper analyzes the current state of research on microclimate parameters in bus cabins and identifies the main issues of the given topic. The authors analyzed and explained the importance of ensuring a favorable microclimate in vehicle cabins and assessed the risks of non-compliance. The relevance of the topic is confirmed by the existing scientific publications of foreign scientists who worked in this field and investigated similar issues. In addition to scientific works, an analysis of regulatory documentation in the world and Ukraine was conducted, existing problems and conflicts in requirements and parameters were considered. Theoretical knowledge is supplemented by experimental studies - the technical characteristics of the investigated bus are shown and the essence of the experiment is presented. Experimental studies were carried out in the passenger compartment of the Ukrainian-made Electron A18501 bus. Microclimate parameters such as temperature, humidity, and the amount of air throughout the passenger compartment in the cold season were measured using special equipment. Measurements were taken in the front, middle and rear of the bus cabin. A total of 4 conditional measurement zones were defined: zone 1 (between the wall of the driver's cabin and the passengers' platform), zone 2 (in the area of the passengers' platform), zone 3 (between the passengers' platform and the rear door) and zone 4 (in the area of the rear door and the engine compartment), where the temperature and air humidity were determined at specific points. Measurements of the amount of air coming from the heating equipment (diffusers) were also made in certain locations. Analyzing the regulatory documents, in particular those used in our country, it was established that air temperature and humidity should be measured at the level of the feet and heads of passengers. There is no need to take measurements at waist level in vehicle cabins, unlike the driver's cabin, unless the bus is operated in very cold or very hot conditions. Since the climate in Ukraine is moderate, there is no need to carry out such additional measurements. The bus traveled along the route Rvasne 1-Levandivka-Sknyliv in Lviv during the experiment. This route fully corresponds to the city bus driving cycle, and its length is comparable to the value of the average city bus route. As a result of the experiment, it was determined that there are specific points in the cabin where the parameters of the microclimate do not correspond to the normative ones. These identified shortcomings require further research in order to improve the comfort of the microclimatic conditions in the bus cabin.

Key words: microclimate, heating system, air temperature, air humidity, кількість повітря, heating, convector, накопичувальна площадка, engine compartment.

Voichyshyn Yurii – Post-Graduate Student, Department of Equipment Design and Operation, e-mail: Yurii.I.Voichyshyn@lpnu.ua

Holenko Kostyantyn – Ph. D. (Eng.), Department of Tribology, Automobiles and Materials Science, e-mail: kgolenko@gmail.com

Horbay Orest – Dr. Sc. (Eng.), Professor, Professor of the Department of Equipment Design and Operation, e-mail: Orest_60@yahoo.ca

Polyakov Andriy – Dr. Sc. (Eng.), Professor, Professor of the Department of Automobiles and Transport Management, e-mail: farv@vntu.edu.ua

Rudyk Oleksandr – Ph. D. (Eng.), Department of Tribology, Automobiles and Materials Science, e-mail: Yukhymovych@gmail.com

Hay Yurii – master-student, Department of Equipment Design and Operation, e-mail: yurahay89@gmail.com