

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТРАНСПОРТНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ЧУЙКО СЕРГІЙ ПЕТРОВИЧ

УДК 629.341:629.048

ДИСЕРТАЦІЯ

**ЗНИЖЕННЯ ЕНЕРГОЄМНОСТІ АВТОБУСІВ КАТЕГОРІЇ МЗ
НА МІСЬКИХ МАРШРУТАХ**

Спеціальність 274 – Автомобільний транспорт

Галузь знань 27 – Транспорт

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

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

_____ С.П. Чуйко

Науковий керівник:
Кравченко Олександр Петрович,
доктор технічних наук, професор

Київ – 2021

АНОТАЦІЯ

Чуйко С.П. Зниження енергоємності автобусів категорії М3 на міських маршрутах. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 274 – Автомобільний транспорт. Дисертацію виконано у Державному університеті «Житомирська політехніка», Житомир. Подано до захисту у Національному транспортному університеті, Київ, 2021.

Міські автобусні перевезення в найближчій перспективі залишаться для більшості міст України основним видом пасажирських перевезень і мають велике соціальне значення.

Зниження енергоємності перевезень забезпечується найбільш раціональним (ефективним) використанням паливних ресурсів. При цьому зазначена мета може досягатися лише за умови, що встановлена норма витрати палива для кожної марки автобуса буде в достатній мірі обґрунтованою.

Очевидно, що досконалість планування і розробка науково обґрунтованих нормативів витрати палива стають важливим направленням ресурсозбереження на автомобільному транспорті та зниження собівартості перевезень.

Зважаючи, що на теперішній час у нормативних документах України не передбачено нормування мікроклімату в автобусах міських маршрутів і витрати палива залежно від мікроклімату в салоні, виникає гостра необхідність у дослідженні зниження енергоємності автобусів категорії М3 при роботі з кондиціонером.

Власники автобусів усіх форм господарювання, що діють на території України і експлуатують їх на маршрутах, проводять розрахунки нормативної витрати палива відповідно до діючих на теперішній час методичних рекомендацій «Норми витрат палива і мастильних матеріалів на автомобільному транспорті», затверджені наказом Міністерства інфраструктури України № 411 від 07.10.2011 р. Згідно з даними нормативами, витрату палива, при використанні кондиціонера, збільшують до 5 % від базової лінійної норми за одну годину

простою з працюючим двигуном. На охолодження салону автобуса під час руху, у разі використання кондиціонера, передбачені надбавки до витрати палива при фактичній зовнішній температурі повітря, починаючи від +20 °С. Надбавка при вимушеному увімкненні кондиціонера, через погіршення температурного середовища в салоні, в години підвищеної пасажирської активності, не передбачена.

Разом з тим, досвід експлуатації міських автобусів, оснащених кондиціонером, свідчить, що величина рекомендованих надбавок є явно некоректна, оскільки не забезпечує встановлених об'єктивних норм витрати палива і не повною мірою сприяє паливозбереженню на підприємстві, яке надає маршрутні пасажирські послуги.

Дослідження, яке виконане в межах даної дисертації, показує, що експлуатацію сучасних маршрутних автобусів, оснащених кондиціонером, доцільно розглядати як складну динамічну систему, функціонування якої відбувається при дії стохастичних факторів, що впливають на витрату палива. Це поєднання внутрішніх процесів у салоні автобуса та вплив зовнішніх факторів.

Значна роль у цьому напрямі відводиться проведенню енергетичного аудиту теплонавантажень салону автобуса як фактора впливу на тривалість роботи кондиціонера і відповідно на витрату палива.

Особливо маловивченою є проблема зниження енергоємності автобусів міських маршрутів, що працюють з кондиціонером. Очевидною є необхідність врахування сучасних конструктивних особливостей автобуса, впливу теплонадходжень при відкритих дверях та потреби в попередньому охолодженні салону на кінцевих зупинках перед виконанням рейсу.

Це суттєво підкреслює актуальність наукових досліджень з метою підвищення ефективності використання палива при забезпеченні комфорту.

Задача економічно спрямованої експлуатації кондиціонера міського автобуса при виконанні технологічного процесу повинна вирішуватися методами системного і техніко-експлуатаційного аналізу з урахуванням усіх експлуатаційних особливостей.

Актуальним постає питання підходу, при якому за допомогою інформаційних технологій GPS навігації (*Global Position System*), крім звичного уже моніторингу міського перевізного процесу, також осучаснено впроваджувати контроль за витратою палива з урахуванням обліку перевезених пасажирів.

Таким чином, визначення оптимальних рішень зі зниження енергоємності автобусів МЗ з кондиціонером, які працюють на міських маршрутах, є важливою науково-прикладною задачею.

Наукова новизна одержаних результатів дослідження полягає в тому, що: вперше обґрунтовано позитивний вплив попереднього охолодження салону автобуса кондиціонером на паливну економічність при роботі на маршруті; встановлені залежності витрати палива автобуса з кондиціонером від температури зовнішнього повітря і кількості перевезених пасажирів; запропоновано введення охолодження кондиціонером салону міського автобуса залежно від пасажироприсутності в години підвищеної пасажирської активності. Удосконалено імітаційну модель визначення повітрообміну через відкриті двері на зупинці в літній період по нейтральній площині перерізу дверей.

Отримало подальший розвиток застосування дистанційного супутникового моніторингу GPS/ГЛОНАСС за витратою палива міських автобусів з урахуванням температурних змін зовнішнього середовища.

Практичне значення одержаних результатів важливе в тому, що їх реалізація доцільна в математичному аналізі та програмному забезпеченні автопідприємства, як складової технології сучасного комплексного моніторингу роботи автобусів міських маршрутів. Запропоновано алгоритм і програми розрахунку теплового навантаження на салон і нормативної витрати палива з урахуванням температурних показників та кількості перевезених пасажирів. Це дозволяє розглянути можливість використання даних підходів до інших моделей автобусів і формувати інформаційну базу даних підприємства. При цьому використання запропонованих методичних підходів дозволяє зменшити витрату

палива одним автобусом до 3 % за зміну при забезпеченні оптимального мікроклімату в салоні.

Матеріали дисертаційної роботи дозволяють розглянути можливість використання методичного підходу до інших моделей транспортних засобів для зниження енергоємності перевізного процесу з кондиціонером. Запропоновані підходи слугують методичним базисом для перегляду існуючої практики формування лінійних норм витрат палива автобусів з кондиціонером на міських маршрутах із урахуванням визначальних умов експлуатації, що ґрунтовно покращує нормування через наближення до реальних експлуатаційних витрат.

Ключові слова: міський автобус МЗ, енергоємність, кондиціонер, мікроклімат, витрата палива, теплонадходження, нормування, охолодження салону.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті в наукових фахових виданнях України:

1. Кравченко О.П., Кривошапов С.І., Чуйко С.П. Вдосконалення алгоритму нормування витрати палива міським автобусом обладнаним кондиціонером. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. Луцьк : ЛНТУ, 2019. № 2 (13). С. 76–83. (Категорія Б. Входить до переліку міжнародної наукометричної бази даних Google Scholar).

2. Мельничук С.В., Чуйко С.П., Рафальський О.І. Підвищення паливної економічності та екологічних показників міського автобуса шляхом оптимізації параметрів і режимів руху, постановка проблеми. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. Луцьк : ЛНТУ, 2017. № 1 (8). С. 84–93. (Категорія Б. Входить до переліку міжнародної наукометричної бази даних Google Scholar).

3. Маяк М.М., Мельничук С.В., Головня Р.М., Чуйко С.П. До питання визначення технічної швидкості міського маршрутного автобуса в залежності від умов експлуатації. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. Луцьк : ЛНТУ, 2018. № 1 (10). С. 58–65. (Категорія Б. Входить до переліку міжнародної наукометричної бази даних Google Scholar).

4. Чуйко С.П. Визначення складності автобусного маршруту за умовами експлуатації. *Вісник ЖДТУ. Житомир : ЖДТУ, 2018. № 2 (82). С. 160–165. (Входить до переліку міжнародної наукометричної бази даних WorldCat; BASE; eLibrary, Google Scholar).*

5. Кравченко О.П., Чуйко С.П. Дослідження теплового балансу салону автобусу у теплий період року. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. Сєверодонецьк : Вид-во СНУ ім. Володимира Даля, 2019. № 3 (251). С. 101–106. (Журнал включено до міжнародної наукометричної бази даних Index Copernicus International, Google Scholar).*

Публікації у наукових періодичних виданнях іноземних держав:

6. Чуйко С.П., Кравченко О.П. Критерии тепловой нагрузки кабины водителя автобуса МА3-206 в летний период эксплуатации. *Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe (East European Scientific Journal). Polska, Warszawa, 2020. № 10 (62). С. 62–67. (Входить до переліку міжнародної наукометричної бази даних Index Copernicus, Google Scholar, eLibrary, International Scientific Indexing, Slide Share, Cosmos Impact Factor).*

7. Чуйко С. Стохастическая зависимость комфорта салона городского автобуса для нормирования расхода топлива. *Slovak international scientific journal. 2020. Vol. 1. No. 48. pp. 50–54. (Входить до переліку міжнародної наукометричної бази даних Index Copernicus, Google Scholar, International Scientific Indexing, Global Impact Factor, Ijifactor Indexing, Scientific Indexing Services, Open Academic Journals Index).*

8. Kravchenko O., Hrabar I., Gerlici J., Chuiko S., Kravchenko K. Forming comfortable microclimate in the bus compartment via determining the heat loss. *Communications. Scientific Letters of the University of Zilina. 2021. Vol. 23 (2), P. B150-B157. DOI: <https://doi.org/10.26552/com.C.2021.2.B150-B157>. (Входить до переліку міжнародної наукометричної бази даних Scopus).*

Наукові праці апробаційного характеру:

9. Чуйко С.П. Оцінка факторів, що впливають на витрату палива міських маршрутних автобусів в умовах експлуатації. *Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту* : матеріали X Міжнарод. наук.-практ. конф. 23–25 жовтня., 2017 р. Вінниця : ВНТУ, 2017. С. 159–161.

10. Кравченко О.П., Чуйко С.П. Щодо факторів, які впливають на зниження швидкісних режимів руху міського автобуса в умовах роботи на постійному маршруті. *LXXIV Наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету* : тези доповідей. Київ : НТУ, 2018. С. 257.

11. Чуйко С.П. Аналіз факторів впливу умов експлуатації міського маршрутного автобуса на його технічну швидкість. *5th International conference Science and society*. Canada, Hamilton, 15th June 2018. С. 1459–1477.

12. Кравченко О.П., Чуйко С.П. Аналіз швидкісних якостей і паливна економічність автобуса при циклічних режимах руху. *Новітні шляхи створення, експлуатації, ремонту і сервісу автомобілів* : зб. наук. праць IV Всеукр. наук.-практ. конф., 20–22 верес. 2018 р. Миколаїв-Коблеве. С. 35–37.

13. Кравченко О.П., Чуйко С.П. Особливості оцінки витрати палива міськими маршрутними автобусами оснащеними «Клімат-контролем». *Новітні технології розвитку автомобільного транспорту* : наук. праці Міжнарод. наук.-практич. конф., 16–19 жовт. 2018 р. Харків : ХНАДУ. С. 124–126.

14. Кравченко О.П., Чуйко С.П. Вплив експлуатаційних факторів на витрати палива міським автобусом оснащеним установкою «Клімат-контроль». *Сучасні тенденції розвитку машинобудування та транспорту* : VI Міжнарод. наук.-тех. конф., 14–16 листоп. 2018 р. Кременчуцький НУ ім. М.Остроградського. С. 63–68.

15. Кравченко О.П., Чуйко С.П. Визначення та аналіз факторів що впливають на зміну витрати палива міського автобуса оснащеного кліматичною установкою. *LXXV Наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету* : тези доповідей. Київ, НТУ. 2019. С. 92.

16. Чуйко С.П., Кравченко О.П. Фактори впливу на мікроклімат пасажирського салону міського маршрутного автобусу. *Тези Всеукр. наук.-практич. on-line конф. здобувачів вищої освіти і молодих учених, присвяченої Дню науки*, 15–17 трав. 2019 р. Житомир : ЖДТУ. С. 239.

17. Кравченко О.П., Чуйко С.П. Дослідження параметрів повітря в салоні міського автобусу. *Транспорт і логістика: проблеми та рішення* : зб. наук. праць за м-ми IX Міжнарод. наук.-практич. конф., 22–24 трав. 2019 р. Сєверодонецьк–Одеса–Вільнюс–Київ. Східноукраїнський національний університет ім. В.Даля, Одеський національний морський університет. Одеса : КУПРІЄНКО СВ, 2019. С. 154–156.

18. Кравченко О., Чуйко С. Визначення факторів теплових навантажень салону міського автобусу. *Перспективи розвитку машинобудування та транспорту-2019* : зб. тез I Міжнарод. наук.-тех. конф., 13–15 трав. 2019 р. Вінниця : ВНТУ, 2019. С. 168–170.

19. Кравченко О., Чуйко С. Визначення конвективного теплообміну у салоні міського автобусу на зупинках при відкритих дверях. *Інноваційні технології розвитку машинобудування та ефективного функціонування транспортних систем* : зб. тез I Міжнарод. наук.-тех. інтернет-конф., 21–23 трав. 2019 р. Рівне : НУВГП, 2019. С. 150–151.

20. Чуйко С.П., Кравченко О.П. Удосконалення системи управління витратою палива міськими маршрутними автобусами, обладнаними кондиціонером. «Сучасні технології на автомобільному транспорті та машинобудуванні» : наукові праці Міжнародної науко.-практ. конф., 15–18 жовт. Харків : ХНАДУ, 2019. С. 158–160.

21. Кравченко О.П., Чуйко С.П. Визначення системи управління витратою палива для пасажирських підприємств, які експлуатують автобуси, обладнані кондиціонерами. «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту» : матеріали XII Міжнародної наук.-практ. конф., 21–23 жовт. 2019 р. Вінниця : ВНТУ, 2019. С.100–102.

22. Чуйко С.П., Ткаченко Г.М. Тепловий режим салону міського автобуса в умовах літньої експлуатації. *Тези Всеукр. наук.-практич. on-line конф. здобувачів вищої освіти і молодих учених, присвяч. Дню науки м. Житомир, 11–15 трав. 2020 р. Житомир : Державний університет «Житомирська політехніка, 2020. С. 105.*

23. Кравченко О.П., Чуйко С.П., Кривошапов С.І. Удосконалення індивідуальних маршрутних норм витрати палива міським автобусом, оснащеним кондиціонером. *LXXVI Наук. конф. проф.-викл. складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету : тези доповідей. Київ : НТУ, 2020. С. 63.*

24. Кравченко О.П., Чуйко С.П. Стохастична залежність комфорту салону міського автобуса у транспортному процесі. *Матеріали VI Міжнар. наук.-технічної конф. «Науково-прикладні аспекти автомобільної і транспортно-дорожньої галузей», 26–27 черв. 2020 р. Луцьк : ЛНТУ, 2020. С. 78–82.*

25. Чуйко С.П. Критерії управління витратою палива міських автобусів із застосуванням сучасних інформаційних технологій. *«Сучасні тенденції розвитку автомобільного транспорту та галузевого машинобудування» : наукові праці Міжнародної наук.-практ. конф. присв. 90-річчю Харківського автомобільно-дорожнього університету та 90-річчю автомобільного факультету, 16–18 вер. 2020 р. Харків : ХНАДУ, 2020. С. 143–144.*

26. Кравченко О.П., Чуйко С.П. Аналіз комфорту в салоні міського автобусу щодо нормування витрати палива. *«Сучасні технології на перспективи розвитку автомобільного транспорту» : тези XIII міжнар. наук.-практ. конф., присвячена сторіччю Державного університету «Житомирська політехніка», 26–28 жовт. 2020 р. Житомир. С. 44–45.*

Додатково відображають результати дисертації:

27. Кравченко О.П., Чуйко С.П. Еко-водіння-алгоритм паливної економічності та безпеки перевезень міським маршрутним автобусом. *«Безпека на транспорті – основа ефективної інфраструктури: проблеми та*

перспективи» : наукові праці IV Міжнародної наук.-практ. конф., 26–27 листоп. 2019 р. Харків : ХНАДУ, 2019. С. 42–44.

28. Чуйко С.П., Кравченко О.П. Інтегрований метод оцінки екологічної направленості на витрату палива міським автобусом з системою нейтралізації відпрацьованих газів. *«Підвищення надійності машин і обладнання»* : матеріали Міжнародної наук.-практ. конф., 15–17 квіт. 2020 р. Кропивницький : ЦНТУ, 2020. С. 187–189.

29. Кравченко О.П., Чуйко С.П. Вдосконалення руху маршрутного автобуса у міських транспортних системах. *«Проблеми з транспортними потоками і напрямки їх розв'язання»* : тези III Всеукраїнської наук.-теорет. конф., 28–30 бер. 2019 р. Львів : НУ «Львівська політехніка», 2019. С. 7–9.

30. Чуйко С.П. Ключові фактори, які впливають на транспортну привабливість автобусів міських маршрутів. *«Актуальні питання підготовки фахівців транспортної галузі»* : матеріали V наук.-практ. конф., 19 листоп. 2020 р. Одеса : ОАДФК ДУ «Одеська політехніка», 2020. С. 30–32.

ABSTRACT

Chuiko S.P. Reducing the energy consumption of M3 buses on public routes. – Qualifying scientific work as a manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in the specialty 274 – Automobile transport. The dissertation is completed at Zhytomyr Polytechnic State University, Zhytomyr. Filed for defense at the National Transport University, Kyiv, 2021.

In the coming years public bus transportation remains the main type of passenger transportation for most cities of Ukraine and is of great social importance.

Reducing the energy consumption of transportation is ensured by the most rational (efficient) use of fuel resources. At the same time, the specified goal can be achieved only under the condition that the fuel consumption rate for each brand of a bus is sufficiently justified.

It is obvious that the perfection of planning and the development of scientifically based fuel consumption standards are becoming an important area of the resource conservation in road transport and reducing the cost of transportation.

Taking into consideration the fact that at present the regulation of the microclimate in buses of city routes and fuel consumption, depending on the microclimate in the passenger compartment is not stipulated by the regulatory documents of Ukraine, there is an urgent need to study a decrease in the energy consumption of M3 buses when working with air conditioning.

Owners of buses of all forms of business entities on the territory of Ukraine who operate them on public routes, carry out calculations of the standard fuel consumption in accordance with the current methodological recommendations "Rates of fuel and lubricants consumption in road transport" approved by the order of the Ministry of Infrastructure of Ukraine under No.411 from 07.10.2011. In accordance with these standards, fuel consumption when using an air conditioner is increased to 5% of the base linear rate for one hour of inactivity with the engine running. Surcharges are provided for fuel consumption at the actual outside air temperature for cooling the passenger compartment of the bus while driving, when using an air conditioner, starting from + 20°C. The surcharge for the forced activation of the air conditioner, due to the deterioration of the temperature environment in the passenger compartment during the hours of increased passenger activity, is not provided.

At the same time, the experience of operating public buses M3, equipped with air conditioning, shows that the value of the recommended allowances is clearly incorrect, since it does not provide the established objective rates of fuel consumption and does not fully contribute to the fuel saving at the enterprise that provides route passenger services.

The study carried out within the framework of this dissertation shows that the operation of modern public transport buses equipped with air conditioning is advisable to be considered as a complicated dynamic system, the functioning of which occurs under the action of stochastic factors affecting the fuel consumption. This is a

combination of internal processes in the bus passenger compartment and the influence of external factors.

A significant role in this direction is the energy audit of heat-loaded bus interiors as a factor of influence on the duration of the air conditioner operation and, thus, on the fuel consumption.

The problem of reducing the energy consumption of buses that operate with air conditioning on public routes is poorly understood in particular. It goes without saying that it is necessary to take into account the modern design features of the M3 bus, the effect of heat input when the doors are open and the need for forced cooling of the thermal state of the passenger compartment at the final stops before the run.

This significantly underscores the relevance of the scientific study to improve the fuel efficiency while ensuring comfort.

The problem of economically directed operation of a public bus air conditioner, when performing a technological process, should be solved by the methods of the systematic and technical and operational analysis, taking into consideration all operational features.

The question of the approach becomes relevant, where with the help of information technologies GPS navigation (Global Position System), in addition to the usual monitoring of the public transportation process; it is also modernized to introduce control over the fuel consumption based on the accounting of the transported passengers.

Thus, the determination of ultimate solutions to reduce the energy consumption of air-conditioned buses operating on public routes is an important applied scientific task.

The scientific novelty of the study is as follows:
first presented an argument for the influence of pre-cooling of the passenger compartment of the M3 bus with air conditioning on the fuel efficiency on the public routes during working hours; the dependences of the fuel consumption of the M3 bus with air conditioning on the outside air temperature and the number of passengers transported have been established; the introduction of air conditioning cooling of the

public bus interior, depending on the presence of passengers during the hours of the increased passenger activity is suggested. The simulation model for determining heat fluxes through an open door along the neutral plane of the door section at a bus stop in summer has been improved.

The use of GPS/GLONASS remote satellite monitoring of the fuel consumption of public buses, considering the temperature changes of the environment, was further developed.

The advanced practical bearing on the obtained results is that their implementation is expedient in mathematical analysis and software of the automobile enterprise as a part of the modern complex monitoring technology of the operation of buses on public routes. The proposed algorithm and program for calculating the heat load on the passenger compartment and the standard fuel consumption, taking into account the temperature indicators and the number of passengers transported. This allows us to consider the possibility of using these approaches to other models of buses and to create an information database of the enterprise. Moreover, the use of the proposed methodological approaches makes it possible to reduce the fuel consumption of the one M3 bus by up to 3% per shift while ensuring an ultimate microclimate in the passenger compartment.

The materials of the dissertation allow us to consider the possibility of using a methodological approach to other models of vehicles to reduce the energy consumption of the air-conditioned transportation process. The proposed approaches is a methodological basis for the review of the existing practice of the development of the linear fuel consumption rates for air-conditioned buses on public routes, taking into account the main operating conditions, that significantly improves the rates due to the approach to real operating costs.

Keywords: M3 bus, energy consumption, air conditioning, microclimate, fuel consumption, fuel efficiency, heat input, rationing, interior cooling.

LIST OF THE PUBLISHED PAPERS ON THE SUBJECT OF THE THESIS

Papers in Scientific Publications of Ukraine:

1. Kravchenko O.Sh., Kryvoschapov S.I., Chuiko S.P. The improvement of the limitation algorithm of the fuel consumption of the public transport buses equipped with air conditioning units. *Modern technologies in mechanical engineering and transport*. Lutsk: LNTU, 2019. No. 2 (13). P. 76–83. (*Category B. Included in the list of the international scientometric database Google Scholar*).

2. Melnychuk S.V., Chuiko S.P., Rafalskyi O.I. Improving fuel efficiency and environmental performance of a public transport bus by optimizing parameters and driving modes, posing a problem. *Modern technologies in mechanical engineering and transport*. Lutsk: LNTU, 2017. No.1 (8). P. 84–93. (*Category B. Included in the list of the international scientometric database Google Scholar*).

3. Mayak M.M., Melnychuk S.V., Holovnia P.M., Chuiko S.P. On the issue of the technical speed determination of a public transport bus, depending on the operating conditions. *Modern technologies in mechanical engineering and transport*. Lutsk: LNTU, 2018. No. 1 (10). P. 58–65. (*Category B. Included in the list of the international scientometric database Google Scholar*).

4. Chuiko S.P. The determination of the complexity of the bus route according to operating conditions. *The Journal of Zhytomyr State Technological University*. Zhytomyr: ZSTU, 2018. No. 2 (82). P. 160–165. (*Included in the list of the international scientometric database WorldCat; BASE; eLibrary, Google Scholar*).

5. Kravchenko O.P., Chuiko S.P. The study of the heat balance of the passenger compartment in the warm season. *The Journal of Volodymyr Dahl East Ukrainian National University*. Sievierodonetsk: Publishing house EUNU named after V.Dahl, 2019. No. 3 (251). P. 101–106. (*The Journal is included in the list of the international scientometric database Index Copernicus International, Google Scholar*).

Published Papers in Scientific Periodicals of Foreign Countries:

6. Chuiko S.P., Kravchenko O.P. The criteria for the heat load of the driver's cabin of the MAZ-206 bus during the summer operation. *Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe (East European Scientific Journal)*. Polska, Warszawa, 2020.

No. 10 (62). P. 62–67. (*Included in the list of the international scientometric database Index Copernicus, Google Scholar, eLibrary, International Scientific Indexing, Slide Share, Cosmos Impact Factor*).

7. Chuiko S. Stochastic dependence of the comfort in the passenger compartment of public transport bus for the fuel consumption rate. *Slovak international scientific journal*. 2020. Vol. 1. No. 48. pp. 50–54. (*Included in the list of the international scientometric database Index Copernicus, Google Scholar, International Scientific Indexing, Global Impact Factor, Ijifactor Indexing, Scientific Indexing Services, Open Academic Journals Index*).

8. Kravchenko O., Hrabar I., Gerlici J., Chuiko S., Kravchenko K. Forming comfortable microclimate in the bus compartment via determining the heat loss. Communications. *Scientific Letters of the University of Zilina*. 2021. Vol. 23 (2), P. B150-B157. DOI: <https://doi.org/10.26552/com.C.2021.2.B150-B157>. (*Included in the list of the international scientometric database Scopus*).

Approbation Scientific Papers:

9. Chuiko S.P. Assessment of factors affecting the fuel consumption of public transport buses under operating conditions. “*Modern technologies for the prospects for the development of road transport*”: Materials of the Xth International Scientific and Practical Conference, October, 23–25 2017 Vinnytsia: VNTU, 2017. P. 159–161.

10. Kravchenko O.P., Chuiko S.P. On the factors affecting the decrease in the speed of movement of a public transport bus in the work conditions on a permanent route. *LXXIVth Scientific Conference of the Teaching Staff, Graduate Students, Students and Employees of the University's Structural Divisions: Abstracts*. Kyiv: NTU, 2018. P. 257.

11. Chuiko S.P. Analysis of the factors of influence of the operating conditions of the public transport bus on its technical speed. *5th International conference Science and society*. Canada, Hamilton, 15th June 2018. C. 1459–1477.

12. Kravchenko O.P., Chuiko S.P. The analysis of speed qualities and fuel efficiency of a bus in cyclic driving modes. *New ways to create, operate, repair and*

service cars: Collect. of Scientific Papers of the IVth International Scientific and Practical Conference, September, 20–22 2018 Mykolaiv-Koblevo. P. 35–37.

13. Kravchenko O.P., Chuiko S.P. The peculiarities of the estimation of the fuel consumption of a public transport bus equipped with “Climate control”. *The latest technologies for the development of road transport*: Scientific Papers of International Scientific and Practical Conference, October, 16–19 2018 Kharkiv: KHADI. P. 124–126.

14. Kravchenko O.P., Chuiko S.P. The influence of operational factors on fuel consumption of a public transport bus equipped with “Climate control”. *Modern technologies in mechanical engineering and transport*: VIth International Scientific and Technical Conference, November, 14–16 2018 Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University. P. 63–68.

15. Kravchenko O.P., Chuiko S.P. The determination and analysis of factors influencing the change in fuel consumption of a public transport bus equipped with an air conditioning units. *LXXVth Scientific Conference of the Teaching Staff, Graduate Students, Students and Employees of the University's Structural Divisions*: Abstracts. Kyiv, NTU. 2019. P. 92.

16. Chuiko S.P., Kravchenko O.P. Factors of influence on the microclimate of the passenger compartment of a public transport bus. *Abstracts of All-Ukrainian scientific and on-line Practical Conference for applicants for higher education and young scientists dedicated to Day of Science*, May, 15–17 2019 Zhytomyr : ZSTU. P. 239.

17. Kravchenko O.P., Chuiko S.P. Study of air parameters in the passenger compartment of a public transport bus. *Transport and logistics: problems and solutions*: Collect. of Scientific Papers on Materials of the IXth International Scientific and Practical Conference, May, 22–24 2019 Sievierodonetsk-Odesa-Vilnius-Kyiv. Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, Odessa National Maritime University. Odesa: Kupriienko SV, 2019. P. 154–156.

18. Kravchenko O., Chuiko S. The determination of the factors of thermal loads in the passenger compartment of a public transport bus. “*Development potential of mechanical engineering and transport - 2019*”: Collect. of Abstracts of the Ist

International Scientific and Practical Conference, May, 13–15 2019 Vinnytsia: VNTU, 2019. P. 168–170.

19. Kravchenko O., Chuiko S. The determination of the convective heat transfer in the passenger compartment at the bus stop when the doors open. *Innovative technologies for the development of mechanical engineering and the effective functioning of transport systems*: Collect. of Abstracts of the Ist International Scientific and Technical Internet-Conference, May, 21–23 2019 Rivne: NUWEE, 2019. P. 150–151.

20. Chuiko S.P., Kravchenko O.P. The improvement of the management system of the fuel consumption of the public transport buses equipped with air conditioning units. *"Modern technologies in road transport and mechanical engineering"*: Scientific Papers of International Scientific and Practical Conference, October, 15–18 Kharkiv: KHADI, 2019. P. 158–160.

21. Kravchenko O.P., Chuiko S.P. The determination of a fuel management system for passenger businesses operating public transport buses equipped with air conditioning units. *"Modern technologies for the development potential of road transport"*: Materials of the XIIth International Scientific and Practical Conference, October, 21–23 2019 Vinnytsia: VNTU, 2019. P.100–102.

22. Chuiko S.P., Tkachenko H.M. Thermal condition of the public transport bus compartment under the conditions of summer operation activity. *Abstracts of All-Ukrainian Scientific and Practical on-line Conference for applicants for higher education and young scientists, dedicated to Day of Science Zhytomyr*, May, 11–15, 2020 Zhytomyr: Zhytomyr Polytechnic State University 2020. P. 105.

23. Kravchenko O.P., Chuiko S.P., Kryvoshapov S.I. The improvement of individual routing rates of fuel consumption for public transport buses equipped with air conditioning units. *LXXVIth Scientific Conference of the Teaching Staff, Graduate Students, Students and Employees of the University's Structural Divisions*: Abstracts. Kyiv: NTU, 2020. P. 63.

24. Kravchenko O.P., Chuiko S.P. Stochastic dependence of the comfort in the passenger compartment of public transport bus in the transport process. *Materials of*

the VIth International Scientific and Practical Conference. "Scientific and applied aspects of the automobile and transport and road industries", June, 26–27 2020 Lutsk: LNTU, 2020. P.78–82.

25. Chuiko S.P. Criteria for managing the fuel consumption of public transport buses using modern information technologies. "Modern technologies for the development potential of road transport and transport and road industries": Scientific Papers of International Scientific and Practical Conference, dedicated to 90-years Anniversary of Kharkiv National Automobile and Highway University and 90-years Anniversary of Automobile Faculty, September, 16–18 2020 Kharkiv: KHADI, 2020. P. 143–144.

26. Kravchenko O.P., Chuiko S.P. Analysis of comfort in the passenger compartment of a public transport bus based on fuel consumption rationing. "Modern technologies for the prospects for the development of road transport": Abstracts of XIII International Scientific and Practical Conference dedicated to 100-years Anniversary of Zhytomyr Polytechnic State University, October, 26–28 2020, Zhytomyr. P. 44–45.

More publications with the results of the thesis:

27. Kravchenko O.P., Chuiko S.P. Eco-driving-algorithm of fuel efficiency and safety of transportation by a public transport bus. "Transport safety is the basis of effective infrastructure: problems and development potential": Scientific Papers of the IVth International Scientific and Practical Conference, November, 26–27 2019 Kharkiv : KHADI, 2019. P. 42–44.

28. Chuiko S.P., Kravchenko O.P. An integrated method for assessing the environmental focus on fuel consumption of a public transport bus with an exhaust gas aftertreatment system. "Improving the reliability of cars and equipment": Materials of International Scientific and Practical Conference, April, 15–17 2020 Kropyvnytskyi: CUNTU, 2020. P. 187–189.

29. Kravchenko O.P., Chuiko S.P. The development of the public transport bus traffic in the city transit system. "Problems with traffic flows and directions of their

solution”: Abstracts of the IIIrd All-Ukrainian Scientific and Theoretical Conference, March, 28–30 2019 Lviv: Lviv Polytechnic National University 2019. P. 7–9.

30. Chuiko S.P. Key factors affecting the transport attractiveness of public transport buses. *”Major aspects of training specialists in the transport industry”*: Materials of the Vth Scientific and Practical Conference., November, 19 2020 Odesa: OARVC of Odesa Polytechnic State University, 2020. P. 30–32.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	23
ВСТУП	24
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ДО МАРШРУТНОЇ ВИТРАТИ ПАЛИВА МІСЬКИХ АВТОБУСІВ	31
1.1. Теоретичні основи витрати палива автобусами міських маршрутів.....	31
1.2. Аналіз діючих моделей витрати палива транспортними засобами	33
1.3. Вплив режимів руху маршрутного автобуса на витрату палива в умовах міста	41
1.4. Підходи до формування мікроклімату салону автобуса з кондиціонером	48
1.5. Основні положення витрати палива і паливної економічності автобусів з кондиціонером	53
Висновки до розділу 1	61
РОЗДІЛ 2. ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ВИТРАТИ ПАЛИВА ПРИ РОБОТІ З КОНДИЦІОНЕРОМ	63
2.1. Загальна методологія розробки підходів до визначення витрати палива міським автобусом з кондиціонером	63
2.2. Витрата палива міськими автобусами і складність маршруту	69
2.3. Вплив навколишнього середовища на тепловий режим салону автобуса	71
2.4. Теплонадходження від пасажирів	77
2.5. Теплообмін салону автобуса через дверний отвір	80
Висновки до розділу 2	84
РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ФАКТОРІВ ВПЛИВУ НА МІКРОКЛІМАТ В АВТОБУСІ ТА ВИТРАТУ ПАЛИВА	86
3.1. Фактори, які впливають на маршрутну витрату палива автобусів міськ маршрутів.....	86

	21
3.2. Визначення автопідприємства для проведення досліджень	90
3.3. Вибір автобуса для дослідження	91
3.4. Обладнання для проведення експериментальних досліджень	93
3.5. Визначення складності маршруту на основі статистичної інформації.....	100
Висновки до розділу 3	107
 РОЗДІЛ 4. КОРИГУВАННЯ ВИТРАТИ ПАЛИВА ПРИ ЗМІНІ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ФАКТОРІВ	 109
4.1. Тепловий режим салону автобуса з кондиціонером	109
4.2. Повітрообмін салону автобуса з кондиціонером	117
4.3. Інтегрований процес чисельного моделювання теплового навантаження салону автобуса	125
4.4. Витрата палива автобусів міських маршрутів з кондиціонером	133
4.5. Оцінка якості побудованої моделі	146
4.6. Оцінка ефективності експлуатації автобусів з кондиціонером від запровадження методики	151
4.7. Практичні рекомендації з використання методики витрати палива в умовах сучасних інформаційних технологій	156
Висновки до розділу 4	161
Основні висновки і результати роботи	162
Список використаних джерел	164
Додаток А	179
Додаток Б	182
Додаток В	184
Додаток Д	186
Додаток Е	188

Додаток Ж	192
Додаток З	195
Додаток К	196
Додаток Л	198
Додаток М	200
Додаток Н	206

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

GPS	Global Position System (Система глобального позиціонування)
КТЗ	Колісний транспортний засіб
АТП	Автотранспортне підприємство
ПАТП	Пасажирське автотранспортне підприємство
ХНАДУ	Харківський національний автомобільно-дорожній університет
ТО і Р	Технічне обслуговування і ремонт автомобілів
ДВЗ	Двигун внутрішнього згорання
ККД	Коефіцієнт корисної дії
АІСОП	Автоматизована інформаційна система оплати проїзду
АСОПП	Автоматизована система обліку перевезених пасажирів
ПАТП	Пасажирське автотранспортне підприємство
КАДІ	Київський автомобільно-дорожній інститут
ITS	Intelligent Transport System – Інтелектуальна Транспортна Система

ВСТУП

Актуальність теми. Міський пасажирський транспорт забезпечує ефективне функціонування міського господарства та справедливо залишається значущим фактором соціально-економічного розвитку міста.

Особливістю України є висока частка автобусних транспортних витрат у собівартості пасажирських міських послуг, що сприяє підвищенню енергоємності автобуса.

У зв'язку із запровадженням в Україні сучасних нових автобусів підвищеної комфортності з кондиціонером, умови перевезення пасажирів значно покращуються. Одночасно з розвитком конструктивних кліматичних засобів, транспортні підприємства констатують збільшення витрати палива на системи кондиціонування до 50 %.

Ефективність використання автобусів на міських маршрутах оцінюється якістю надання послуг, витратами на експлуатацію, енергоємністю перевезень.

Енергоємність перевезень на автомобільному транспорті характеризує кількість енергії або палива, яке необхідно витратити на виконання одиниці транспортної роботи [1].

При цьому зниження енергоємності заощадженням паливом може досягатися лише за умови, якщо встановлена норма витрати палива для кожної марки автобуса буде в достатній мірі обґрунтованою.

Процеси технічної експлуатації сучасних маршрутних автобусів, оснащених кондиціонерами, доцільно розглядати як систему, функціонування якої відбувається при дії стохастичних факторів, які впливають на витрату палива. Це поєднання внутрішніх процесів в салоні автобуса та вплив зовнішніх факторів. Тому на сучасному етапі удосконалення конструкцій міського автобуса існуюча система технічної експлуатації автотransпортних засобів потребує необхідного вдосконалення з обґрунтуванням нових підходів до зниження енергоємності при перевезеннях.

Конструктивні особливості автобуса МЗ і досконала організація руху на

маршруті з належним моніторингом є питанням насамперед ефективної організації експлуатації.

Особливості експлуатації зумовили актуальність теми дисертаційного дослідження, його цілі і задачі, розробку методики зниження енергоємності експлуатації автобусів категорії М3 на міських маршрутах.

Ступінь розробленості теми дослідження. Теоретичною базою дослідження послужили роботи вітчизняних і зарубіжних вчених: М.Я. Говорущенка, О.В. Бажинова, С.С. Жуковського, В.В. Біліченка, В.П. Сахна, В.П. Волкова, О.П. Кравченка, С.І. Кривошапова, Ю.Ф. Редзюка, А.М. Клименка, О.А. Гутаревича, Л.В. Крайника, П.Ф. Горбачова, І.В. Грицука, М.В. Грибініченка, Д.В. Матвеєва, В.П. Матейчика, Ю.І. Палутіна, Л.Г. Рєзника, С.А. Маняшина, А.В. Рузького, А.А. Токарева, М. Бахрамі, Г. Маззула, М. Іванеску, М. Ламберта, Б. Джонса і інших.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Роботу виконано в рамках науково-дослідних робіт кафедри автомобілів і транспортних технологій Державного університету «Житомирська політехніка» в проєкті Темпус 517374-1-2011-1-RU-JPCR «Комунікаційні і інформаційні технології для забезпечення безпеки і ефективності транспортних потоків та інтелектуальних транспортних систем», підвищенні ефективності та безпеки експлуатації ДТЗ категорій М2 та М3, в науково-дослідній роботі з моніторингу швидкості руху автомобілів у місті Житомирі та Житомирській області в рамках проєкту EIB - TA2015013 UA EST «Модернізація та покращення безпеки дорожньої мережі в Україні».

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є зниження енергоємності автобусів категорії М3 на міських маршрутах за рахунок оптимальних рішень в роботі кондиціонера.

Для досягнення поставленої мети було сформульовано та розв'язано задачі дослідження:

1. Виявити закономірності витрати палива автобусами з кондиціонерами на міських маршрутах з урахуванням теплового навантаження на салон.

2. Визначення складності маршруту руху міських автобусів.
3. Розробка методики розрахунку теплонадходжень в салон автобуса у літній період експлуатації залежно від температури навколишнього середовища і присутності пасажирів.
4. Розробка математичної моделі витрати палива автобусами МЗ з кондиціонером на міських маршрутах при попередньому охолодженні салону.
5. Визначити ефективність розробленої технології витрати палива автобусами МЗ і надати рекомендації щодо впровадження та використання методики зниження енергоємності перевезень із застосуванням сучасних інформаційних технологій.

Об'єктом дослідження є процес зміни витрати палива автобусами з кондиціонером під впливом теплових навантажень на салон.

Предмет дослідження – закономірності зміни витрати палива автобусами міських маршрутів при виконанні перевізного процесу.

Методи дослідження. В роботі використовуються сучасні методи теоретичних та експериментальних досліджень, математичної статистики, планування експерименту, системний аналіз. Для теоретичних досліджень і визначення закономірностей використовувалися математична обробка даних, методи багатofакторного експерименту та теорія ймовірності. Для проведення експериментальних досліджень застосовувалося діагностичне та контрольне обладнання.

Наукова новизна роботи полягає в узагальненні, розвитку існуючих у практичному застосуванні методів багатofакторного аналізу для кількісної оцінки взаємозв'язку лінійної витрати палива міських автобусів від теплового навантаження салону, складності маршруту та завантаження. При цьому:

вперше:

- обґрунтовано позитивний вплив попереднього охолодження салону автобуса кондиціонером на паливну економічність при роботі на маршруті;
- встановлені залежності витрати палива автобусом з кондиціонером від температури зовнішнього повітря і кількості перевезених пасажирів;

- запропоновано введення охолодження кондиціонером салону міського автобуса залежно від пасажироприсутності в години підвищеної пасажирської активності;

удосконалено:

- імітаційну модель визначення повітрообміну через відкриті двері на зупинці в літній період по нейтральній площині перерізу дверей;

отримано подальший розвиток:

- застосування системи дистанційного супутникового моніторингу GPS навігації за витратою палива міських автобусів з урахуванням температурних змін зовнішнього середовища.

Матеріали дисертаційної роботи є методичним базисом для перегляду існуючої практики формування лінійних норм витрат палива автобусів з кондиціонером на міських маршрутах із урахуванням умов експлуатації, що ґрунтовно знижує енергоємність через наближення до реальних експлуатаційних витрат.

Практичне значення отриманих результатів полягає у зниженні енергоємності при управлінні кондиціонером, що сприяє адекватному плануванню потреби у паливі пасажирським підприємством, визначенню собівартості перевезень. Запропоновано алгоритм і програми розрахунку теплового навантаження на салон і нормативної витрати палива з урахуванням температурних показників та кількості перевезених пасажирів. Розроблена комп'ютерна програма моделювання температурного стану в салоні автобуса, при відповідній пасажироприсутності у поєднанні з показниками зовнішньої температури, може бути використана для прогнозованих режимів роботи кондиціонера на етапі виконання транспортного процесу, що сприяє зменшенню витрати палива.

Реалізація результатів роботи. Результати досліджень прийняті до впровадження Науково-виробничою лабораторією енергетики та екології транспорту Державного підприємства «Державний автотранспортний науково-дослідний і проектний інститут», автобусним парком Комунального

підприємства «Житомирське трамвайно-тролейбусне управління» Житомирської міської ради, ТОВ «Автогазсервіс МВС» та в навчальному процесі Державного університету «Житомирська політехніка» і Відокремленому структурному підрозділі «Житомирський автомобільно-дорожній фаховий коледж Національного транспортного університету».

В автопідприємстві запропонована реалізація способів зі зниження енергоємності автобусів МЗ – витратою палива, яка доцільна в математичному та програмному забезпеченні моніторингу транспортного процесу. Такий підхід практичного використання методики, при наявних статистичних даних, дозволяє підвищити достовірність прогнозу енергозбереження при перевізному процесі.

Особистий внесок здобувача. Дисертаційна робота є самостійно виконаним дослідженням, що має теоретичне і практичне значення для зниження енергоємності міських автобусів, оснащених кондиціонером. Роботи [2 - 25] виконані у співавторстві, а роботи [26 – 31] - одноосібно.

У представлених наукових працях, опублікованих у співавторстві, здобувачу належить фактичний матеріал і основний творчий доробок: участь у проведенні експерименту з вибору критеріїв оцінки функціонування маршрутної мережі, які впливають на паливну економічність міського автобуса [2]; участь у дослідженні факторів впливу на технічну швидкість автобусів [3]; дослідження теплового балансу салону і створення методики теплової рівноваги [4]; участь у обчисленнях і розробці математичних підходів з визначення норми витрати палива автобусом MA3-206086 при роботі з увімкненим і не увімкненим кондиціонером [5]; експериментальні дослідження і математичний аналіз факторів теплових впливів у салоні міського автобуса [6]; організація проведення експериментального дослідження рівня збереження температурного середовища в салоні автобуса і узагальнення результатів [7]; наведено аналіз швидкісних факторів при циклічному русі автобуса [8]; наведено результати визначення факторів впливу на витрату палива автобусами [9–11]; досліджено швидкісні характеристики руху автобуса з урахуванням перешкод [12]; оцінка факторів впливу теплового навантаження на мікроклімат салону [13–15];

представлено результати визначення конвективного теплообміну салону при відкритих дверях [16, 17]; запропоновано систему управління витратою палива автобуса з кондиціонером [18, 19]; пропозиції щодо удосконалення індивідуальних маршрутних норм витрати палива [20]; наведено результати дослідження теплообміну в салоні з комфортністю та витратою палива [21, 22]; аналіз впливу людського фактору на паливну економічність [23]; наведено особливості витрати палива автобусом при роботі з нейтралізатором [24]; обґрунтовно особливості руху автобуса у міських транспортних системах [25].

Апробація результатів дисертації. Основні теоретичні та практичні результати дисертації були представлені та схвалені на науково-практичних конференціях, а також на засіданнях кафедри автомобілів та транспортних технологій Державного університету «Житомирська політехніка»: IV-й Всеукраїнській науково-практичній конференції «Новітні шляхи створення, експлуатації, ремонту і сервісу автомобілів» (Коблево, Миколаївської обл., 2018 р.); V-й міжнародній науково-технічній конференції «Науково-прикладні аспекти автомобільної і транспортно-дорожньої галузей» (м. Луцьк, ЛНТУ, 2018 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Новітні технології розвитку автомобільного транспорту» (м. Харків, ХНАДУ, 2018 р.); VI-й міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні тенденції розвитку машинобудування та транспорту» (м. Кременчук, КНТУ ім. Михайла Остроградського, 2018 р.); XI, XIII міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту» (м. Житомир, ЖДТУ, 2018 р., 2020 р.); III-й Всеукраїнській науково-теоретичній конференції «Проблеми з транспортними потоками і напрями їх розв'язання» (м. Львів, НУ «Львівська політехніка», 2019 р.); LXXIV, LXXV наукових конференціях професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету (м. Київ, НТУ, 2018 р, 2019 р.); Всеукраїнській науково-практичній on-line конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених, присвяченої Дню науки (м. Житомир, ЖДТУ, 2019 р.); IX міжнародній науково-практичній конференції «Транспорт і

логістика: проблеми та рішення» (м. Одеса, ОНМУ, 2019 р.); I-й міжнародній науково-технічній конференції «Перспективи розвитку машинобудування та транспорту-2019» (м. Вінниця, ВНТУ, 2019 р.); I-й міжнародній науково-технічній інтернет-конференції «Інноваційні технології розвитку машинобудування та ефективного функціонування транспортних систем» (м. Рівне, НУВГП, 2019 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні технології на автомобільному транспорті та машинобудуванні» (м. Харків, ХНАДУ, 2019 р.); X-й, XII-й міжнародних науково-практичних конференціях «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту» (м. Вінниця, ВНТУ, 2017 р., 2019 р.); IV-й міжнародній науково-практичній конференції «Безпека на транспорті – основа ефективної інфраструктури: проблеми та перспективи» (м. Харків, ХНАДУ, 2019 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Підвищення надійності машин і обладнання» (м. Кропивницький: ЦНТУ, 2020 р.); Міжнародній науково-практичній конференції присвяченої 90-річчю Харківського автомобільно-дорожнього університету та 90-річчю автомобільного факультету «Сучасні тенденції розвитку автомобільного транспорту та галузевого машинобудування» (м. Харків, ХНАДУ, 2020 р.); V науково-практичній конференції «Актуальні питання підготовки фахівців транспортної галузі» (м. Одеса, ОАДФК Державного університету «Одеська політехніка», 2020 р.).

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи відображені у 30 наукових працях, серед них: 5 статей у наукових фахових виданнях України; 1 стаття включена до міжнародної наукометричної бази даних Scopus; 2 статті у періодичних закордонних виданнях (Польща, Словаччина); в збірниках матеріалів наукових конференцій опубліковано 22 доповіді.

Структура і обсяг дисертації. Дисертація загальним обсягом 210 сторінок машинописного тексту складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку використаних джерел з 128 найменувань, додатків. Дисертація містить 52 рисунки, має 22 таблиці. Основна текстова частина становить 129 сторінок.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ДО МАРШРУТНОЇ ВИТРАТИ ПАЛИВА МІСЬКИХ АВТОБУСІВ

1.1 Теоретичні основи витрати палива автобусами міських маршрутів

Серед економічних складових роботи автомобіля вартість палива за різними джерелами може становити 25...60 % від усіх витрат на його експлуатацію і ці витрати продовжують зростати [32–34]. У зв'язку з цим, прогнозування витрати палива та об'єктивне нормування в умовах експлуатації є досить важливою та актуальною задачею.

Очевидно, що досконалість планування і розробка науково обґрунтованих нормативів витрати палива стають важливим направленням ресурсозбереження на автомобільному транспорті та зниженні собівартості перевезень [26].

Зростаюча конкуренція на пасажирських перевезеннях потребує підвищення рівня комфортності і безпеки пасажирів та водія, чим спонукає перевізників до придбання сучасних автобусів підвищеної комфортності, в тому числі і оснащених кондиціонером.

Зростання глобального потепління є очевидним. Кілька років тому дослідники з Українського гідрометеорологічного інституту, провівши науково-дослідну роботу, розробили власні прогнози кліматичних змін в країні до кінця століття. В цілому, по Україні тривалість теплого періоду збільшилася на 4–10 днів в Поліссі і лісостепі, на 17–26 днів в степовій зоні і Придніпровській низовині порівняно з 1991–2010 рр. [35].

Сучасний міський автобус повинен задовольняти високим вимогам комфортності, безпеки і економічності. У зв'язку з цим, надійна робота системи вентиляції та кондиціонування, конструктивні особливості автобуса повинні забезпечувати комфортний стан мікроклімату салону при мінімальних експлуатаційних витратах. Досконалість теоретичних основ розрахунку системи вентиляції і кондиціонування салону міського автобуса, з урахуванням

особливостей їх експлуатації, при різних температурних режимах і навантаженнях є сучасною науковою задачею, яка відповідає основним тенденціям досконалості розвитку технічної експлуатації автомобілів.

У роботі [36] обґрунтовано доцільність розроблення і впровадження в Україні національної програми проведення додаткових випробувань щодо визначення ефективності використання енергії у цілісній системі, що буде більш наближеною до реальних умов експлуатації.

Науковцями–економістами (Никифрук О.І., Ляшенко О.Ф., Плюта І.Ю. [37]) виділені найважливіші напрями реалізації пріоритету енергозбереження та енергоефективності у транспортній сфері України. Вони вважають, що одним з основних напрямів підвищення енергоефективності транспортних засобів є оновлення існуючого парку. Констатують, що при заміні транспортного засобу на новий, питомі витрати палива скорочуються на 25–30 %. Серед пріоритетних напрямів має стати подальший розвиток і найбільш повне використання сучасних енергоефективних транспортних засобів, які за показниками енергоспоживання, надійності та комфортності не поступаються закордонним аналогам.

Отже, на сучасному етапі удосконалення конструкцій міського автобуса, існуюча система технічної експлуатації автотранспортних засобів потребує необхідного вдосконалення та обґрунтування нових підходів до зниження енергоємності шляхом зменшення витрати палива при роботі з кондиціонером.

Із застосуванням супутникових систем GPS навігації та інформаційних серверів відкривається можливість моніторингу міських маршрутних автобусів та контролю витрати палива за новими підходами до визначення техніко-експлуатаційних показників.

Враховуючи, що на теперішній час у нормативних документах України [38] не передбачено нормування витрати палива залежно від мікроклімату в салоні міського автобуса, виникає гостра необхідність у дослідженні витрати палива автобусом в якому використовується кондиціонер.

В основу методики повинен бути закладений облік швидкісного режиму руху по маршруту як комплексного показника дії різних факторів (умови експлуатації, включаючи стан мікроклімату в салоні при використанні кондиціонера, техніко-економічні показники колісного транспортного засобу (КТЗ) – повна маса, дорожнє покриття, характеристика маршруту руху, холодзбереження салону та інше).

Задача економічно спрямованої експлуатації кондиціонера міського автобуса повинна вирішуватися методами системного аналізу з урахуванням усіх експлуатаційних особливостей.

Таким чином, зниження енергоємності шляхом коригування норми витрати палива автобусів категорії МЗ з кондиціонером, які працюють на міських маршрутах, є важливим науково-виробничим направленням.

1.2 Аналіз діючих моделей витрати палива транспортними засобами

Питанням розробки і удосконалення методів визначення витрати палива в конкретних умовах експлуатації автомобілів присвячено ряд робіт вітчизняних та зарубіжних науковців: Говорущенка М.Я. [32, 39], Токарева О.О. [40, 41], Рузького А.В. [42], Волкова В.П. [43], Сахна В.П. [44, 45], Гутаревича Ю.Ф. [46, 47], Редзюка А.М., Клименка О.А. [36, 48], Біліченка В.В. [49], Кривошапова С.І. [50, 51], Маяка М.М. [52], Крайника Л.В. [53], Євсєєва П.П. [54] та інших.

На особливостях конструкції автомобілів, які мають неоднаковий вплив на витрату палива, ґрунтуються підходи О.М. Шейніна [55]. Ним зазначено, що при міському режимі руху основна частка палива (72–79 %) витрачається на теплові втрати в двигуні, 8–14 % йде на подолання механічних втрат, 6–7 % – на подолання інерційного опору розгону автомобіля, 3–4 % – на подолання опору кочення шин і лише 1,5–2 % пов'язані з втратами в трансмісії і стільки ж з аеродинамічним опором.

Науковці О.О. Токарев і О.Г. Шмідт у роботі [40] виділяють із сукупності конструктивних, експлуатаційно-технічних, дорожніх, сезонно-кліматичних та

інших контрольованих чинників наступні основні фактори, які найбільш істотно впливають на експлуатаційну витрату палива: повна маса автомобіля, базова витрата палива, середньозважений коефіцієнт опору дороги, фактор обтічності повітрям, середня швидкість руху, температура навколишнього середовища, висота над рівнем моря, складність маршруту.

У роботі [41] запропонована універсальна характеристика з обліку використовуваних в експлуатації практично всіх режимів руху і використаних при цьому передач. Вона виражає залежність середньої витрати палива на одиницю шляху від середньої швидкості циклічного руху і відстані між зупинками.

Витрата палива автомобілів з гідромеханічною трансмісією у фазі розгону може бути розрахована за виразом [41]:

$$Q_p = \frac{\pi}{108\gamma_T} \cdot \frac{G_{t1} + G_{t2}}{2} \left[\frac{r_k}{u_0 u_k j_{cp}} (n_2 u'_2 - n_1 u'_1) + C_8 (n_2 - n_1) \right], \quad (1.1)$$

де Q_p – абсолютна витрата палива в розрахунковому інтервалі, см^3 ;

G_{t1} , G_{t2} – початкова і кінцева витрата палива в розрахунковому інтервалі, кг/год ;

n_1 , n_2 – початкова і кінцева частота обертів колінчастого валу двигуна в розрахунковому інтервалі, хв^{-1} ;

j_{cp} – середнє прискорення при розгоні автомобіля в розрахунковому інтервалі, м/с^2 ;

γ_T – густина палива, кг/л ;

u'_1 , u'_2 – початкове і кінцеве значення передаточного числа гідротрансформатора в розрахунковому інтервалі;

C_8 – коефіцієнт, який враховує збільшення витрати палива залежно від кутового прискорення колінчастого валу.

У роботі [42] представлено методику оцінки впливу міських умов руху на витрату палива автомобілями і обґрунтування можливої економії палива при вдосконаленні заходів з досконалості організації дорожнього руху на міських

магістралях. Витрата палива одиночним автомобілем при русі міською магістраллю може бути в загальному виді виражена залежністю:

$$Q_{\Sigma} = g_L(G_V) L + g_{xx} \cdot T_{xx} + g_s(V) Y, \quad (1.2)$$

де $g_L(G_V)$ – питома витрата палива при русі по перегону залежно від умов руху, л/км;

L – протяжність маршруту, км;

g_{xx} – питома витрата палива при роботі двигуна на холостих обертах, л/год;

T_{xx} – час роботи двигуна на холостих обертах, год;

$g_s(V)$ – додаткова витрата палива на одну зупинку, л/зуп;

Y – кількість зупинок, од.

В подальшому науковцем встановлено, що на додаткову витрату палива впливає номер автомобіля в черзі і склад черги. Запізнення роз'їзду автомобілів черги ліквідується за рахунок більш тривалого часу розгону, тому додаткова витрата палива на одну зупинку збільшується.

Щільність транспортного потоку призводить до коливань миттєвої швидкості, нерівномірність швидкісного режиму збільшується, автомобілі допускають тривалий час руху на проміжних передачах. Запропоновано застосувати градієнт швидкості (G_V), значення якого визначається за формулою:

$$G_v = \frac{\left[\frac{(\Delta V)^2}{\Delta t \cdot T} \sum_{i=1}^m n^2 \right]^{0.5}}{V_c}, \quad (1.3)$$

де T – час руху, с;

ΔV – фіксоване значення зміни швидкості руху, $\Delta V = 0,28$ м/с;

Δt – фіксоване значення зміни часу, $\Delta t = 1$ с;

n – число зміни швидкості за час Δt ;

V_c – швидкість сполучення, м/с.

У роботі [56] доведено, що при збільшенні навантаження до 20–25 %, починаючи зі швидкості 40 км/год і більше, витрата палива у міського автобуса

Ікарус-280, який оснащений нейтралізатором відпрацьованих газів, стає вищою на 5–15 % порівняно з автобусом, який має штатний глушник.

Єрохов В.І. та Бондаренко Є.В. у роботі [57] визначили, що основними результуючими факторами, які надають найбільший вплив на витрату палива є: конструкція рухомого складу, технічний стан, якість палива, дорожні умови, умови руху, транспортні умови, кваліфікація водія. Насиченість маршруту технологічними і випадковими зупинками надають помітний вплив на формування режимів роботи і витрату палива. Отримана закономірність наведена в таблиці 1.

Таблиця 1.1 - Вплив відстані між світлофорними об'єктами на витрату палива*

Відстань між світлофорами, м	1000	750	500	250
Відносна зміна витрати палива, %	100	108...112	115..120	125...130

*узагальнено автором на підставі джерела [57]

В продовження цієї направленості, в теперішній час, науковцями Литвином В.В., Тараном І.О. у роботі [58] наведені результати дослідження впливу режимів руху міських автобусів на паливну економічність. Найбільш вагомими факторами визначені наповнення салону та довжина перегонів на маршруті (частота технологічних зупинок). На базі рівнянь силового та паливних балансів створено розрахункову модель, яка дозволить визначити вплив окремих умов експлуатації на процес формування витрат палива міськими автобусами. Визначений паливний баланс представлено виразом:

$$Q_s = \frac{g_{is}}{\rho} \cdot (P_m + P_t + P_{tp} + P_f + P_w + P_j + P_a), \quad (1.4)$$

де ρ – густина палива, г/л;

g_{is} – значення питомих індикаторних витрат палива, кг/ кВт год;

P_m – механічні втрати в двигуні, кг/ кВт год;

P_t – втрати на привід допоміжного обладнання, кг/ кВт год;

P_{tr} – втрати в трансмісії, кг/ кВт год;

P_f, P_w, P_j, P_a – втрати опору кочення шин, аеродинамічного, сил інерції, подолання підйомів, відповідно, кг/ кВт год.

Євсєєв П.П. [54] вважає, що величина шляхової витрати палива не може повною мірою характеризувати функціонування автомобіля в цілому. Стверджує, що в загальному вигляді витрата палива залежить не лише від довжини пройденого шляху але і від величини завантаження, яку створює дорога і навколишнє середовище, а також від якості палива, яке характеризується значеннями теплотворної властивості і густини.

В ряді досліджень нормування витрати палива автобусів міських маршрутів здійснюється за середніми значеннями, які визначаються за фактичною витратою палива за допомогою діючої на підприємстві інформаційної системи обліку роботи [44, 50, 55].

Науковцями [58], які досліджували витрату палива автобусів БАЗ А092 на маршрутах м. Дніпро створено розрахункову модель, яка дозволяє дослідити вплив умов експлуатації на процес формування витрат палива міськими автобусами. Встановлено, що витрати палива міських автобусів, які працюють у звичайному режимі, перевищують нормативні значення на 36 %, а у режимі маршрутного таксі на 86 %.

Особлива роль в економії палива належить досконалості нормування витрати палива з правильним обліком мінливого різноманіття дорожніх, транспортних, атмосферно-кліматичних умов роботи автомобіля.

Сучасний підхід здійснено науковцями Харківського національного автомобільно-дорожнього університету (ХНАДУ) у роботі [59], де представлено розроблений метод, що враховує умови експлуатації автомобілів в інформаційних умовах. Це дозволяє дистанційно отримувати інформацію про

ефективність експлуатації транспортних засобів в умовах Інтелектуальної Транспортної Системи (ITS). Така направленість моніторингу є прогресивною і потребує досконалості підходів до контролю за витратою палива наряду з моніторингом транспортного процесу.

Новий підхід до маршрутного нормування витрати палива автобусів, які працюють на міських маршрутах, запропоновано Коловим Д.О. [60]. У роботі представлено алгоритм програмного забезпечення з елементами статистичної обробки шляхової документації. При цьому, ним виділено домінуючий експлуатаційний фактор на автобусних маршрутах міст з багатомільйонним населенням, це інтенсивність руху, що призводить до заторів і масового скупчення людей і відповідно до додаткової витрати палива.

Автор намагається класифікувати фактори, які впливають на витрату палива міських автобусів і мають відповідні рівні значимості. Представлені підсистеми – персонал підприємства, інформатизація підприємства, забезпеченість підприємства обладнанням, рухомий склад і умови його експлуатації, наявність на підприємстві системи якості. Такий підхід може слугувати новій направленості у повсюдному запровадженні сучасних технологій контролю за витратою палива міськими автобусами, це моніторинг з використання ITS.

Серед іноземних джерел, які відображають проблему витрати палива, пов'язану з використанням кондиціонера, варто виділити наступні.

Фахівці Національної лабораторії поновлювальних джерел енергії (NREL) США [61] довели, що поточні системи кондиціонування повітря можуть збільшити витрату палива: в автомобілях з більшим об'ємом двигуна – до 50 % і в автомобілях з середнім об'ємом більше ніж на 20 %, при одночасному збільшенні шкідливих речовин у відпрацьованих газах (NO_x – майже на 80 % і CO – на 70 %). Навантаження в 400 Вт на звичайний двигун автомобіля може збільшити витрату палива до 0,4 л/1 милю. Ними розглядалися різноманітні технології для зменшення навантаження на тепловий комфорт в салоні, серед яких покращене скління, охолодження сидінь, додаткова вентиляція.

У роботі [62] шляхом моделювання було оцінено вплив теплового навантаження на міський автобус у Римі (Італія) і визначено основні елементи кузова, які слід враховувати, це прозорі елементи салону і колір пофарбованих панелей, з високим коефіцієнтом відбиття. Щоб оптимізувати енергетичні показники та зменшити теплове навантаження на салон влітку, проведено заміну скла (товщиною 4 мм) з меншим коефіцієнтом теплопропускання та перефарбовано кузов на білий колір. Зростання вартості таких технічних переоснащень на 3 % призводить до щорічної економії палива у 20 % для дизельних автобусів.

Особливості оцінки паливної економічності автомобіля в реальних умовах експлуатації закладені професором М.Я. Говорущенком [39]. Розвиток отримали методики розрахунку витрати палива через різні показники, в тому числі, через нерівномірність руху автомобіля по дорозі [41, 63].

Теоретично можливий розрахунок норми витрати палива для конкретних умов руху автомобіля на базі відомих з теорії автомобіля залежностей, що пов'язують рівняння руху і режими роботи двигуна. Для визначення базової норми витрати палива застосовано алгоритм з джерела [51] наведений у спрощеному виді, що дозволить знизити трудомісткість розрахунків без істотної втрати точності.

У відомих роботах М.Я. Говорущенка і інших дослідників в галузі паливного нормування приводиться рівняння, яке враховує ряд додаткових факторів, такі як питома витрата палива [64, 65]:

$$Q = \frac{k_v \cdot k_N \cdot g_N \cdot (G_a \cdot \psi + 0,077 \cdot k \cdot F \cdot V_a^2) \cdot L}{3,6 \cdot 10^6 \cdot \eta_{тр} \cdot p_T}, \quad (1.5)$$

де k_v – коефіцієнт, який враховує залежність питомої витрати палива від швидкісного режиму двигуна;

k_N – коефіцієнт, який враховує залежність питомої витрати палива від завантаження двигуна;

g_N – питома витрата палива при номінальній потужності, г/ (кВт год);

G_a – маса автомобіля, Н;

ψ – коефіцієнт сумарного дорожнього опору руху автомобіля;

k – коефіцієнт опору повітря;

F – лобова площа автомобіля, м^2 ;

V_a – швидкість автомобіля, км/год ;

L – пробіг автомобіля, км ;

$\eta_{\text{тр}}$ – коефіцієнт корисної дії (ККД) трансмісії автомобіля;

ρ_T – густина палива, кг/м^3 .

Для автобусів можна встановити основну норму витрати палива незавантаженого автобуса і додаткову норму на перевезення пасажирів, л / пас-км , приймаючи середню масу пасажирів в 75 кг [32]:

$$Q_{\text{п}} = 0,01 \cdot K_T \cdot K_h \cdot \left[\frac{H_0}{(g_a \cdot \gamma_{\text{ср}} \cdot \beta) + H_d} \right], \quad (1.6)$$

де H_0 – основна норма для незавантаженого автобуса, л/100 км ;

g_a – пасажиромісткість автобуса, пас ;

$\gamma_{\text{ср}}$ – середній коефіцієнт використання пасажиромісткості автобуса;

β – коефіцієнт використання пробігу;

H_d – додаткова норма для перевезення одного пасажирів на відстань 100 км , $\text{л/100 пас} \cdot \text{км}$.

Середній коефіцієнт використання пасажиромісткості:

$$\gamma_{\text{ср}} = \frac{N_{\text{п}} \cdot l_{\text{п}}}{g_a \cdot l_{\text{м}}}, \quad (1.7)$$

де $N_{\text{п}}$ – загальна кількість перевезених автобусом пасажирів на даному маршруті, пас. ;

$l_{\text{п}}$ – середня довжина поїздки пасажирів, км ;

$l_{\text{м}}$ – загальна довжина маршруту, км .

Додаткова норма для перевезення одного пасажирів, $\text{л/100 пас.} \cdot \text{км}$ для

дизельних автобусів $H_d = \frac{1.3 \cdot 75}{1000} = 0,10$.

Проведений аналіз діючих підходів свідчить, що визначення і нормування витрати палива автобусів міських маршрутів здійснюється по модельно по кожному маршруту в розрізі конкретного підприємства, на основі математичної моделі або середньої витрати палива, на основі наявної бази визначення фактичної середньої витрати палива.

1.3 Вплив режимів руху маршрутного автобуса на витрату палива в умовах міста

Основними показниками ефективності міських пасажирських перевезень є рівень надання транспортних послуг, продуктивність маршрутних автобусів і собівартість перевезень. Для експлуатуючих організацій, в теперішній час, головне це витрата палива – найважливіша із складових собівартості пасажироперевезень [19].

Основними напрямками розвитку (адаптації) державної політики у сфері транспорту у довгостроковій перспективі з урахуванням цільового розвитку енергетики мають стати питання енергоефективності та енергозбереження.

Найважливіше направлення підвищення якості і ефективності використання автомобілів нерозривно пов'язане не лише зі створенням сучасних конструкцій і моделей але і з досконалістю методів дослідження і оцінки якісних показників в конкретних умовах експлуатації. В першу чергу щодо міських маршрутних автобусів слід віднести показники паливної економічності, тягово-швидкісні властивості, комфортність і токсичність відпрацьованих газів.

Статистичні дані підтверджують велику роль автобусних перевезень серед пасажирського транспорту держави [66]. Враховуючи відповідні співвідношення (рис. 1.1), є підстави вважати, що в майбутній перспективі автобуси будуть відігравати основну роль в перевезенні пасажирів як у містах, так і у приміському сполученні.

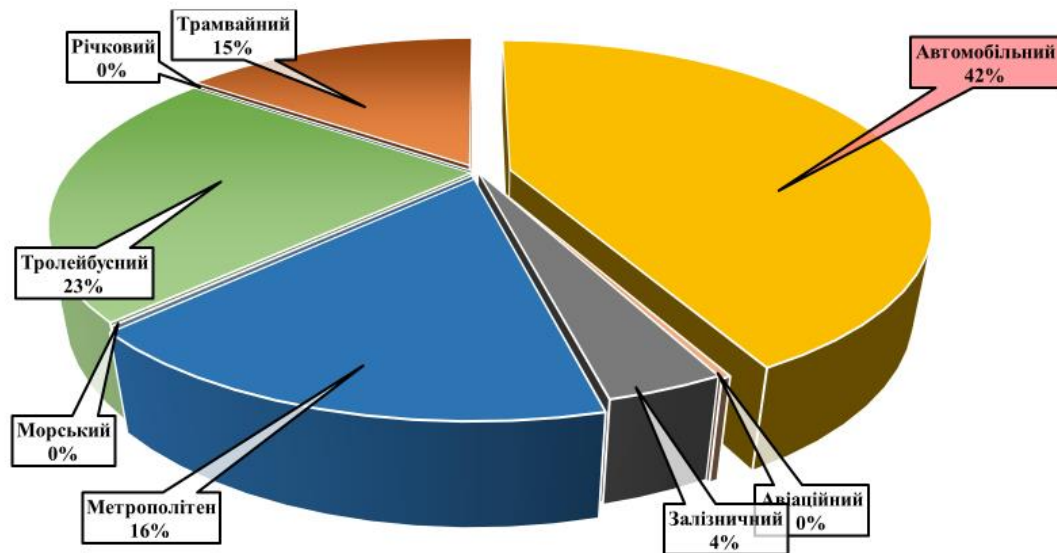


Рис. 1.1 - Розподіл окремих видів транспорту від загального перевезення пасажирів у 2018 році*

*систематизовано автором

Аналізуючи дані державної служби статистики України варто зазначити, що 42 % всіх пасажирських перевезень здійснюється пасажирським автомобільним транспортом, табл. 1.2 [66].

Таблиця 1.2 - Статистика об'ємів пасажирських перевезень автомобільним транспортом в період з 2000 по 2018 рр.

Рік	2000	2005	2010	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Об'єм пасажирських перевезень									
Перевезено пасажирів, млн. чол.	7780	8200	6845	6623	5902	5167	4854	4648	4487
Транспортна робота, млрд. пас. км	113,1	135,8	130,0	128,3	106,3	97,0	102,2	99,4	104,4
Перевезено пасажирів автомобільним транспортом (автобусами)									
Перевезено пасажирів, млн. чол.	2257,5	3836,5	3726,3	3343,7	2913,3	2250,3	2024,9	2019,3	1906,9
Перевезено пасажирів у міському сполученні, млн. чол.	1742,9	2965,9	2922,8	2575,0	2244,4	1666,5	1492,2	1501,6	1436,8
Транспортна робота, млрд. пас. км	28,8	52,5	52,0	49,0	42,6	34,6	34,6	35,6	34,6
Частка автомобільного транспорту в загальному об'ємі пасажирських перевезень									
Перевезено пасажирів, %	33,3	47,1	54,8	50,9	49,4	43,7	42,3	43,4	42,5
Транспортна робота, %	26,3	39,1	38,0	38,2	40,2	35,8	33,8	36,1	33,2

Примітка. Представлено з урахуванням обсягів автомобільних пасажирських перевезень (автобусами), виконаних фізичними та юридичними суб'єктами малого бізнесу. З 2010 року – з урахуванням перевезень пасажирів міською електричкою.

Вирішення транспортних проблем у великих сучасних містах завжди є актуальною задачею, яка постійно потребує розвитку та вдосконалення.

Практика свідчить, що в умовах міста режими руху маршрутного автобуса суттєво відрізняються від режимів руху звичайного автомобіля [67,68]. Достатньо підкреслити, що кількість гальмувань на 1 км маршруту здійснюється водієм в 1,35 рази більше, виключення зчеплення – в 2,48 рази, вимушених зупинок – в 1,54 рази.

При різних умовах експлуатації є поєднання режимів розгону, сповільнення, і режимів, які близькі до рівномірного руху.

Отже, є підстави вважати, що імітаційна модель руху міського автобуса по маршруту з різними експлуатаційними режимами руху відноситься до категорії моделей з дискретною зміною стану. Послідовність таких подій і параметрів експлуатаційного стану системи між ними ілюстровано графіком на рис. 1.2.

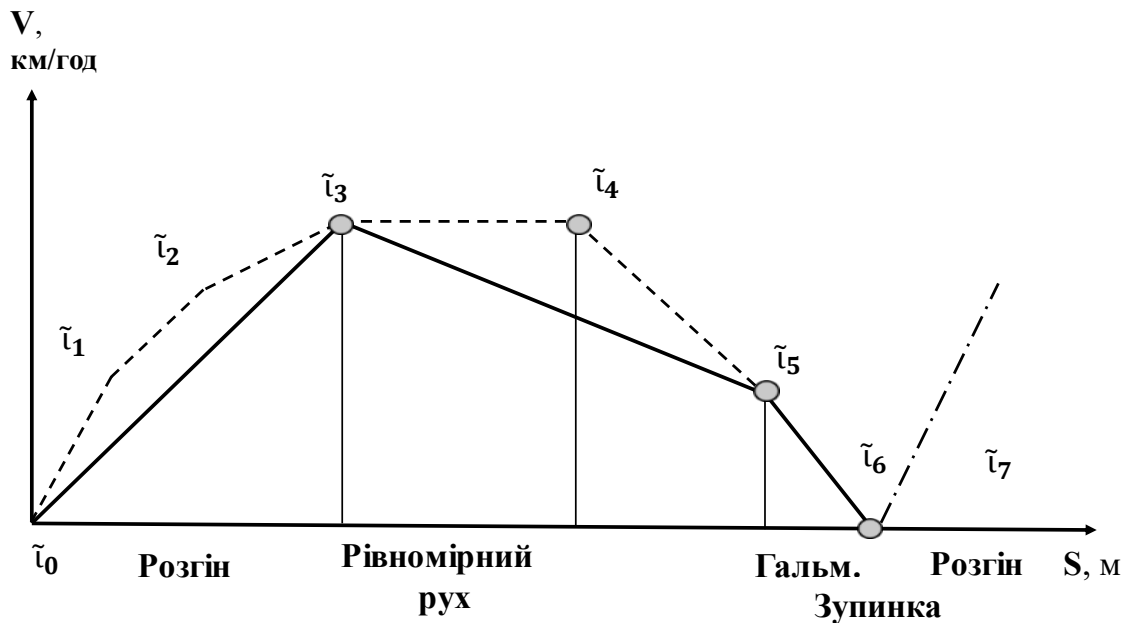


Рис. 1.2 - Схема типових циклів руху міського автобуса*

* розроблено автором

Послідовність моментів системного часу становить:

$\tilde{t}_0 - \tilde{t}_3$ ($\tilde{t}_0 - \tilde{t}_1 - \tilde{t}_2 - \tilde{t}_3$) – розгін;

$\tilde{t}_3 - \tilde{t}_4$ – рівномірний рух;

$\tilde{t}_3 - \tilde{t}_5$ ($\tilde{t}_4 - \tilde{t}_5$) – сповільнення (накат);

$\tilde{t}_5 - \tilde{t}_6$ – гальмування;

$\tilde{t}_6 - \tilde{t}_7$ – зупинка, може бути як планова так і перед перешкодою;

$\tilde{t}_7$ – початок розгону – руху;

$\tilde{t}_0 - \tilde{t}_1 - \tilde{t}_2 - \tilde{t}_3 - \tilde{t}_4 - \tilde{t}_5 - \tilde{t}_6 - \tilde{t}_7$ – величини, які відповідають моментам появи події. При цьому події за часом мають свою послідовність і час імітації кожен раз зміщується вперед на початок наступної події, кожна наступна подія обслуговується по черзі [68].

Це значить, що в загальному випадку руху автобуса швидкісні режими являють собою складні цикли із зупинкам, які складаються із різних складових циклів руху без зупинок, випадково розташованих і тих, які мають випадкове поєднання фаз. Разом з тим, при різному кількісному та якісному поєднанні фаз цикли руху можуть мати самі різноманітні форми, величину швидкості і шляху. При тому, чим різноманітніші умови руху, тим більш різноманітніші форми мають швидкісні цикли руху.

У роботі Володарця М. [69] описаний процес моделювання та оптимізації умов експлуатації транспортних засобів за допомогою інструментів імітаційного моделювання для ділянки транспортної мережі, що може бути характерним для оптимізації умов руху міських автобусів по маршруту.

Науковцями [67, 68], згідно з проведеними дослідженнями, встановлено, що умови експлуатації на маршруті суттєво впливають на ряд техніко-експлуатаційних показників роботи міських автобусів, табл. 1.3.

У роботі [70] зазначено, що найвагоміший вплив на зміну ресурсу силових агрегатів до капітального ремонту чи списання транспортних засобів має швидкість руху і маса перевезеного вантажу. При цьому мають бути враховані індивідуальні конструктивні особливості та зовнішні умови експлуатації конкретного автомобіля.

Таблиця 1.3 - Вплив умов експлуатації на маршруті на показники роботи міських автобусів*

№ з/п	Фактор	Вплив на: %				
		витрату палива	ресурс шин	втрати лінійного часу	Напруже- ність роботи водія	викиди шкідливих речовин
1	Умови руху	50	33	50	33	33
2	Транспортні умови	33	17	33	50	50
3	Дорожні умови	17	50	17	17	17

*систематизовано автором на підставі джерела [70]

У роботі [70] зазначено, що найвагоміший вплив на зміну ресурсу силових агрегатів до капітального ремонту чи списання транспортних засобів має швидкість руху і маса перевезеного вантажу. При цьому мають бути враховані індивідуальні конструктивні особливості та зовнішні умови експлуатації конкретного автомобіля.

Доведено, що багато особливостей має робота водія маршрутного автобуса при виконанні міських перевезень [71]. Він знаходиться в тісній взаємодії з пасажирями, повинен контролювати посадку та висадку пасажирів, виконання розкладу руху, проведення оплати за проїзд та при цьому дотримуватися Правил дорожнього руху. Особисті якості водія і його підготовленість при відповідних обставинах можуть бути домінуючими при ефективності перевізного процесу і управлінні кондиціонером.

В роботі [72] визначено умови експлуатації міських автобусів, які впливають на витрату палива. Серед визначених, найбільший вплив на витрату палива надає частота планових і позапланових зупинок, швидкість руху,

наповненість салону на перегонах, довжина перегону технологічного циклу, інтенсивність руху на маршруті.

Суттєвий вплив на режим руху також мають і випадкові фактори, серед яких інтенсивність і склад транспортного потоку, нестабільність пасажиропотоку, метеорологічні та дорожні умови. Разом з тим, на окремих міських маршрутах, яким притаманний приміський характер руху, підвищеної уваги на периферії міста потребує фактор відсутності тротуарів, звуження проїзної частини та не передбачувані зупинки, що також призводить до зниження швидкості руху (рис. 1.3).

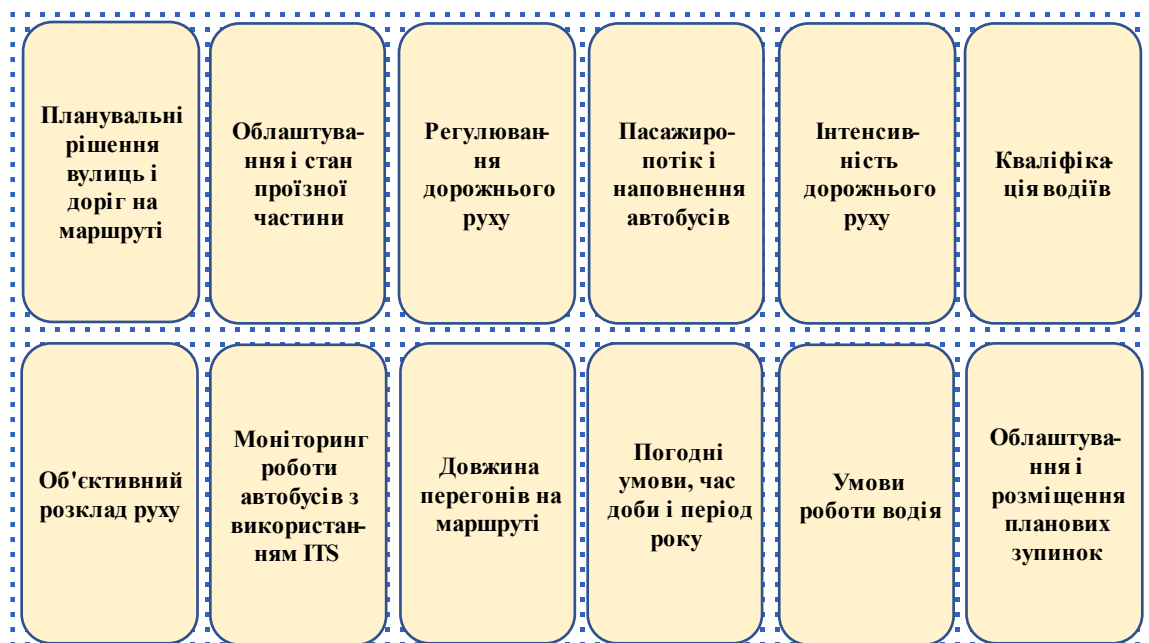


Рис. 1.3 - Основні фактори, які впливають на режими руху міських автобусів*

*власна розробка автора

Науковцями ХНАДУ розроблена найбільш повна єдина класифікація умов експлуатації автомобілів [39]. Запропоновано усі багатогранні дорожні і транспортні умови розділити на чотири класифікаційні групи. Загальним критерієм оцінки умов є середня технічна швидкість автомобіля. Інтервал зміни швидкостей прийнятий від 10 до 100 км/год. Визначена класифікація не враховує

той факт, що значна частина автобусів на міських маршрутах рухається на низьких швидкостях.

Наукові публікації проф. Шаші І.К. [73] визначають екологічні ризики в експлуатації КТЗ в умовах міста, що пов'язано із затримками перед перехрестями і іншими перешкодами. В якості оптимізації управління дорожнім рухом розглядаються величини сумарного часу затримок КТЗ перед перехрестями міської мережі за один цикл регулювання.

Теоретична і експериментальна розробка методу оцінки складності автобусних маршрутів, їх класифікація, яка базується на зібранні інформації про роботу автобуса на лінії, дозволить передбачати та коригувати витрати палива при виконанні перевізного процесу на маршрутах. Дієва відмінність в умовах експлуатації спостерігається на маршрутній мережі між підприємствами і в рамках одного парку [9].

Наприклад, в умовах автобусної маршрутної мережі м. Житомира, спостерігається наступна варіація в експлуатаційних характеристиках маршрутів, а саме [3, 74]:

- технічна швидкість змінюється від 18,75 км/год до 27,7 км/год.
- коефіцієнт використання пасажиромісткості, який опосередковано характеризує завантаження салону на перегонах маршруту, змінюється від 0,25 до 1,75.

Істотна відмінність спостерігається в наявних перешкодах на маршрутах передбачуваного і випадкового характеру (кількість світлофорних об'єктів – відмінність в 2,1 рази, нерегульованих пішохідних переходів – відмінність в 3,7 рази, перехресть і поворотів – відмінність в 2,6 рази) [74, 28].

Відчувається гостра необхідність у визначенні витрати палива автобусами для планування витрат на перевезення пасажирів. В основу методики повинен бути закладений облік швидкісного режиму руху по маршруту як комплексного показника дії різних факторів (умови експлуатації, техніко-економічні показники КТЗ – їхня повна маса, дорожнє покриття, характеристика маршруту руху і т.і.).

1.4 Підходи до формування мікроклімату салону автобуса з кондиціонером

Мікроклімат в салоні міського автобуса в літній період підтримується переважно за рахунок природньої та примусової вентиляції і в разі потреби-кондиціонером. Підтримання відповідних характеристик мікроклімату за допомогою установок кондиціонування повітря найбільш оптимальний варіант. Належний мікроклімат надає позитивний вплив на пасажирів, сприяє комфортності поїздки та підвищує транспортну привабливість [29].

Система кондиціонування повітря є важливою підсистемою у транспортних засобах з підтримки комфорту, особливо для автобусів міських маршрутів. Теплові навантаження, які змінюють мікроклімат в салоні автобуса при виконанні транспортного процесу, досить складні через процеси турбулентної течії і теплообміну. Вони складаються з багатьох термічних форм, а також піддаються впливу багатьох факторів, таких як зовнішня температура, інтенсивність сонячного випромінювання, матеріали облицювання кузова, кількість пасажирів, швидкість руху, місцеположення автобуса тощо [75].

Питання вентиляції і, особливо, кондиціонування повітря в салонах приміських і міських автобусів в даний час в Україні розроблені ще недостатньо. У вимогах до продукції, яка підлягає обов'язковій сертифікації в Україні, відсутні єдині вимоги до мікроклімату салонів міських маршрутних автобусів та рекомендації щодо параметрів мікроклімату в автобусах різного призначення, принципових схем з організації систем кондиціонування та устаткування для кліматичних установок. Така ситуація змушує використовувати для порівняльної оцінки відповідні показники, які прийняті для приміщень загального призначення, залізничних вагонів, іншої колісної техніки тощо [76–83].

Разом з тим, серед діючих в Україні стандартів, які представляють методи прогнозування загального теплового відчуття та ступеня дискомфорту (теплової незадоволеності) людей, що зазнають впливу помірного теплового середовища в

будівлях і системах, відображено у міжнародному стандарті ISO 7730:2005, який був розроблений паралельно із стандартом ASHRAE-55 [84, 85].

Дослідженнями вимог до кліматичних систем і нормалізації мікроклімату колісних транспортних засобів займалися вітчизняні та зарубіжні вчені, серед яких Жуковський С.С. [82], Грибініченко М.В., Куліков Ю.А. [83], Матвєєв Д.В. [86], Хохряков В.П. [87], Палутін Ю.І. [88] та ін. Однак, конструктивні рішення обладнання сучасних автобусів в часі змінюються. Відмінні і умови експлуатації КТЗ в умовах міста, особливо через незначні швидкісні режими руху та нестабільний пасажиропотік.

У роботі [86] наведені результати проектування і представлені розрахунки внутрішньої аеродинаміки системи опалення і вентиляції легкового автомобіля. Термічний опір кожного шару поверхні даху, боковин і накладок пропонується враховувати окремо коефіцієнтами тепловіддачі, теплопровідності і теплосприйняття. Запропоновано метод розрахунку повітрообміну в автомобільному салоні за умов:

- температура повітря всередині і зовні автомобіля однакова;
- положення люків і вікон (відкриті чи закриті) не впливають на характер обтікання автомобіля повітряним потоком;
- збитковий тиск в салоні автомобіля однаковий в усіх його об'ємах;
- тиск повітря в салоні усталений.

Вимірювання величин сумарних ефективних площ нещільності, проведених автором, дозволили оцінити герметичність як окремих частин, так і всього кузова в цілому деяких вітчизняних і зарубіжних автомобілів. Проведений автором наближений розрахунок величини повітрообміну салону автобусів, що мають два ряди пасажирських двомісних сидінь і висоту стелі 196–205 см, привів до верхньої межі повітрообміну, яка дорівнює $2000 \text{ м}^3/\text{год}$. [88].

У роботі [82] представлена математична модель повітрообміну салону автобуса при комбінованій і природній вентиляції. Визначено вплив повітрообміну через дверні отвори в умовах зимової експлуатації та інфільтрації через нещільності кузова. Проте, існуючі математичні моделі нестабільних

теплових навантажень у міському автобусі не повністю відображають теплові процеси, що відбуваються в салоні при наявності пасажирів. Крім того, такі процеси часто вивчаються в сталому режимі, коли теплові потоки та параметри теплового кола постійні і не залежать від часу [76]. Значний вплив на теплообмін між зовнішнім середовищем надає і масивність конструкцій автобуса, завдяки цьому коливання температури на їхній внутрішній поверхні зменшуються.

Відтак, приведений аналіз наукових праць свідчить, що такі дослідження були актуальними на той час.

В роботі [89] під час розрахунків навантаження на міжміський автобус були враховані випромінювання з вікон, тоді як тепловіддача від даху, підлоги, задньої, передньої бічних панелей враховувалися лише за допомогою провідності. Максимальний приріст тепла був обчислений у 25,96 кВт о 17:00 год у липні місяці, і цей випадок є піковим навантаженням. Температура зовнішнього атмосферного повітря в м. Адані, за липень місяць, була прийнята як 36,8 °C і 25,7 °C, відповідно в салоні автобуса.

Проведені дослідження вчених [90] свідчать, що автомобілі з фарбовим покриттям різних кольорів мають відмінну відбивну властивість теплонадходжень непрозорих елементів кузова. В зв'язку з цим були розроблені коефіцієнти згідно з певним кольором непрозорих елементів кузова, які класифіковано як сонячні індекси відбиття (SRI) і були обчислені з урахуванням сонячного відбиття та теплового випромінювання.

Виміри підтвердили, що кольорові спектри темних тонів кузова мають сонячну спектральну відбивну здатність значно нижчу від світлих тонів. Сонячний коефіцієнт відбиття коливається в межах 0,04 (чорний) до 0,70 (білий) з багатьма прохолодними відтінками від сонячного відбиття, приблизно 0,20–0,50. Всі зразки з таким покриттям мали високе теплове випромінювання (0,82–0,95).

Теплові показники мікроклімату характеризуються температурою, відносною вологістю і рухливістю внутрішнього повітря, а також температурою внутрішніх поверхонь облицювання салону. Вони мають, по-перше,

поєднуватися між собою і, по-друге, не перевищувати задані межі. Разом з тим, домінуючим параметром мікроклімату в закритому приміщенні є температура повітря, що стверджено авторами [91].

Вологість повітря, в поєднанні з температурою, може надавати суттєвий вплив на організм людини. Найбільш сприятливі для організму є умови, при яких відносна вологість дорівнює 50 %, а температура – 16...18°C, стверджують лікарі-гігієністи [92].

Огляд і аналіз методів розрахунку систем вентиляції і опалення показав, що в їхню основу покладено інтегральний підхід, який дозволяє визначити лише середні параметри, з використанням оцінки місцевих і лінійних витрат. Наприклад, нормативний документ [93] регламентує температуру повітря в залізничних пасажирських вагонах усіх типів у зимовий період на рівні $+20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, а влітку $+24^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ (у вагонах з кондиціонерами).

Санітарно-технічні умови автомобіля, до яких відноситься кондиціонування, повинні забезпечувати підтримку в кабіні автомобіля оптимальні параметри мікроклімату [76, 79, 83]. Перепад температур повітря за висотою кабінки не повинен перевищувати 3°C.

Дослідження авторів [80, 82, 83, 94, 95] і санітарних норм держави–виробника автобуса МАЗ-206, щодо умов праці водіїв автомобілів [81], а також американського національного стандарту ASHRAE [85] дозволили накопичити відомості про оптимальні параметри мікроклімату в салоні автобуса. Найбільш сприятливі умови для пасажирів автобуса в літній період приведені на рис. 1.4.

Аналізуючи джерело [83], конструкція системи кондиціонування міського автобуса повинна:

- виключати можливість охолодження повітря в зоні голови водія (пасажирів) більше ніж на 8° С щодо температури зовнішнього середовища;
- подавати повітря з системи кондиціонування в салон з температурою не нижче 0° С;
- забезпечувати швидкість повітря в зоні голови водія і пасажирів при роботі кондиціонера не більше 0,5 м/с;

- забезпечувати відносну вологість повітря в зоні присутності пасажирів в межах 30–60 %.

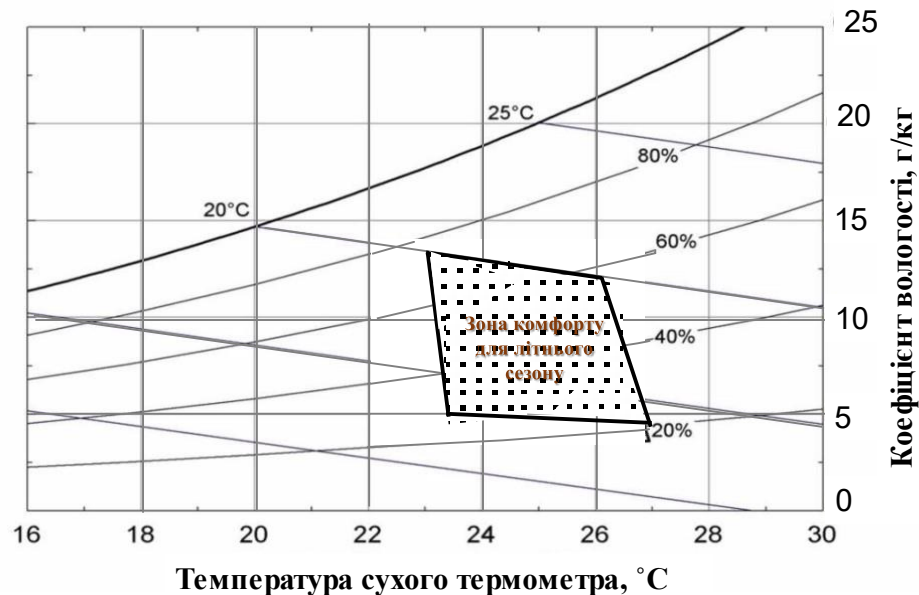


Рис. 1.4 - Оптимальні величини показників мікроклімату в салоні автобуса (залежність вологості повітря від температури сухого термометра)*

*розроблено автором за даними [80 - 85, 94, 95]

Теплопередача, як вид перенесення енергії в просторі, підкорюється основному кінетичному закону, відповідно до якого швидкість процесу прямо пропорційна рушійній силі та обернено пропорційна термічному опору:

$$W_g = \frac{Q}{F \cdot \tau} = \frac{\Delta t}{R_t}, \quad (1.8)$$

де Q – кількість переданого тепла, Дж;

F – площа поверхні теплопередачі, м²;

τ – час, с;

Δt – різниця температур, °C;

R_t – загальний термічний опір процесу теплопередачі, $\frac{K}{Wt}$.

Основною складністю розрахунків теплопередачі через боковини і конструктивні панелі салону є визначення коефіцієнтів тепловіддачі, через це вони уточнюються експериментально.

Всі теплонадходження в салон автобуса при виконанні транспортного процесу змінні за часом. Частина з них залежить від зміни температури зовнішнього повітря і притоку тепла від сонячного випромінювання, а інші є функцією зміни теплового середовища в салоні від пасажирів [30].

Кількість тепла $Q_{огор}$, яке передається через кожне огороження площею F m^2 і має коефіцієнт теплопередачі k ($Вт/м^2 \cdot ^\circ C$), визначається за формулою [76]:

$$Q_{огор} = F \cdot k (t_{зовн} - t_{вн}) \cdot \Psi, \quad (1.9)$$

де Ψ – поправочний коефіцієнт, який застосовують згідно з відомчими нормативами;

$t_{зовн}$ – розрахункова зовнішня температура, $^\circ C$;

$t_{вн}$ – температура, яка відповідає комфортним умовам, $^\circ C$.

Представлена формула не враховує ряд факторів, які впливають на величину тепловтрат і теплонадходжень. Виникає потреба введення поправочних коефіцієнтів на прогнозування теплових втрат салону автобуса для підбору системи кондиціонування.

Метод теплового балансу в салоні міського автобуса застосовується для оцінки навантаження на кондиціонер відповідно часу його роботи, коригування особливостей управління кондиціонером і впливає на додаткову витрату палива силовим агрегатом.

1.5 Основні положення витрати палива і паливної економічності автобусів з кондиціонером

Розглядаючи питання підбору оптимальної потужності двигуна міського автобуса варто орієнтуватися на передбачувані часті технологічні зупинки, які

розташовані досить близько одна від одної. Оскільки, циклічний міський рух по суті складається з розгонів і гальмування, в тому числі і двигуном, для міського автобуса головним є витрата палива, яка формує собівартість перевезень. До того ж, підвищена інтенсивність розгону, для автобусів міських маршрутів, не має першочергового значення, оскільки автобус повинен рухатися за маршрутом відповідно до графіка і вбачається передбачуване його знаходження у визначених контрольних точках на маршруті для циклічного руху усіх автобусів на маршруті.

Враховуючи, що автобус МАЗ-206086 оснащений гідромеханічною коробкою передач, за основу краще взяти показники паливної економічності, а не тягово-швидкісних властивостей, оскільки всі розгінні властивості все одно не можуть бути повністю реалізовані.

Норми витрати палива на автомобільному транспорті призначені для планування потреби підприємств, організацій, які експлуатують автомобілі, прогнозуванню та контролю за витратою палива і слугують показником ефективного використання рухомого складу.

Для автобусів міських маршрутів у літній період експлуатації створюються додаткові експлуатаційні труднощі, які пов'язані з забезпеченням мікроклімату в салоні при підвищеному тепловому навантаженні. Для ефективного використання автобуса у цих умовах, виникає потреба прогнозування додаткової витрати палива на роботу з кондиціонером.

Системи кондиціонування повітря значно збільшують витрату енергії транспортного засобу та додатково впливають на працездатність двигуна. Ці системи можна розглядати як основне допоміжне навантаження на двигун транспортного засобу при роботі. Науковці [96, 97] довели, що компресор системи кондиціонування транспортного засобу середнього розміру може збільшити споживання палива до 12–17 %.

Схема формування витрати палива автобусом з кондиціонером на міському маршруті наведена на рис. 1.5. Зі схеми видно, що експлуатаційна витрата палива складається із палива, яке необхідне для перевезення пасажирів і додаткової

кількості палива, яке витрачається на забезпечення комфорту в салоні за рахунок роботи кондиціонера [10]. У разі використання кондиціонера на кінцевій зупинці для компенсації належного температурного стану в салоні перед початком рейсу на витрату палива впливає зовнішня температура і тривалість простою:

$$g_{\text{експ}} = g_{\text{трансп}} + g_{\text{комф}}, \quad (1.10)$$

де $g_{\text{експ}}$ – експлуатаційна витрата палива, л/100 км;

$g_{\text{трансп}}$ – витрати палива при виконанні транспортного процесу без увімкненого кондиціонера, л/100 км;

$g_{\text{комф}}$ – витрати палива на підтримання температурного комфорту в салоні, л/100 км.

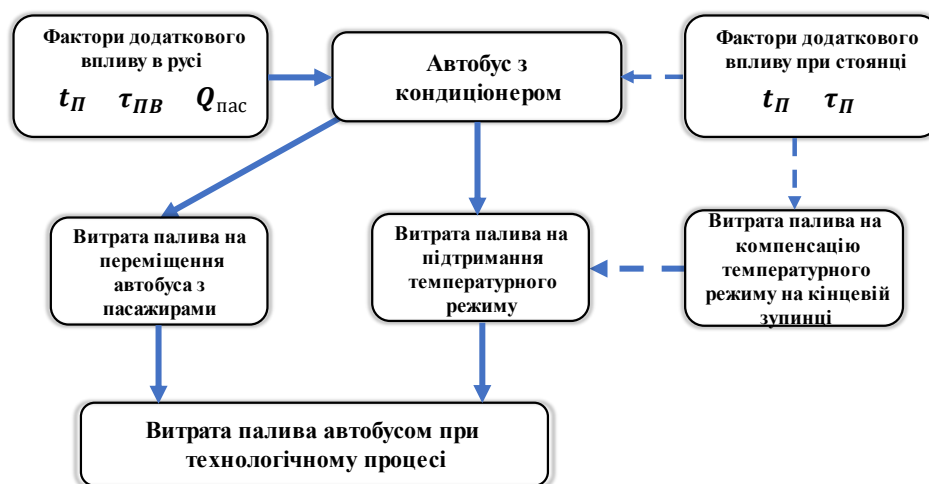


Рис. 1.5 - Схема формування витрати палива автобусом з кондиціонером при літніх умовах експлуатації*

*розроблено автором

Примітка: t_n – температура навколишнього повітря, °C; $\tau_{пв}$ – тривалість стоянки на технологічних зупинках з відкритими дверима для посадки та висадки пасажирів, с; $\tau_{п}$ – тривалість простою на кінцевій зупинці з працюючим

кондиціонером для компенсації температурного стану в салоні, с. $Q_{\text{пас}}$ – тепловиділення в салоні від присутніх пасажирів, Вт.

Витрата палива автобусами в реальних умовах руху по маршруту визначається не лише конструкцією кузова, але і впливом різних експлуатаційних факторів.

Цей узагальнений показник отримав назву експлуатаційної витрати палива. Характерно, що для одного і того ж автобуса він може змінюватися залежно від умов експлуатації. Значний вплив на характеристики таких факторів здійснюють наявні засоби і методи організації руху, параметри транспортних потоків тощо.

Основні фактори, які впливають на витрату палива міським маршрутним автобусом з кондиціонером на маршруті можна розділити на групи:

- транспортні,
- погодно-кліматичні,
- культура експлуатації,
- конструктивні особливості.

Важливе значення на витрату палива автобусом надає культура експлуатації автобуса водієм, як оператором управління кліматичною установкою [23]. Під час проведення натурних досліджень були відзначені випадки незадовільної роботи систем мікроклімату через нестачу знань, пасивності або неправильних дій водія. Від його кваліфікації, яка має багато особливостей, залежить ступінь реалізації потенційних можливостей автомобіля, серед яких найважливішими є якість надання послуг та паливна економічність.

Підвищення паливної економічності транспортних засобів в умовах ринкової економіки набуває особливого значення. Така задача досить складна у зв'язку з різноманіттям факторів, які впливають на експлуатаційну витрату палива.

Отже, паливну економічність автобуса з кондиціонером потрібно розглядати відповідно до транспортного процесу та додатковими умовами, коли виникає потреба в управлінні роботою кондиціонера.

Державою закріплена лише одна технологія нормування витрати палива на автомобільному транспорті. Вона викладена в керівному документі, який регламентує значення норм витрати палива: «Норми витрат палива і мастильних матеріалів на автомобільному транспорті. Третя редакція». Нормативний документ, затверджений Міністерством інфраструктури України [38]. Цей документ призначений для контролю фінансової діяльності підприємств, організацій та установ (юридичних осіб), що діють на території України і експлуатують автомобілі.

В даному документі використовується принцип підходу, який базується на визначені базової лінійної норми витрати палива для різних автобусів з коригуючими коефіцієнтами. Ґрунтуючись на цьому, нормативні витрати палива для автобусів міських маршрутів розраховуються за формулою [38]:

$$Q_H = 0,01 \cdot H_S \cdot S \cdot (1 + 0,01 \cdot K_\Sigma), \quad (1.11)$$

де Q_H – нормативна витрата палива, літри, (м^3);

H_S – базова лінійна норма витрати палива, л/100 км, ($\text{м}^3/100 \text{ км}$);

S – пробіг автомобіля, км;

K_Σ – сумарний коригуючий коефіцієнт.

Сумарний коригуючий коефіцієнт представляє собою загальний відсоток надбавки до визначеної норми витрати палива в залежності від умов експлуатації автобуса.

Базова норма витрати палива залежить від конструкції автобуса, його укомплектованості системами і вузлами. Разом з тим, норма залежить і від виду палива, який використовується двигуном, враховується маса автобуса, маршрут руху з урахуванням складності і режим руху в умовах експлуатації відповідно до вимог Правил дорожнього руху.

Експлуатаційна норма встановлюється за місцем експлуатації автобуса на основі базової норми з використанням коригуючих коефіцієнтів (надбавок), що враховують місцеві умови експлуатації, за формулами, наведеними в даному

документі [38]. Однак, при експлуатації автобусів з кондиціонерами компресорного типу, що працюють від приводу двигуна внутрішнього згорання (ДВЗ), нормування витрати палива ведеться без урахування додаткового навантаження на двигун внаслідок роботи кондиціонера.

Діюча система нормування витрати палива в Україні недосконала, оскільки допускає неоднозначне значення сумарного коригуючого коефіцієнта і не завжди повною мірою враховує умови експлуатації через коефіцієнти, відсутні значення базових норм для значної кількості марок і моделей автомобілів, переважно іноземного виробництва [48, 98].

В умовах пасажирського автотранспортного підприємства (ПАТП) при досконалості технології нормування необхідно впроваджувати розробку індивідуальних норм витрати паливних ресурсів, тобто обліку цілковито конкретних умов роботи визначених транспортних засобів. Індивідуальна норма – це норма витрати палива автобусом даної марки [40].

На прикладі використання в автобусах автономних обігрівачів нормативна витрата палива на роботу обігрівача додається до загальних нормативних витрат і її максимально можливе значення розраховується:

$$Q_{\text{он}} = H_{\text{он}} \cdot 0,01 \cdot K_T \cdot \tau_{\text{он}} , \quad (1.12)$$

де $Q_{\text{он}}$ – максимально можливе значення нормативної витрати палива на роботу обігрівача, л;

$H_{\text{он}}$ – базова норма витрати палива на роботу автономного обігрівача, л/год;

K_T – відсоток використання потужності обігрівача залежно від фактичної температури повітря в холодну пору року, %;

$\tau_{\text{он}}$ – тривалість роботи автономного обігрівача, год.

Аналізуючи формули (1.11 і 1.12) варто зазначити, що в разі використання кондиціонера, управління зазначеними показниками H_s , K_Σ , K_T , $\tau_{\text{он}}$ потрібно перекласифікувати за підходами [58], табл. 1.4.

Аналізуючи формулу (1.12) необхідно відмітити, що вона прийнятна якщо управляти вхідними до неї показниками (табл.1.4). Не визначеною є величина базової витрати палива на роботу обігрівача $H_{он}$ а відсоток використання потужності обігрівача K_T , залежно від фактичної температури повітря, не прийнятний в порівнянні для роботи з кондиціонером.

Викладене свідчить про те, що діючий нормативний документ [38] не враховує параметри управління кондиціонером для забезпечення мікроклімату в салоні автобуса, які представлені в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 - Управління параметрами витрати палива для міського автобуса з кондиціонером*

Параметр	Управління параметрами
$\tau_{\text{конд}}$	Управління здійснюється за допомогою застосування технічних засобів, які дозволяють підтримувати в салоні автобуса оптимальний мікроклімат. Управління показником дозволить знизити витрату палива, яка пов'язана з роботою кондиціонера в автобусі
$K_{\Sigma} - H_{он}$	Управління параметрами здійснюється через застосування їхніх диференціюючих величин. Диференціація проводиться залежно від температури зовнішнього середовища і повітря в салоні
H_5	Управління показником здійснюється шляхом застосування на ПАТП маршрутних норм витрати палива. Для автобусів, які працюють на закріплених маршрутах, керівництвом ПАТП дозволено встановлювати диференційовані маршрутні норми витрати палива в межах потреби, яка визначена згідно з лінійними нормами в цілому по підприємству

*систематизовано автором

Характерною метою прогнозування витрати палива автобусами з кондиціонером є отримання науково обґрунтованих рішень – тенденцій розвитку (зміни) експлуатаційних показників на підставі використання і аналізу різних

кількісних і якісних методів. Систематично оцінена інформація на основі аналізу минулого і сучасного стану експлуатаційно-технічних характеристик експлуатації автобуса на маршруті, є прогноз про майбутнє удосконалення енергозберігаючих вимог до процесу і може бути застосована як основа для планування роботи автобусів з різним терміном експлуатації.

Зростаюча кількість нових марок і моделей автомобілів з кліматичними установками підвищують витрату палива, тому висувуються нові вимоги до визначення способів раціональної витрати палива.

При умові систематичного аналізу статистичних даних фактичної витрати палива на маршруті з використанням сучасних математичних методів і інформаційних технологій можливо досягнути більшої ефективності у маршрутному нормуванні витрати палива автобусами з кондиціонером.

Аналіз закордонного та вітчизняного досвіду впровадження систем кондиціонування на КТЗ свідчить про можливість підвищення ефективності використання їх на автобусах міських маршрутів. Значна роль в цьому напрямку – рішення завдання раціональної витрати палива при роботі з кондиціонером. Структурно-логічна схема постановки наукового завдання представлена на рис. 1.6.



Рис. 1.6 - Структурно-логічна схема постановка наукового завдання дослідження*

*систематизовано автором

Зниження енергоємності автобуса міського маршруту може бути засноване на об'єктивному обліку витрати палива, швидкому реагуванні на зміну експлуатаційних умов, на персональному обліку витрат по кожному автобусу, маршруту, підприємству.

Варто зазначити, що запропоновані моделі і методи реалізуються в математичному та програмному забезпеченні при розширеній функції моніторингу транспортного процесу.

Висновки до розділу 1

1. Автобусні перевезення у містах України в найближчій перспективі залишаються основним видом пасажирських перевезень і мають велике соціальне значення. На їхню частку приходить 42 % від обсягу перевезень іншими транспортними засобами.

2. Проведений огляд і аналіз ряду досліджень умов експлуатації міського автобуса у літній період дозволяє виокремити основні фактори, які необхідні для оцінки маршрутної витрати палива при роботі з кондиціонером за умови забезпечення необхідного мікроклімату в салоні:

- складність маршруту;
- технічна швидкість руху;
- температура зовнішнього повітря;
- пасажироприсутність;
- конструктивні особливості;
- культура експлуатації (управління кондиціонером).

3. На сучасному етапі, при введенні в експлуатацію автобусів з кондиціонером для міських маршрутів, є наукова прогалина в нормуванні витрати палива без врахування факторів теплових впливів на мікроклімат в салоні.

4. Теоретичний аналіз і міжнародна практика свідчить, що визначення і нормування витрати палива автобусів міських маршрутів здійснюється по модельно по кожному маршруту в розрізі конкретного підприємства на основі математичної моделі або наявної бази середньої витрати палива при фактичних значеннях.

5. Недостатньо розроблені технології енергозбереження при роботі міських автобусів з кондиціонером через відсутність нормування мікроклімату і реалізації оперативного управління в умовах сучасних інформаційних технологій.

РОЗДІЛ 2

ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ВИТРАТИ ПАЛИВА ПРИ РОБОТІ З КОНДИЦІОНЕРОМ

2.1 Загальна методологія розробки підходів до визначення витрати палива міським автобусом з кондиціонером

Розробка нових підходів до нормування витрати палива автобусом потребує формування цільової функції як одного з головних методів вирішення проблем, які виникають при досягненні мети дослідження.

До операцій, які виконуються з метою прийняття нових рішень, при раніше не відомих, належать як окремі підходи, наприклад, розробка раціональної маршрутної норми витрати палива для автобуса МАЗ-206086 при роботі з кондиціонером і без кондиціонера, так і інші операції, що стосуються досягнення мети, яка стоїть перед системою в цілому.

В разі формування маршрутної витрати палива автобуса МАЗ-206086 параметр ефективності (цільова функція), на прикладі підходу [67] може залежати від трьох груп факторів:

$$\begin{array}{c}
 \text{I} \qquad \qquad \qquad \text{II} \qquad \qquad \qquad \text{III} \\
 \underbrace{\hspace{1.5cm}} \quad \underbrace{\hspace{1.5cm}} \quad \underbrace{\hspace{1.5cm}} \\
 H_{\text{мк}} = U \cdot (A_1, A_2, A_3 \dots A_n; B_1, B_2, B_3 \dots B_m; C_1, C_2, C_3 \dots C_k), \quad (2.1)
 \end{array}$$

де U – параметр ефективності;

$A_1, A_2, A_3 \dots A_n$ – група факторів, які характеризують умови роботи на маршруті і є незмінними при визначенні ефективності роботи рухомого складу.

Перша група відображає параметр складності автобусного маршруту, який характеризує [27, 98]:

A_1 – питому кількість технологічних зупинок на маршруті, шт/км;

A_2 – питому кількість нерегульованих пішохідних переходів, шт/км;

A_3 – питому кількість світлофорних об'єктів, шт/км;

A_4 – щільність транспортного потоку на перегонах, авт/100 м;

A_5 – середню відстань між технологічними зупинками, l_{cp} /км;

A_6 – коефіцієнт використання пасажиромісткості;

A_7 – середню кількість залізничних переїздів на маршруті, шт/км;

A_8 – технічну швидкість, км/год;

A_9 – швидкість сполучення, км/год;

A_{10} – пристрій примусового зниження швидкості «лежачий поліцейський».

Друга група факторів може змінюватися при управлінні, впливаючи на цільову функцію. Їх можна характеризувати як елементами рішення [12, 13, 59, 64, 67].

До них належать:

B_1 – застосування обґрунтованих нормативів системи;

B_2 – забезпечення виконання рекомендацій функціонування системи;

B_3 – досконалість технології, організації і управління процесами ТО і Р (технічне обслуговування і ремонт);

B_4 – комп'ютеризація і індивідуалізація обліку і звітності;

B_5 – запровадження GPS контролю за роботою автобусів і його систем;

B_6 – забезпечення підприємства персоналом;

B_7 – підвищення кваліфікації причетних осіб до діяльності системи;

B_8 – досконалість системи стимулювання персоналу;

B_9 – створення резерву справних автобусів;

B_{10} – вибір раціональних типів і моделей рухомого складу;

B_{11} – вибір якісних експлуатаційних матеріалів;

B_{12} – сезонна оптимізація розкладу руху;

B_{13} – зменшення нульових пробігів;

B_{14} – раціональні терміни служби автобусів.

Третя група ($C_1, \dots, C_k$) – це завчасно невідомі умови, вплив яких на ефективність системи недостатньо вивчено. До них можна зарахувати природно-кліматичні та інші умови, які характеризуються наступними факторами [2, 3, 30]:

C_1 – температура навколишнього середовища;

C_2 – вплив присутніх пасажирів на мікроклімат в міському автобусі;

C_3 – вплив тривалості відкритих дверей на теплообмін салону;

C_4 – вплив швидкості руху автобуса на витрату палива;

C_5 – дія агресивності навколишнього середовища;

C_6 – вплив водія на управління кондиціонером.

Враховуючи, що автобусний парк КП «Житомирського трамвайно-тролейбусного управління» Житомирської міської ради, як приклад, на сучасному етапі розвитку має нормальні умови для функціонування виробничо-технічної бази і забезпечення перевізного процесу, норми витрати палива будуть формуватися під впливом факторів першої і третьої груп. При цьому вважаємо, що протягом певного періоду року не буде суттєвих змін факторів другої групи.

Це свідчить про те, що нормування повинно проводитися по закріпленим конкретним маршрутам, характеристики яких відомі. При цьому фіксуються пробіги автобусів за робочий день, фактичні витрати палива, простої на маршруті з технічних причин, середні швидкості руху, час в наряді, кількість перевезених платних пасажирів тощо. Враховуючи, що автопідприємство також за допомогою системи GPS контролю за роботою автобусів має достовірні дані по факторам першої і третьої групи, найбільш раціонально визначати фактори впливу на витрату палива автобуса МАЗ-206086 за принципом «чорної скриньки».

Для розроблення цільової функції формуються підходи, при яких визначають показники, які можуть бути залежними і не залежними, тобто впливати і не впливати на об'єкт дослідження. Залежними називають ті показники, при яких оцінка альтернативи по одному з них визначає оцінку по другому критерію. Це дає можливість зафіксувати ефект експериментального впливу, тобто впливу незалежної змінної на залежну. При цьому необхідно визначити, чи демонструє обрана змінна достатню надійність при подальшому повторюванні вимірювань? Визначені фактори впливу на витрату палива міським автобусом при роботі з кондиціонером є незалежними.

В даний час при роботі на міських маршрутах автобусів з кондиціонером проблематичними залишаються питання нормалізації мікроклімату салону під впливом різних чинників, що негативно позначається на самопочутті пасажирів. Складність полягає в тому, що параметри мікроклімату залежать від великої кількості зовнішніх і внутрішніх збуджуючих чинників, які досить не стабільні за часом і складно піддаються врахуванню. Все це стримує розробку єдиного підходу до нормалізації мікроклімату при міських пасажирських перевезеннях і, в разі використання кондиціонера, до правильного нормування витрати палива [99].

Модель системи взаємодії зовнішніх і внутрішніх факторів на міський автобус при роботі з кондиціонером наведена на рис. 2.1.



Рис. 2.1 - Система взаємодії зовнішніх і внутрішніх факторів на автобус*

де $X_{VC}, \text{м}^3$ – об'єм салона;

$X_t, ^\circ\text{C}$ – температура навколишнього середовища;

X_Y – коефіцієнт світло відбиття непрозорих елементів кузова;

X_P – коефіцієнт пропускнуої здатності прозорих елементів кузова;

$X_K, \text{кВт}$ – потужність кондиціонера;

$X_N, \text{кВт}$ – потужність двигуна;

X_i – невраховані фактори.

*систематизовано автором

До зовнішніх факторів впливу на автобус з кондиціонером можна зарахувати: навколишнє середовище, режим руху, який визначає технічну швидкість, тривалість простою на технологічних зупинках з відкритими дверима. Відповідно, до внутрішніх факторів належать: коефіцієнт світловідбиття непрозорих елементів кузова, площа прозорих і непрозорих елементів кузова, кількість теплоти, яка виділяється від пасажирів і потужність двигуна [15].

В загальному вигляді витрату палива міським автобусом, який оснащений кліматичною установкою, варто представити виразом [5]:

$$Q_{k-k} = f(N_{k-k}), \quad (2.2)$$

де N_{k-k} – споживана потужність кондиціонером, Вт.

Вплив останнього фактора може бути представлено в загальному виді:

$$N_{k-k} = f(V_{ca}; Q_0; t_{nc}; \gamma; S_{пр}; t_{пв}; q_l), \quad (2.3)$$

де V_{ca} – об'єм салону автобуса, м³;

Q_0 – холодопотужність кліматичної установки м³/год;

t_{nc} – температура зовнішнього повітря, °С;

γ – коефіцієнт світловідбиття непрозорих елементів кузова;

$S_{пр}$ – площа прозорих елементів кузова, м²;

$t_{пв}$ – час відкритого стану дверей при посадці та висадці пасажирів, хв.;

q_l – кількість теплоти, яку виділяють пасажирів в салоні, Вт.

Балансове рівняння надлишкових теплонадходжень у салон автобуса можна записати у вигляді:

$$Q_{ск} = Q_{оп} + Q_{ок} + Q_{вд} + Q_{пас} + Q_{пп}, \quad (2.4)$$

де $Q_{оп}$ – теплота, що надходить в салон від опалювальних приладів, Вт;

$Q_{ок}$ – теплота, що потрапляє в салон через огорожувальні конструкції, Вт;

$Q_{вд}$ – теплонадходження від внутрішніх джерел автобуса, Вт;

$Q_{пас}$ – теплота, яка виділяється від присутніх пасажирів, Вт;

$Q_{ш}$ – теплота, що надходить в салон з припливним повітрям, в тому числі через відкриті двері при посадці та висадці пасажирів на зупинках, Вт.

Теплота від інтенсивності сонячного світла (променевий теплообмін) врахована у додатку $Q_{ок}$. Цей показник входить у вигляді прямої (q_{pi}) та розсіяної (q_{pi}) сонячної радіації.

Проведені дослідження американських вчених [90] констатують, що автомобілі з фарбовим покриттям різних кольорів мають відмінну відбивну властивість непрозорих елементів кузова. В зв'язку з цим, були розроблені коефіцієнти відповідно до певного кольору непрозорих елементів кузова, які класифіковано як сонячні індекси відбиття (SRI) і були обчислені від сонячного відбиття та теплового випромінювання. Виміри підтвердили, що прохолодні кольори мають сонячну спектральну відбивну здатність значно нижчу від світлих тонів. Сонячне відбиття коливається в межах 0,04 (звичайний чорний) до 0,70 (звичайний білий), з багатьма прохолодними відтінками від сонячного відбиття приблизно 0,20–0,50. Всі зразки з покриттям демонстрували високий тепловий викид (0,82–0,95).

Науковцями [99] доведено, що кількість теплоти, яка надходить ззовні до салону легкового автомобіля залежить від площі застління і кольору непрозорих елементів кузова.

Можна припустити, що визначальними факторами на кількість теплоти, що надходить в салон автобуса є його об'єм, площа прозорих та непрозорих елементів кузова, колір його облицювальних металевих панелей, пасажирописутність. Для досягнення поставленої мети необхідно дослідити вплив факторів з вище наведених груп та час простою на кінцевій зупинці, що дозволить компенсувати показники втраченого мікроклімату.

Основними параметрами роботи кліматичної установки міського автобуса є холодопотужність і потужність, яка залежить від [11]:

- площі прозорих елементів кузова з певними теплозахисними властивостями;
- наповненості салону автобуса, яка змінюється зі змінним пасажиропотоком на маршруті;
- частоти відкриття дверей (кількість і тривалість простою на планових технологічних зупинках);
- тривалості роботи двигуна на холостих обертах (у заторах, очікуванні дозволеного сигналу світлофора, зупинках на нерегульованих пішохідних переходах і т.і.);
- тепловідбиття непрозорих елементів кузова, яке залежить від кольору і характеризує властивість частково поглинати, переломлювати і відбивати надходження сонячної енергії.

2.2 Витрата палива міськими автобусами і складність маршруту

Перевезення певної кількості пасажирів на одиницю палива, що витрачається двигуном, характеризує порівняльну ефективність автобуса з точки зору енергозбереження.

В технічній характеристиці на КТЗ витрата палива наводиться за умов роботи в найбільш економічному режимі двигуна та оптимальної швидкості руху. В реальних умовах роботи на маршруті ці показники різняться з паспортною характеристикою автомобіля.

Для детального аналізу швидкісних властивостей і паливної економічності автобуса при роботі на міських маршрутах з виявленням причин, які зумовлені отриманням техніко-економічних показників і знаходження шляхом покращення розглянутих якостей автомобіля і експлуатаційного процесу, досить корисним є експериментально-розрахунковий метод дослідження. Метод передбачає отримання експериментальних вихідних даних і використання їх для відповідних розрахунків через визначені критерії складності автобусного маршруту.

Фактична витрата палива відображає реальну кількість палива, яке було витрачено при виконанні перевезення. Цей показник може сильно варіюватися залежно від умов експлуатації, технічного стану автомобіля та навичок водія [53].

Теоретично можливий розрахунок норми витрати палива для конкретних умов руху автомобіля на базі відомих з теорії автомобіля залежностей, що пов'язують рівняння руху і режими роботи двигуна. Такий розрахунок виконано для визначення базової норми витрати палива за методикою [50] (Технічні дані автобуса МАЗ-206086 та розрахунок витрати палива на маршруті представлені [5] і додатку Б).

При цьому норма витрати палива автобуса визначена як:

- для спорядженої маси автобуса:

$$Q_c = 0,0028 \cdot V_a^2 + \frac{667}{V_a}, \quad (2.5)$$

- для повної маси автобуса:

$$Q_{\pi} = 0,0028 \cdot V_a^2 + \frac{948}{V_a}. \quad (2.6)$$

На рис. 2.2 наведені графічні залежності витрати палива автобуса МАЗ-206086, що побудовані за формулами (2.5) та (2.6).

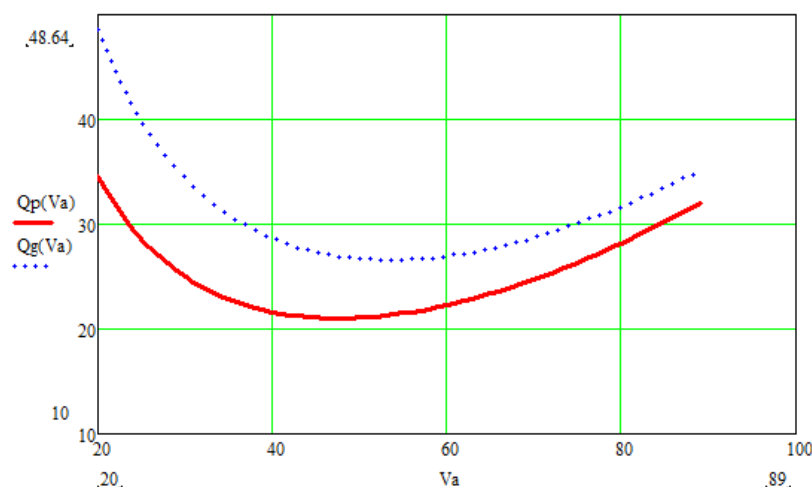


Рис. 2.2. Шляхова витрата палива Q (л /100 км) для спорядженого (суцільна лінія) і навантаженого (пунктирна лінія) стану автобуса МАЗ-206086 залежно від

швидкості руху V_a (км/год)*

*розроблено автором

На базі шляхової витрати палива розрахована експлуатаційна (маршрутна) витрата палива для автобусів, яка склала 28,9 л/100км, у тому числі на роботу кондиціонера 1,16 л/год (додаток Б).

Сукупність індивідуальних техніко-експлуатаційних якостей кожної моделі автобуса, їх відносно постійне закріплення за відповідними маршрутами дозволяє в якості об'єкта нормування основних параметрів технічної експлуатації вибирати кожний окремо взятий автобус, який працює на конкретному маршруті.

2.3 Вплив навколишнього середовища на тепловий режим салона автобуса

На теплове навантаження салону КТЗ впливають багато таких параметрів, як розміри прозорих і не прозорих елементів кузова, теплові властивості кузова, метеорологічні умови тощо. Через складність і різноманітність таких чинників впливу дуже складно розглянути всі фактори впливу та провести виміри [100]. Разом з тим, основним фактором, який визначає інтенсивність теплообміну є температура [101]. Залежність інтенсивності різних видів теплообміну від температури неоднакова, через це у різних зонах салону може переважати той чи інший механізм теплопереносу. Для міського автобуса, який рухається по маршруту, властивий нестаціонарний теплообмін, оскільки температурне поле змінюється в часі.

Для формування визначальних показників при розрахунках теплонадходжень в салон автобуса були проведені вимірювання площі прозорих і непрозорих елементів кузова автобуса МАЗ-206086. Результати представлені в додатку А.

Теплова рівновага в салоні автобуса настає тоді, коли вхідні теплові потоки відповідають тепловим потокам, які виходять з салону. Відповідно, рівняння теплового балансу в загальному виді салону автобуса буде мати вигляд [14]:

$$\sum_{i=1}^n Q_i = \sum_{j=1}^m Q_j, \quad (2.7)$$

де Q_i – теплонадходження в салон, Вт;

Q_j – тепловідвід з салону, Вт;

n – кількість складових, які задіяні в теплонадходженні;

m – кількість складових, які задіяні в тепловідводі.

Варто зазначити, що зовнішні теплові навантаження можуть бути позитивними і від’ємними залежно від пори року і часу доби.

Рівняння теплового балансу салону автобуса, як прояв закону збереження і перетворення енергії, формується з урахуванням особливої форми передачі енергії. Розрахунки теплового балансу виконуємо для теплого періоду року. В такому разі, деякі складові рівняння потребують виключення:

теплота від опалювального приладу $Q_{оп} = 0$.

Теплонадходження від внутрішніх джерел автобуса можна розділити на складові:

- теплота від двигуна автобуса;
- теплота, яка потрапляє в салон автобуса при роботі електрообладнання.

В салоні автобуса МАЗ-206086 силовий агрегат та сучасне електричне обладнання з електронними компонентами відповідають безпечній конструкції, знаходяться в окремому відсіку, який ізолюваний від пасажирського салону з хорошою тепловою і звуковою ізоляцією [102]. Доведено, що теплоприпливом від двигуна і складових електрообладнання можна знехтувати, тобто, $Q_{вд} = 0$ [6].

З урахуванням вищенаведеного, кількість тепла, яке надходить в салон автобуса, визначається рівнянням:

$$Q_a = Q_{зпi} + Q_{нпi} + Q_{л}, \quad (2.8)$$

де $Q_{зпi}$ – теплота через прозорі елементи кузова «засклені поверхні», Вт;

$Q_{нпi}$ – теплота через «непрозорі поверхні», Вт;

$Q_{л}$ – теплота від присутніх людей в салоні, Вт.

Враховуючи, що теплопередача через стекла салону відбувається не лише теплопровідністю, а і променевим теплообміном (враховується лише у літній період), теплота, яка передатися в салон визначається за формулою [83]:

$$Q_{зпi} = k_c \cdot F_c (t_{zei} - t_c) + d_c \cdot F_c (q_{пi} + q_{pi}), \quad (2.9)$$

де k_c – коефіцієнт теплопередачі стекол, Вт/(м² °С)[103];

F_c – усереднена площа прозорих елементів салону, яка піддана впливу сонячному випромінюванню, м²;

t_{zei} – еквівалентна температура зовнішнього повітря з урахуванням дії сонячного випромінювання, °С;

t_c – нормативна температура в салоні автобуса, °С, $t_c = 24$ °С;

d_c – коефіцієнт пропускання теплоти сонячної радіації [103];

$q_{пi}$ – щільність теплового потоку прямої сонячної радіації Вт/м² [104, 105];

q_{pi} – щільність теплового потоку розсіяної сонячної радіації Вт/м² [106].

Густина теплового потоку залежить від географічної широти населеного пункту, де вона визначається.

Еквівалентна температура зовнішнього повітря t_{zei} (°С), з урахуванням сонячного випромінювання, визначається за формулою [79]:

$$t_{zei} = t_z + \alpha \frac{(q_{пi} + q_{pi})}{\alpha_3}, \quad (2.10)$$

де t_z – розрахункова температура зовнішнього повітря, °С, $t_z = 27,7$ °С (нормативна), ($t_{zi} = 18; 19; 20; 22; 24; 27; 30; 32$ °С – в різні години дня);

α – коефіцієнт поглинання теплоти сонячної радіації огорожуючими конструкціями кузова [103];

a_3 – коефіцієнт тепловіддачі від зовнішніх поверхонь кузова, Вт/(м² °C) [107]:

$$a_3 = 1,163 \cdot (5 + 10 \cdot V_{\text{п}}), \quad (2.11)$$

де $V_{\text{п}}$ – швидкість повітря вздовж вертикальної поверхні огорожуючих конструкцій автобуса, $V_{\text{п}} = 5$ м/с (під час руху автобуса), $V_{\text{пс}} = 1$ м/с (на кінцевій зупинці) [4].

Сумарні теплонадходження в салон автобуса через непрозорі елементи кузова знаходимо за аналогією [83]:

$$Q_{\text{нпi}} = \sum_{i=1}^n k_{CTi} \cdot F_{CT} \cdot (t_{zei} - t_c), \text{ Вт} \quad (2.12)$$

Тепловтрати через огорожувальні панелі за рахунок перепаду температур салону автобуса і зовнішнього повітря визначаються за формулою:

$$Q_{\text{вт}} = \sum_{i=1}^n k_{CTi} \cdot F_{CT} \cdot (t_c - t_3) \cdot \Psi, \quad (2.13)$$

де n – число непрозорих елементів салону, які прийняті до уваги при розрахунках теплового балансу;

k_{CTi} – коефіцієнт теплопередачі непрозорої стінки салону, Вт/(м² °C);

F_{CT} – площа i -ї панелі боковини салону, м²;

t_c – температура повітря в салоні автобуса, °C;

t_3 – розрахункова температура зовнішнього повітря, °C.

Ψ – поправочний коефіцієнт, який може вводитися відомчими рекомендаціями (наявність неметалевих зовнішніх складових, колір зовнішніх панелей тощо), є важливим фактором обмеження або підсилення теплопритоків.

Розрахунок надходження тепла через зовнішні огорожуючі конструкції кузова у літній період ускладнюється суттєвими коливаннями температури зовнішнього повітря протягом доби і ще більшими коливаннями теплового

поток на зовнішні поверхні кузовних панелей з урахуванням сонячного випромінювання.

Опір теплопередачі конструктивних елементів салону кузова $R_{ок} \left(\frac{м \cdot ^\circ C}{Вт} \right)$ є величина зворотня коефіцієнта теплопередачі, тобто, $R_{ок} = \frac{1}{\alpha}$.

Величина $R_{ок}$ визначається за виразом:

$$R_{ок} = \sum R_{ос} + R_{в} + R_{з}, \quad (2.14)$$

де $\sum R_{ос}$ – сума термічних опорів усіх шарів огорожувальної конструкції кузова, включно повітряні прошарки;

$R_{в}$ і $R_{з}$ – опір теплосприйняття внутрішньої і зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції салону.

Термічний опір шару матеріалу, який використовується в облицюванні, визначається формулою:

$$R_{мс} = \frac{\delta}{\lambda}, \quad (2.15)$$

де δ – товщина одного шару облицювання, м;

λ – коефіцієнт теплопровідності Вт/(м · °К) [106].

Непрозорі стінки салону сучасних автобусів складаються з декількох площин: металевої обшивки у вигляді панелей, антикорозійного покриття, повітряного прошарку, протишумного і термоізоляційного наповнювача, пластмасової або комбінованої обшивки салону. Відповідно, кількість теплонадходжень через багатошарові елементи кузова при різності температур всередині салону і зовні залежить від типу матеріалу, товщини кожного шару і характеристики теплообміну на зовнішніх і внутрішніх поверхнях кузова. Для спрощення розрахунків, стінки кузова автобуса рахуються плоскими і процес передачі через плоску багатошарову боковину, що характеризується теплопередачею з урахуванням формули (2.15) можна визначити:

$$k_{cmi} = a_1 + \sum_{i=1}^n \frac{\gamma_i}{\delta_i} + a_2, \quad (2.16)$$

де δ_i – товщина i -го шару стінки, м;

λ_i – коефіцієнт теплопровідності матеріалу i -го шару, Вт/(м·°C);

a_1 – коефіцієнт теплопередачі через зовнішню конструкцію, Вт/(м·°C);

a_2 – коефіцієнт теплопередачі через внутрішню конструкцію, Вт/(м·°C).

Коефіцієнти тепловіддачі від елементів панелей кузова в навколишнє середовище a_1 і a_2 залежать від швидкості повітря, яке їх огортає. Підвищення швидкості зовнішнього повітря за рахунок швидкості автомобіля слугує способом зменшення теплового навантаження лише у тому випадку, коли температура зовнішньої панелі вища, ніж температура навколишнього повітря. Збільшення температури повітря всередині салону обмежено санітарними нормами, тому створення штучних умов охолодження внутрішніх панелей не розглядається.

Перший член правої частини рівняння визначає опір тепловіддачі зовнішньої поверхні панелі даху і боковин кузова автобуса, другий – сумарний термічний опір усіх теплоізоляційних шарів, а третій – опір сприйняття внутрішніх конструктивних поверхонь облицювання панелей боковин і даху.

В результаті аналізу приведених розрахунків [4] встановлено, що площа прозорих елементів салону є визначальним показником при розрахунку кількості теплонадходження через площі складових автобуса.

В експериментальному дослідженні встановлено, що бокові прозорі елементи вікон автобуса це поглинальні шибки з коефіцієнтом пропускну здатності сонячного проміння 0,7 [106]. Температура цього скла зростає до 40–50°C, через що такі шибки, порівняно з іншими видами скла, віддають значно більше теплоти конвекцією і випромінюванням. Скло вікон має легке чорнувате забарвлення і повинно охолоджуватися через провітрювання, шляхом контактування з зовнішнім середовищем під час руху.

2.4 Теплонадходження від пасажирів

Важливим фактором, який впливає на тепловий комфорт в салоні автобуса є тепловиділення від присутніх пасажирів, які знаходяться в значно не великому об'ємі. Разом з тим, комфорт пасажирів є важливим показником якості надання транспортних послуг і вирішальним фактором у виборі режиму перевезення пасажирів. Відчуття теплового комфорту в салоні автомобіля забезпечується факторами, які залежать від теплообміну між тілом людини і навколишнім середовищем [108–111].

При експлуатації міського автобуса у літній період суттєво погіршується рівень комфорту в салоні, основним показником якого є температура повітря [91]. Додаткове охолодження повітря салону необхідно вже при температурі зовнішнього середовища $+19^{\circ}\text{C}$ [30]. А в години підвищеної пасажирської активності (години «пік»), коли міський автобус здійснює рух по маршруту з коефіцієнтом завантаження близько до 1,0, температура в салоні становить більше 10°C порівняно з зовнішньою температурою (експертні дослідження).

Тепло від дорослих людей (пасажирів) потрапляє в салон автобуса в вигляді явної та прихованої теплоти.

Надходження явного тепла в салон автобуса від пасажирів можна визначити за формулою [108]:

$$Q_{\text{пас}} = n \cdot \beta_2 \cdot (2,5 + 10,3 \cdot \sqrt{V_{\text{в}}}) \cdot (35 - t_{\text{ca}}), \text{ Вт}, \quad (2.17)$$

де n – кількість (середньоденна) пасажирів в салоні автобуса, пас.;

β_2 – коефіцієнт, що залежить від одягу пасажирів;

$V_{\text{в}}$ – середня швидкість повітря в салоні автобуса, м/с;

t_{ca} – температура повітря в салоні, приймаємо 24°C .

Така кількість теплоти корелюється з твердженнями, які приведені в роботах [107, 109] для пасажирів, що перебуває в салоні міського і приміського автобуса, величина повного тепла, що потрапляє в салон, становить 100...140 Вт.

Для пасажирів автобуса величина вказаної теплоти залежить, в основному, від температури повітря в салоні.

В літературних джерелах [107, 109] показано, що при прийнятому тепловому критерії (легка робота) і температурі навколишнього середовища близько 20–25°C повна теплота від людини складає 145–155 Вт.

Із наведених розрахунків теплового балансу салону автобуса підтверджено, що частина складових цього балансу є практично постійними і залежать, в основному, від параметрів зовнішнього повітря. Перемінна складова – надходження теплоти від пасажирів. Вона залежить від кількості пасажирів та тривалості їх перебування в салоні. Важливо знати, яка температура повітря буде в салоні автобуса після надходження теплоти від певної кількості пасажирів.

Прогнозовані конвекційні тепловиділення людей в залежності від температури навколишнього повітря наведені в додатку В [106].

Приріст температури, Δt (°C/c) визначається за формулою:

$$\Delta t = \frac{Q}{V \cdot \rho \cdot c}, \quad (2.18)$$

де V – об'єм салону автобуса, м³;

ρ – густина повітря, кг/м³;

c – теплоємність повітря, Дж/кг·°C.

Сумарні тепловиділення в салоні автобуса визначають за формулою:

$$Q_{\text{п п}} = \sum_{i=1}^n Q_{\text{пас}} \cdot n_i, \quad (2.19)$$

де $Q_{\text{пас}}$ – виділення теплоти одним пасажиром, Вт/пас;

n_i – кількість пасажирів в салоні, пас.

В табл. 2.1 наведені розрахункові дані теплового навантаження (Q), величини приросту температури, Δt і температури повітря, t° в салоні через одну

хвилину після його заповнення пасажирами в указаній кількості. Кондиціонер не працює, вентиляційні люки закриті.

Таблиця 2.1 - Теплове навантаження, приріст температури і температура повітря в салоні автобуса МАЗ-206086*

Кількість пасажирів, люд.	Коефіцієнт пасажирського навантаження	Рівень навантаження салону	Температура повітря за межами автобуса, °C						
			18	19	20	22	24	27	30
			Теплове навантаження, Q Вт Приріст температури, Δt Температура повітря в салоні, t °C						
до 26	0,35	1	<u>3950</u> <u>4,9</u> 22,9	<u>3900</u> <u>4,8</u> 23,8	<u>3820</u> <u>4,7</u> 24,7	<u>3870</u> <u>4,8</u> 26,8	<u>3770</u> <u>4,7</u> 28,7	<u>3770</u> <u>4,7</u> 31,7	<u>3770</u> <u>4,7</u> 34,7
27–35	0,50	2	<u>5320</u> <u>6,6</u> 24,6	<u>5250</u> <u>6,5</u> 25,5	<u>5145</u> <u>6,4</u> 26,4	<u>5110</u> <u>6,3</u> 28,3	<u>5075</u> <u>6,3</u> 30,3	<u>5075</u> <u>6,3</u> 33,3	<u>5075</u> <u>6,3</u> 36,3
36–50	0,60	3	<u>7600</u> <u>9,4</u> 27,4	<u>7500</u> <u>9,3</u> 28,3	<u>7350</u> <u>9,1</u> 29,1	<u>7300</u> <u>9,0</u> 31,0	<u>7250</u> <u>9,0</u> 33,0	<u>7250</u> <u>9,0</u> 36,0	<u>7250</u> <u>9,0</u> 39,0
51–65	0,75	4	<u>9880</u> <u>12,3</u> 30,3	<u>9750</u> <u>12,1</u> 31,1	<u>9550</u> <u>11,9</u> 31,9	<u>9500</u> <u>11,8</u> 33,8	<u>9490</u> <u>11,8</u> 35,8	<u>9490</u> <u>11,8</u> 38,8	<u>9490</u> <u>11,8</u> 41,8
Більше 65	1,0	5	<u>10640</u> <u>13,2</u> 31,2	<u>10500</u> <u>13,0</u> 32,0	<u>10290</u> <u>12,8</u> 32,8	<u>10220</u> <u>12,7</u> 34,7	<u>10150</u> <u>12,6</u> 36,6	<u>10150</u> <u>12,6</u> 39,6	<u>10150</u> <u>12,6</u> 42,6

*розроблено автором

За узагальненими розрахунками (табл. 2.1) вбачається увімкнення кондиціонера при другому рівні завантаження салону і зовнішній температурі навколишнього середовища +19°C.

Сприйняття пасажирами якості комфорту в автобусі проаналізовано методом шкали Лайкерта, при поділенні сприйняття у схемі обстеження на п'ять

класів з відповідно присвоюванням балів. Більш висока оцінка означає погіршений рівень комфорту [112] (додаток Д).

2.5 Теплообмін салону автобуса через дверний отвір

Рух міського автобуса по маршруту супроводжується частими зупинками для висадки та посадки пасажирів, що призводить до відкриття дверей, при яких здійснюється обмін повітрям між зовнішнім середовищем та салоном автобуса. Такий повітрообмін ставить додаткові навантаження на систему кондиціонування і впливає на тепловий комфорт пасажирів.

Отже, ще однією складовою в рівнянні теплового балансу салону автобуса є теплота, що потрапляє в салон з припливним $Q_{пп}$ та витиснутим повітрям, $Q_{вп}$.

Система примусової вентиляції автобуса в теплу пору року при самостійній роботі і роботі в складі системи кондиціонування повинна забезпечити надходження додаткового свіжого повітря в салон з розрахунку не менше $7\text{м}^3/\text{год}$ на кожного пасажирів $Q_{сп}$ [77], з повітрям, що надходить в салон через відкриті двері автобуса на зупинках $Q_{дн}$ та компенсованого тепла повітря, що витискається із салону на зупинках $Q_{дв}$, тобто:

$$Q_{пп} = Q_{сп} + Q_{дн} + Q_{дв} . \quad (2.20)$$

Система кондиціонування повітря в салоні автобуса зазвичай працює при закритих припливних люках і вікнах. Тому приплив тепла через наведені пристрої при розрахунку теплового балансу не враховується.

В цьому випадку кількість тепла, що потрапляє через кондиціонер з повітрям розраховується за формулою:

$$Q_{сп} = n \cdot G_{сп} \cdot C_{п} \cdot (t_z - t_{ca}), \text{ Вт}, \quad (2.21)$$

$$G_{сп} = L_{сп} \cdot p, \text{ кг/год}, \quad (2.22)$$

де n – розрахункова кількість пасажирів в салоні, пас.;

$G_{\text{сп}}$ – норма повітря, з розрахунку на одного пасажирів, $G_{\text{сп}} = 20\text{-}25$ кг/год;

$L_{\text{сп}}$ – кратність повітрообміну на 1 м^2 , $L_{\text{сп}} = 7$ м³/год;

ρ – густина повітря, кг/м³;

$C_{\text{п}}$ – теплоємність повітря, кДж/(кг К);

$t_{\text{з}}$ – заміряна температура зовнішнього повітря, °С;

$t_{\text{са}}$ – температура повітря в салоні автобуса, °С.

Відчутний вплив на тепловий баланс салону пасажирського автобуса має надходження в салон більш теплого повітря через відкриті двері на зупинках. Надійної методики розрахунку об'єму видаленого та припливного повітря і, відповідно, кількості теплоти, що надходить в салон через відкриті двері автобуса для теплого періоду року поки що не існує. Такий процес можна порівняти з природньою вентиляцією (аерацією) приміщення. Розрахунок аерації засновується на принципі, що повітря з більшою густиною витискає повітря, яке має меншу густину [111].

Середню швидкість повітря в перерізі дверей для видалення повітря (нижня зона) і в перерізі для припливу повітря (верхня зона) (рис. 2.3) в салон визначається за формулою:

$$v = \mu \cdot \left(2 \cdot \frac{\Delta p}{\rho}\right)^{0,5}, \text{ м/с}, \quad (2.23)$$

де μ – коефіцієнт витрати, який залежить від частки відкритого перерізу для припливу і видалення повітря, при повністю відкритому перерізу $\mu=0,6$, в разі знаходження пасажирів поблизу дверей (вхід та вихід пасажирів) $\mu=0,1\text{--}0,3$;

Δp – різниця тиску всередині салону і зовні на рівні нижньої та верхньої зон, кгс/м²;

ρ – густина повітря, $\rho = 1,25$ кг/м³.

Знаючи площу перерізу та швидкість повітря в ньому, можна розрахувати об'єм повітря, що надходить в салон і витискується з нього. Найбільш несприятливим, з точки зору природнього повітрообміну, є ситуація, коли

швидкість зовнішнього повітря близька до нуля. Тоді напором вітру можна знехтувати, а різницю тиску в перерізі забезпечують тільки гравітаційні сили. [111]. Перепад напорів є тільки часткою від наявного перепаду гравітаційних напорів $\Delta p_{ГР}$, (кг/м²) величину якого розраховують [106]:

$$\Delta p_{ГР} = h(\rho_z - \rho_v) \cdot g, \quad (2.24)$$

де h – висота, м;

ρ_z , ρ_v – густина зовнішнього і внутрішнього повітря відповідно, кг/м³;

g – прискорення сили тяжіння, $g = 9,8$ м/с².

Відомо, що густина повітря знаходиться в прямій залежності від його температури. Дослідженнями [109] доведено, що приміщення по вертикалі розділяється на дві зони: нижню, більш холодну і верхню, більш теплу з приблизно постійними для кожної зони температурами повітря. Це свідчить, що під дією гравітаційних сил, верхня площа дверного отвору дверей на зупинці буде працювати на приплив зовнішнього повітря в салон, а нижня – на витяжку (рис.2.3).

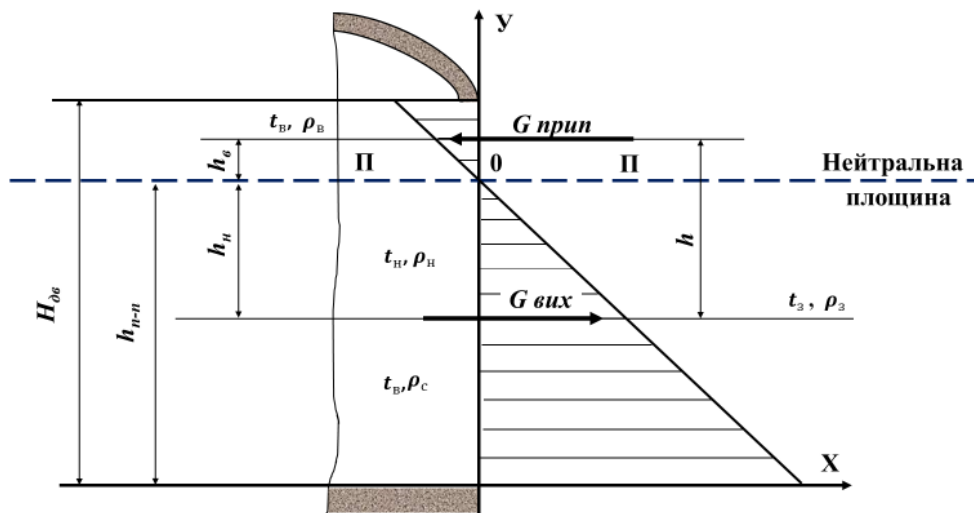


Рис. 2.3 - Схема повітрообміну через перетин дверного отвору на зупинці*

*розроблено автором на підставі джерела [82, 109].

Тиск повітря в салоні автобуса з працюючим кондиціонером дещо вищий за тиск атмосферного повітря за його межами [78]. При відкритих дверях на зупинці надлишковий тиск в салоні через короткий проміжок часу практично зрівнюється з атмосферним. За цей час із салону автобуса витискається частина повітря з температурою t_c . Встановлено, що при природньому повітрообміні всередині приміщення має місце нейтральна площа (площина П-П, рис. 2.3), на рівні якої внутрішній і зовнішній тиск повітря рівні, тобто $\Delta p = 0$.

Розрахунками температури і натурних досліджень встановлено, що температура в салоні вище нейтральної площини близько $28,5^\circ\text{C}$. Це свідчить, що нижче площини П-П, повітря буде витискатися із салону, а вище – надходити в нього, що підтверджено [111].

З деяким спрощенням, висоту стовпа повітря h (м) від вісі площини видалення повітря (нижче площини П-П) із салону до вісі площини припливу зовнішнього повітря (вище площини П-П) в пасажирський салон можна знайти із виразу:

$$h = \frac{\Delta \rho t}{\Delta \rho c} \cdot g, \quad (2.25)$$

де $\Delta \rho_t$, кгс/м^2 і $\Delta \rho_c$, кг/м^3 – відповідно різниця в тиску і густина повітря на вісях площини видалення та припливу повітря в салоні автобуса та за його межами.

За методикою [111] знаходимо відстань від нейтральної площини до вісі перерізу, через який витискається повітря із салону (нижче нейтральної площини), h_n , м. Температура, t_{cn} , різниця тиску, Δp_n і густина повітря, $\Delta \rho_n$ – визначаються в нижній частині салону. Схема на рис. 2.3 справедлива як для перших, так і для других дверей автобуса.

Усереднена швидкість повітря в дверному отворі в безвітряну погоду $v = 0,036$ м/с (натурні дослідження). Коефіцієнт витрати μ приймаємо рівним 0,18 [113], а Δp становить $0,0025$ кгс/м^2 (натурні дослідження) і густина повітря ρ при температурі в салоні $t_c = 24^\circ\text{C}$.

Об'єм припливного повітря знаходиться по рівнянню неперервності потоку [109]:

$$L_{\text{дп}} = v \cdot F_{\text{дп}} \cdot 3600 \text{ м}^3/\text{год} , \quad (2.26)$$

де v – середня швидкість припливного повітря в дверному отворі, м/с;

$F_{\text{дп}}$ – площа перерізу відкритих дверей, м².

Кількість тепла, що потрапляє в салон через відкриті двері на зупинках визначається аналогічно з $Q_{\text{сп}}$ за формулами (2.21) і (2.22):

$$Q_{\text{дп}} = G_{\text{дп}} \cdot C_n \cdot (t_z - t_c), \text{ Вт.} \quad (2.27)$$

В цей же час із салону витискається частина внутрішнього повітря з температурою t_c , яка нижча температури зовнішнього повітря. Відповідно, кондиціонер повинен компенсувати втрачений «холод» салону. Додаткове теплове навантаження на кондиціонер визначається також за формулою (2.27).

Результати розрахунків теплообміну через дверний отвір автобуса МАЗ-206086 наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Результати визначення теплообміну через дверний отвір автобуса МАЗ-206086*

$Q_{\text{пас.яв}}$ Вт	$L_{\text{сп}},$ м ³ /год	$G_{\text{сп}},$ кг	$Q_{\text{сп}},$ Вт	$v,$ м/с	$\Delta p,$ кгс/м ²	$h_v,$ м	$H_n,$ м	$L_{\text{дп}},$ м ³ /год	$L_{\text{дв}},$ м ³ /год	$Q_{\text{дв}},$ Вт	$\Sigma Q_{\text{д}},$ Вт
2330	7	8,2	220	0,036	0,0025	0,8	0,9	50	400	495	560

*складено автором

Розрахунки проміжних і довідкових значень наведені в додатку Д.

Висновки до розділу 2

1. Запропоновано методичний підхід до оцінки ефективності витрати палива автобусами на рівні автопідприємства, яке надає послуги з перевезення пасажирів на міських маршрутах. Визначені три домінуючі групи факторів, які характеризують умови роботи автобусів. До першої зараховані фактори, які

більш не змінні на маршруті. Друга група факторів належить до управління окремими елементами системи і з часом змінюється незначно. Третя група, це фактори, які завчасно невідомі або мало прогнозовані і вплив яких на ефективність системи недостатньо вивчений.

2. Встановлений закономірний взаємозв'язок про вплив природно-кліматичних параметрів, складність руху на маршруті і технічні характеристики автобуса на витрату палива з кондиціонером. Пропонується технологія визначення показника складності міського маршруту, яка базується на експериментальних даних.

3. Сформований методичний підхід і визначено базову норму витрати палива автобусом МАЗ-206086, яка може слугувати як основоположна маршрутна норма для усіх сезонів.

4. На основі аналізу виконаних раніше робіт з дослідження теплових навантажень на КТЗ встановлено, що домінуючим фактором впливу на мікроклімат салону міського автобуса є температура повітря. Додаткове теплове навантаження, в літню пору, створюють вплив сонячного випромінювання через прозорі і непрозорі елементи кузова та теплонадходження від присутніх пасажирів.

5. Оглядом наукових джерел встановлено, що перебування пасажирів в салоні можна прирівняти до виконання легкої роботи при температурі навколишнього середовища в межах $+20...+25^{\circ}\text{C}$, при якій повна теплота тепловиділення людини становить 145...155 Вт.

6. Визначено вплив повітрообміну через дверний отвір автобуса при стоянці на зупинці в умовах літньої експлуатації.

7. Виявлені закономірності впливу температури зовнішнього середовища і присутність пасажирів на зміну теплового комфорту в салоні дозволяють висунути гіпотезу про додаткову витрату палива при роботі кондиціонера на компенсацію охолодження салону.

РОЗДІЛ 3

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ФАКТОРІВ ВПЛИВУ НА МІКРОКЛІМАТ В АВТОБУСІ ТА ВИТРАТУ ПАЛИВА

3.1 Фактори, які впливають на маршрутну витрату палива автобусів міських маршрутів

В ході експериментальних досліджень і сформованих факторів, що визначають витрату палива автобусами з кондиціонером, виявлені експлуатаційні резерви, які при комплексному впровадженні приведуть до зниження маршрутної витрати палива (рис. 3.1).

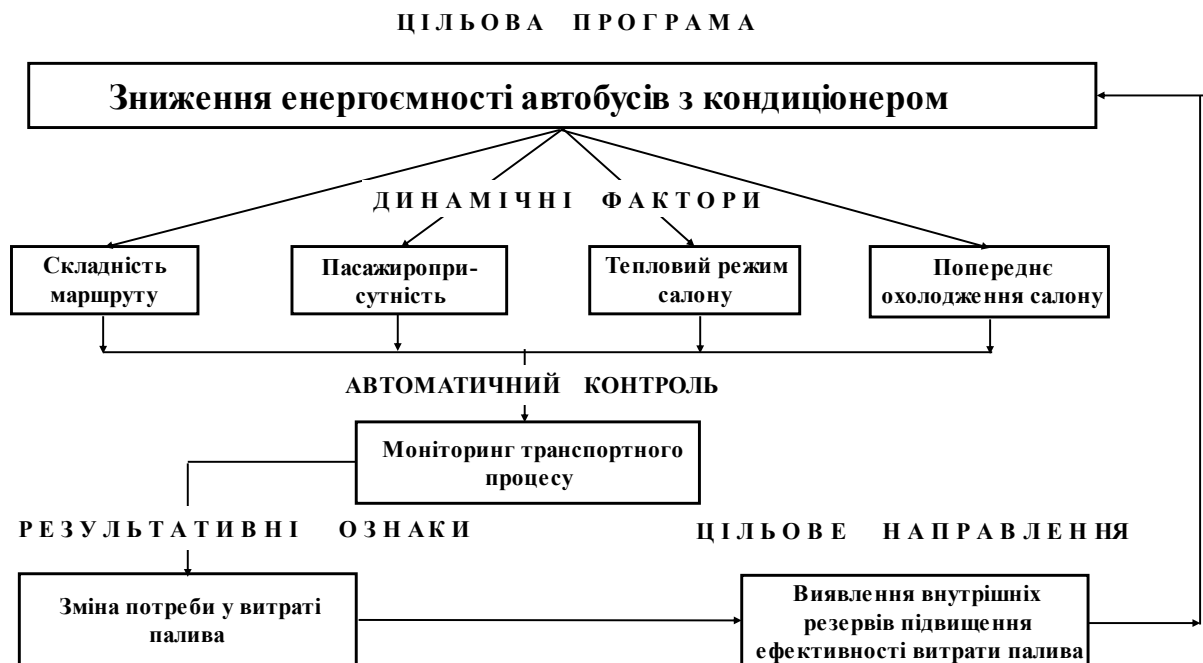


Рис. 3.1 - Схема зниження енергоємності автобусів на міських маршрутах*

*розроблено автором

Повною мірою визначити вплив роботи кондиціонера міського автобуса на паливну економічність при виконанні транспортного процесу можливо

проведенням експериментальних досліджень. Лише експериментальним шляхом доцільно встановити залежність, яка буде справедлива для різних марок і моделей міських автобусів при роботі з кондиціонером.

Методологія експерименту включає в себе наступні основні етапи [114]:

- розроблення плану – програми експерименту;
- оцінку вимірювань і вибір засобів для проведення експерименту;
- математичне моделювання процесів з проведенням експерименту;
- обробку і аналіз отриманих експериментальних даних.

Метою експериментального дослідження є встановлення взаємозв'язку між забезпеченням оптимальним мікрокліматом в салоні міського автобуса та витратою палива при роботі з кондиціонером.

Завдання експериментального дослідження:

- оцінка впливу чинників на витрату палива при виконанні технологічного процесу;
- перевірка закономірності впливу окремих факторів на мікроклімат в салоні автобуса, що приводить до додаткової витрати палива через режими роботи кондиціонера;
- оцінка чисельних значень моделі при дослідженні.

Методика проведення експерименту являє собою основу представленого плану – програми, яка детально описує процес виконання експерименту. При цьому, на підставі висунутої гіпотези, планується і описується кожна операція з урахуванням вибраних критеріїв [115]. У методиці особлива увага приділена опису проведеного експерименту, вибору змінних факторів та застосування засобів для вимірювання.

Обґрунтовано вибір способів оброблення та аналізу отриманих експериментальних даних.

В рамках експериментального дослідження проходить спрямування та порівняння вимірювань на стандартні умови дотримання мікроклімату в салоні автобуса при літній експлуатації на маршруті.

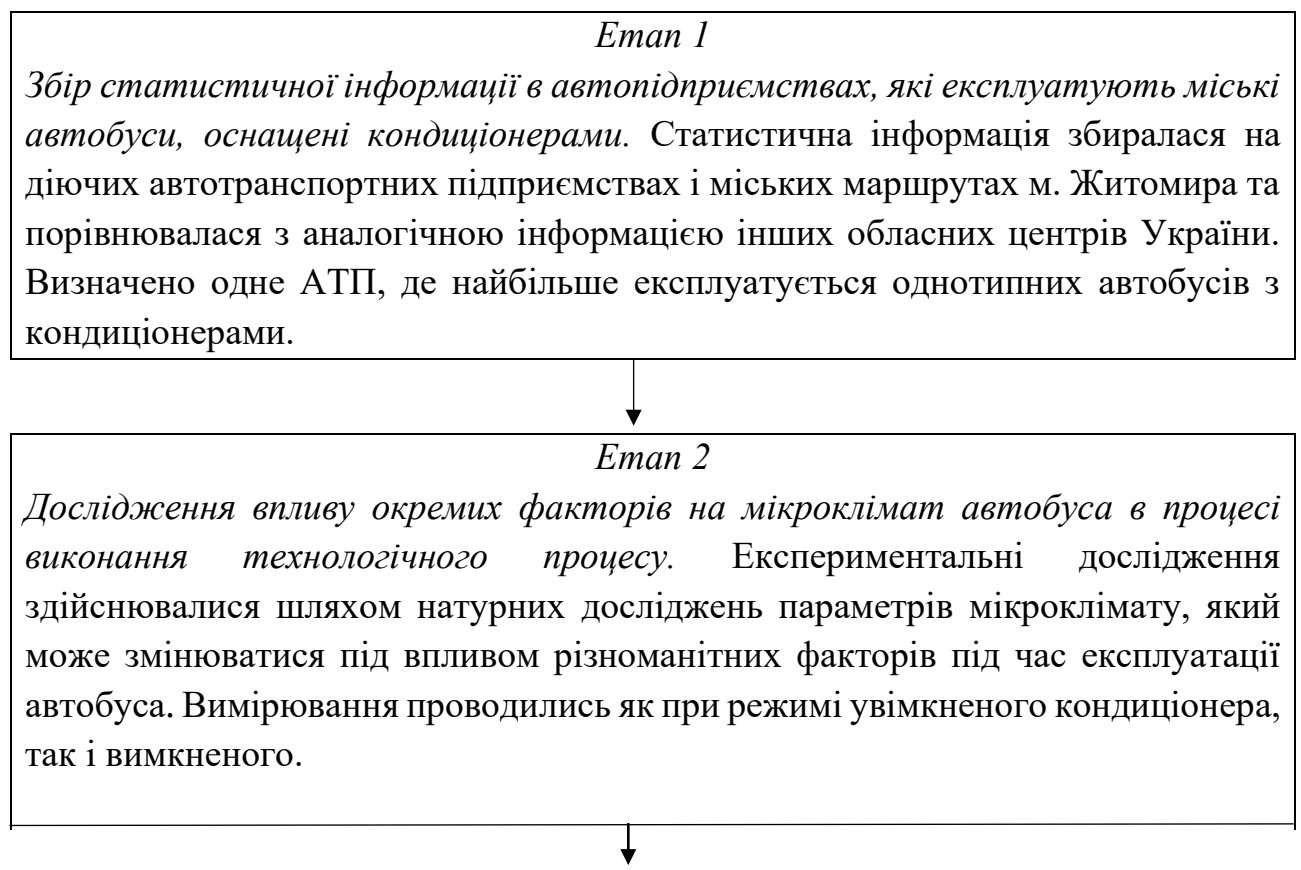
Відповідальним моментом у підготовці засобів вимірювання є використання сертифікованих приладів та визначення точності вимірів і похибки.

При проведенні експерименту всі причетні учасники повинні знати і чітко дотримуватися порядку дій і послідовність випробувань, які викладені у методиці.

Програмою випробувань передбачені попередні контрольні заходи з оцінки стану дорожньої обстановки на маршруті, фактор природно-кліматичних умов, встановленню кількості автобусів на маршруті, оцінки технічного стану транспортного засобу.

Конкретизуючи підхід до проведення експерименту, варто підкреслити більш повне визначення класифікації експерименту за характером зовнішніх впливів на об'єкт дослідження – це енергетичний експеримент, який використовується для вивчення впливу теплової енергії на об'єкт дослідження.

Послідовність проведення експериментального дослідження визначено у плані дослідження, який включає п'ять етапів, кожен з яких вирішує поставлені завдання дослідження (рис 3.2).



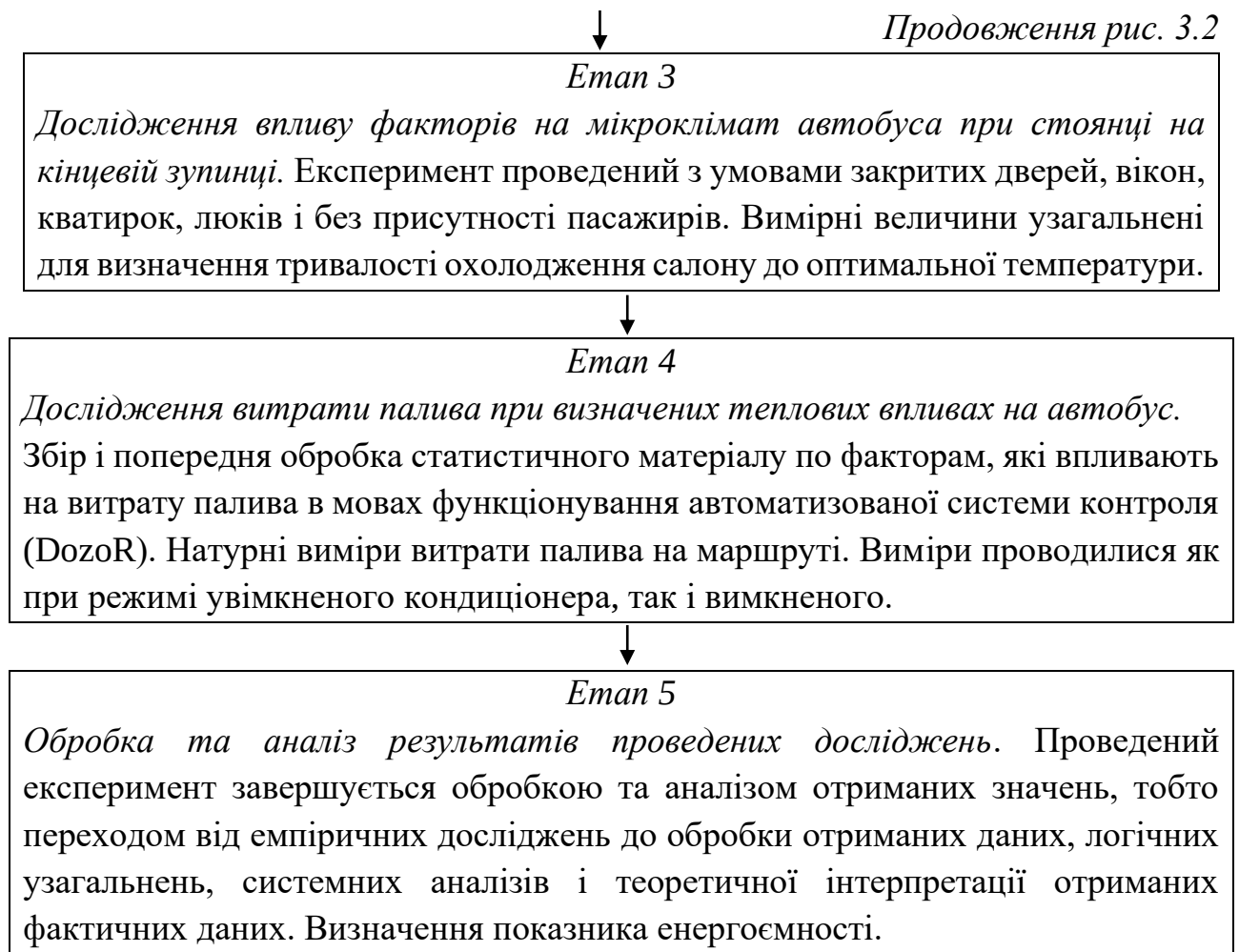


Рис. 3.2 - Схема-план експериментального дослідження*

*розроблено автором

Основні завдання натурального експерименту: вивчення характеристик дії середовища на досліджуваний об'єкт; ідентифікація параметрів об'єкта; оцінка ефективності функціонування об'єкта та перевірка його на відповідність заданим вимогам [116].

Для чіткого виконання алгоритму взаємодій контролерів з водієм, був врахований людський фактор організаторської системи технічної експлуатації автомобіля «Автобус – умови експлуатації на маршруті».

Збір інформації про роботу рухомого складу на міських маршрутах проводився при наступних умовах:

- кількість автобусів на лінії відповідає плановому випуску;

- стаж роботи водія на міських пасажирських перевезеннях не менше 3...5 років;
- водій повинен працювати на закріпленому автобусі і добре ознайомлений з умовами роботи на заданому маршруті;
- технічний стан автобуса і кондиціонера відповідає технічним умовам експлуатації;
- належним чином організований облік перевезених пасажирів;
- підконтрольні заміри проводилися відповідно роботі за графіком як у години підвищеної пасажирської активності «пік», так і у «міжпікові» години.

3.2 Визначення автопідприємства для проведення досліджень

Пасажирські автотранспортні підприємства в більшості областей нашої держави, в теперішній час, комплектуються для роботи на міських маршрутах переважно автобусами сімейства «МАЗ», які оснащені кондиціонером.

Проведення експериментальних досліджень за наміченою програмою передувало аналіз маршрутної мережі м. Житомира. Серед автопідприємств, які обслуговують міські маршрути і використовують автобуси з кондиціонером, визначено в якості об'єкта дослідження автобусний парк Комунального підприємства «Житомирське трамвайно-тролейбусне управління» Житомирської міської ради, яке налічує 17 автобусів МАЗ-206086 з кондиціонерами, за якими закріплено 54 водія. Усі автобуси цього підприємства обслуговують постійні міські маршрути.

Дане підприємство входить до складу КП «Трамвайно-тролейбусного управління» Житомирської міської ради, яке здійснює перевезення пасажирів електротранспортом в м. Житомирі. Автобусний парк має відокремлену облаштовану територію, сформована і успішно функціонує оперативна диспетчерська служба з режимом роботи відповідно режиму знаходження автобусів на лінії. Підприємство є типовим автопідприємством для міста Житомира та Житомирської області, соціальним перевізником № 1 і всі

рекомендації та розрахунки будуть справедливими для інших автотранспортних підприємств, аналогічних тому, що розглядається, як такі, що мають в наявності або планують надання послуг з перевезення пасажирів на міських маршрутах автобусами, які оснащені кондиціонерами.

Вибір вказаного автопідприємства обумовлений наступними причинами:

- автобусний парк КП «Трамвайно-тролейбусного управління» є типовим автопідприємством з відповідною структурою діяльності в системі надання послуг автобусами;

- підприємство має багаторічний досвід організації пасажирських перевезень на міських маршрутах.

- на автопідприємстві в наявності є 17 однотипових автобусів MA3-206086 з кондиціонером однакового терміну експлуатації;

- впровадження на автопідприємстві GPS системи супутникового моніторингу автобусів є прикладом найбільш ефективного управління пасажирськими перевезеннями в Житомирській області;

На підприємстві впроваджена автоматизована система обліку оплати проїзду – програмний комплекс «Автоматизована інформаційна система оплати проїзду» (AICOP).

Згідно з даними фінансових звітів автобусний парк КП «Житомирське-трамвайно-тролейбусне управління» має витрати на паливо, яке складає 42 % у 2018 році і 37 % у 2019 році від усіх витрат.

Відповідно, постійний моніторинг за роботою автобусів на лінії і дієвий контроль за витратою палива дозволить підвищити ефективність експлуатації автобусів. Встановлення факторів теплових впливів на мікроклімат в салоні дає можливість розробити рекомендації щодо оптимальних експлуатаційних режимів роботи і управління кондиціонером.

3.3 Вибір автобуса для дослідження

Для проведення експерименту дослідження важливим фактором є методи та джерела отримання вихідної інформації експлуатації автобусів і діяльності

підприємства. При цьому, методи обробки отриманих даних повинні відповідати достовірним показникам. Найбільш значимими джерелами з отримання інформації діяльності автопідприємства за відповідний період є облікова документація та звітно-статистичні дані по розвитку транспортних послуг в цілому по місту.

Як об'єкт дослідження для міських перевезень були прийняті автобуси МАЗ – 206086, які оснащені дизельним двигуном Mercedes OM 924 LAV та кондиціонером Revo 250 GLOBUS. Автобус належить до другого покоління пасажирського транспорту, що випускається Мінським автозаводом.

Автобус МАЗ 206086 – представник сімейства автобусів з низькою підлогою, що є його головною незаперечною перевагою. Така конструкція дозволяє здійснювати посадку та висадку пасажирів більш швидкою і зручною, збільшити середню швидкість руху по маршруту і адаптувати транспорт під потреби літніх людей та осіб з порушеннями опорно-рухового апарату. Накопичувальна площадка, яка розташована перед другими дверима, призначена для розміщення крісла колісного.



Рис. 3.3 - Загальний вид автобуса МАЗ-206086*

*фото автора

3.4 Обладнання для проведення експериментальних досліджень

Обладнання, яке необхідне для проведення експерименту, можна розділити на основні групи:

- устаткування для визначення показників мікроклімату в салоні автобуса;
- устаткування для визначення частоти обертів колінчастого валу двигуна, швидкості автобуса, температури технічних речовин тощо;
- устаткування для визначення витрати палива;
- комп'ютер для обробки даних експерименту;
- компоненти супутникової системи моніторингу автобусів «DozoR».

Вимірювання температури і відносної вологості в салоні автобуса здійснювалися приладом «ТКА – ПКМ» (рис. 3.4). Прилад призначений для вимірювання параметрів мікроклімату:

- енергетичну освітленість УФ-випромінювання в області спектра 280–400 нм;
- температуру повітря;
- відносну вологість повітря.



Рис. 3.4 - Прилад «ТКА–ПКМ»*



Рис. 3.5 - Ртутні і електронні термометри*

*фото автора

Технічні характеристики приладів вимірювання наведені у додатку Е.

Контроль температури в салоні автобуса проводився також за допомогою ртутного і цифрового термометрів (рис. 3.5).

Температура повітря визначається як середнє значення температури в точках вимірювання особами, які задіяні для проведення експерименту. Отримані дані заносилися в протокол (додаток Ж).

Оскільки комфорт – це суб'єктивне поняття, то ефективність охолодження салону автобуса, який оснащений кондиціонером, доцільно проводити за температурно-часовою характеристикою повітря в контрольних точках, розташованих у зоні розміщення пасажирів по обидві сторони салону [4, 7].

На підставі отриманих даних розраховуємо середній температурний показник параметрів мікроклімату згідно [117]:

$$T_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n T_k}{N_0}, \quad (3.1)$$

де T_{cp} – середня температура повітря в салоні автобуса, °C;

T_k – температура повітря в конкретній зоні вимірювання, °C;

N_0 – загальна кількість місць вимірювання температури.

Вимірювання температури повітря в салоні автобуса проводимо безпосередньо перед початком руху. Під час руху проведення температурних вимірювань здійснювалося з довільною періодичністю до 3-х хв.

Дані вимірювань температури заносяться в протокол.

Для вимірювання середньої швидкості газових потоків припливно-витяжної вентиляції та у системах кондиціонування застосовуємо вимірювальний прилад ИС-2 (рис. 3.6).



Рис. 3.6 - Прилад ИС-2*

*фото автора

При проведенні вимірювання енергетичної освітленості в салоні автобуса використовувався радіометр РАТ-2П-Кварц-41 (рис. 3.7).



Рис. 3.7 - Радиометр РАТ-2П-Кварц-41*

*фото автора

Прилад РАТ-2П-Кварц-41 призначений для забезпечення вимірювань інтегральних характеристик опромінення в інфрачервоній області спектра, створюваної люмінесцентними або подібними джерелами.

Об'єм палива в баку автобуса визначаємо за допомогою штатного датчика, датчика рівня палива (рис. 3.8) та витратоміра палива (рис. 3.9), які використовуються в системах контролю витрати палива і GPS моніторингу транспорту.

Витрата палива на підприємстві контролюється за допомогою програмного комплексу «DozoR», який використовує засоби супутникової навігації GPS. Завдяки встановленню GPS-трекерів DozoR, відповідальні особи підприємства мають повний доступ до програмного комплексу.

Як вимірювач та контролер витрати палива, для дистанційного передавання величин, на автобусах MA3–206 встановлені датчики DUT–E 485 L700 мм і витратоміри палива DFM (рис. 3.9). Вони призначені для вимірювання витрати дизельного палива в паливній магістралі двигуна, а також для обліку часу роботи споживача палива.



Рис. 3.8 - Датчик рівня палива

DUT–E 485*



Рис. 3.9 - Витратомір палива DFM*

*джерело <https://dozor.tech/equipment>

В період збору і перевірки інформації проводилися контрольні заміри витрати палива за методом «доливання до повного» з попереднім таруванням

паливного баку і визначення кількості палива. Для тарування баку використовувався повірений мірник № 38, типу М2Р-10 ф-01, ємністю 10 дм² (рис. 3.10).



Рис. 3.10 - Мірник М2Р-10 ф-01 для вимірювання витрати палива*

*фото автора

Метод «доливання до повного» зводився до вимірювання кількості палива, яке доливається в бак автобуса після закінчення відповідного пробігу на маршруті за планом експерименту. Вказаний метод передбачає необхідність заправлення паливного баку паливом перед початком експерименту. По різниці вимірювання оцінювалась кількість витраченого палива.

Умови контролю наливу палива у паливний бак автобуса:

- автобус розміщено на рівній площадці, перевірено належний тиск в шинах, поверхня паливного баку по рівню, дизельне пальне відповідає нормам Євро-5, температура навколишнього повітря +18 °С;

- налив проводився дозовано по 10 л до нижньої частини горловини, при цьому фіксувалися значення мірної лінійки та значення ТОВ «Дозор». Базова висота мірної лінійки для виміру об'єму пального в ємності становить 355 мм.

Об'єм баку автобуса МАЗ-206, гаражний номер 12, заповнений повністю до нижньої частини горловини і становить 134 літри.

Контрольні заміри об'єму палива підтвердили точність даних зі значенням даних обліку GPS навігації, загальна похибка не перевищує 2 % від мірних значень палива. Визначені дані занесені у накопичувальну базу підприємства.

Вимірювання фактичної витрати палива автобусом здійснюється за допомогою системи, що складається з двох основних підсистем – датчика рівня палива і модуля реєстрації, обробки, зберігання та передачі даних.

Основна складність при використанні даного методу – це апаратна комп'ютерна технологія реалізації другої підсистеми, тобто апаратури реєстрації, дистанційної передачі даних, зберігання та архівування.

На рис. 3.11 наведено принципову схему моніторингу міського автобуса в міській агломерації.

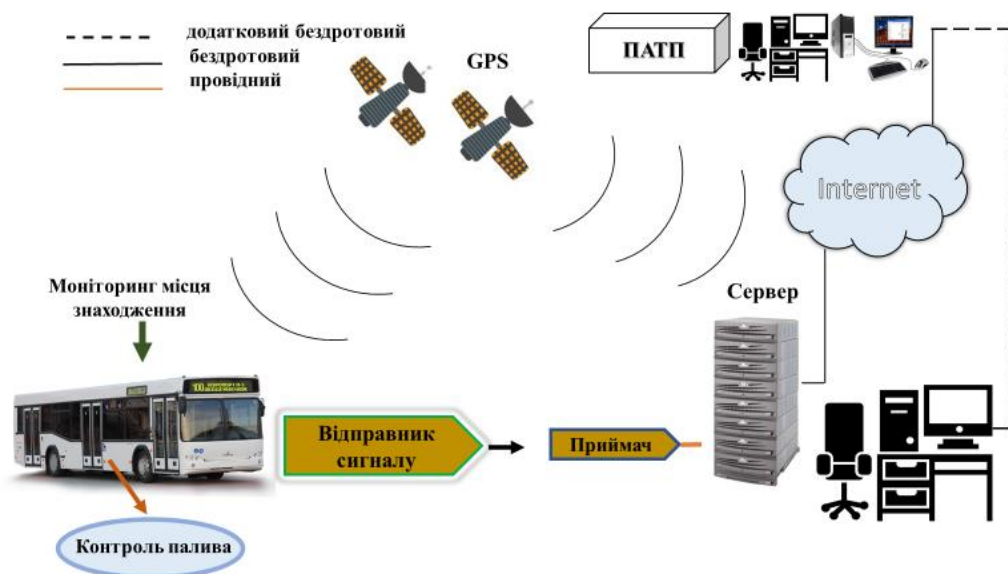


Рис. 3.11 - Функції інформаційних транспортних систем GPS моніторингу руху автобуса та витрати палива*

*розроблено автором

На рис. 3.12 наведено загальний вид робочого місця диспетчера за моніторингом транспортного процесу автобусами підприємства.

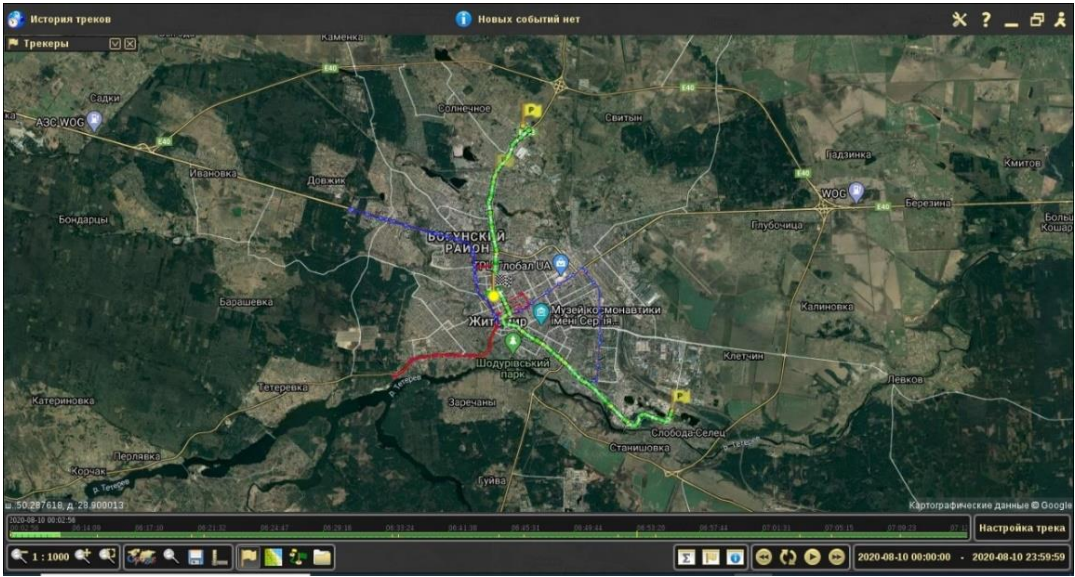


Рис. 3.12 - Вид на моніторі комп'ютера диспетчера ПАТП при моніторингу досліджуваного маршруту*
*скріншот екрану монітора

Друге вікно програми (рис. 3.13) представляє числові значення фактичної витрати палива за контрольований період, з розрахунку л/100 км пробігу і при простої в л/год, об'єми заправок, часу в наряді, швидкість руху тощо.

The screenshot shows a data table within the DozoR software. The table lists various bus routes and their associated fuel consumption and other metrics. The columns include route number, route name, distance, time, fuel consumption, and other operational data. The table is titled 'Общий (2020-08-10)' and 'Подобный'. The data is organized into a grid with multiple rows and columns, showing detailed information for each route.

№	Группа	Трасса	Продольный путь, км	Общая время	Время в движении	Время холостого хода	Время остановки	Время работы двигателя	Средняя скорость, км/ч	Максимальная скорость, км/ч	Расход, л/100 км	Начальный объем, л	Конечный объем, л	Объем заправки, л	Объем сливов	Расход, л	Расход в движении, л	Расход в простое, л
1	Автоб.	AM 1868 AA...	272.56	23ч 59м 59с	10ч 18м 3...	04ч 07м 33с	13ч 41м 26с	14ч 26м 04с	26	73								
2	Автоб.	AM 1861 AA...	244.24	23ч 59м 59с	10ч 46м 2...		13ч 14м 33с		23	74								
3	Автоб.	AM 1860 AA...	267.35	23ч 59м 59с	10ч 41м 3...	05ч 05м 19с	13ч 18м 21с	15ч 46м 57с	27	66		125.3	126.7	82.7		81.3	75.8	26.3
4	Автоб.	AM 1863 AA...	288.85	23ч 59м 59с	10ч 47м 1...	03ч 39м 40с	13ч 12м 41с	14ч 36м 58с	27	71		129.3	127.9	80.8		82.2	73.2	25.3
5	Автоб.	AM 1865 AA...	284.78	23ч 59м 59с	10ч 25м 4...	03ч 47м 50с	13ч 34м 35с	14ч 13м 34с	27	70		125.9	126.5	84.9		82.3	77.7	27.2
6	Автоб.	AM 1869 AA...	287.50	23ч 59м 59с	10ч 15м 4...	04ч 59м 29с	13ч 44м 36с	15ч 35м 12с	28	72		103.1	120.0	104.1		87.2	73.7	25.6
7	Автоб.	AM 1864 AA...		23ч 59м 59с			23ч 59м 59с					118.0	118.2			-0.2		
8	Автоб.	AM 1862 AA...	286.73	23ч 59м 59с	10ч 49м 5...	03ч 57м 14с	13ч 10м 01с	14ч 47м 12с	26	81		132.6	130.7	84.6		86.5	78.3	27.3
9	Автоб.	AM 1867 AA...	1.03	23ч 59м 59с	08м 55с	15м 40с	23ч 53м 04с	23м 05с	7	23		127.9	125.6			2.3		
10	Автоб.	AM 1868 AA...	287.28	23ч 59м 59с	10ч 53м 0...	04ч 14м 37с	13ч 08м 51с	15ч 05м 15с	26	80								
Итого														437.1		421.6		

Рис. 3.13 - Діалогове вікно програми «DozoR» по обліковим даним роботи автобусів на лінії за контрольований період*
*скріншот екрану монітора

Система GPS моніторингу міського транспорту уже активно функціонує в таких містах як Харків, Київ, Вінниця, Львів, Одеса, Ужгород, Дніпро, Херсон, Житомир, Бердичів і інші [118]. Основним направленням їхнього розвитку є управління міським пасажирським транспортом, на основі обладнання рухомих одиниць транспорту і базового центру збору інформації засобами зв'язку, з використанням супутникових навігаційних систем, інтелектуальних інформаційних технологій [119]. Програмне забезпечення дозволяє в режимі реального часу відслідковувати на моніторі комп'ютера користувача вказаних послуг маршрут руху автобусів, реєструвати дані про поїздки і архівувати необхідну інформацію про роботу. Для автотранспортних підприємств усіх форм господарювання стало очевидним, що аналіз техніко-економічних показників виконання транспортної роботи став більш оперативним із запровадженням GPS контролю за витратою палива [31].

Це свідчить, що ситуація стратегічного підходу до ITS міської агломерації, за останні 5 років, суттєво змінилася і технологія широкого застосування є спрямуванням на європейський підхід до вирішення глобальних транспортних проблем.

Оцінка похибки вимірювань наведена в додатку Е.

3.5 Визначення складності маршруту на основі статистичної інформації

З досвіду експлуатації автомобілів відомо, що при однаковій середній швидкості витрати палива коливаються в межах 15–20 % і значно залежать від нерівномірності руху. Відомо, що паливна економічність автомобіля визначається тими ж факторами, що і швидкісні якості [120].

Для отримання закономірностей впливу перешкод на маршруті на технічну швидкість автобуса проведено експериментальні дослідження маршрутної мережі м. Житомира та проаналізовано наявні перешкоди. Під час проведення експерименту були досліджені умови експлуатації на 17 міських маршрутах у 2017–2018 рр. (додаток 3).

З використанням вихідних даних побудовані залежності частоти зупинок, світлофорних об'єктів, нерегульованих пішохідних переходів, нерегульованих перехресть, стоянок транспорту, підйомів та спусків, поворотів і залізничних переїздів на технічну швидкість на маршруті.

Аналіз зібраних статистичних даних методом кореляційно-регресійного аналізу був спрямований на встановлення стійкості зв'язку між частотами розглядуваних перешкод та технічною швидкістю руху автобуса і, як наслідок, визначення найсуттєвіших факторів, що впливають на швидкість.

Результати дослідження однофакторних залежностей для випадку лінійної моделі подані в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Залежності технічної швидкості від частоти перешкод*

Фактор перешкоди на маршруті	Вигляд залежності	Коефіцієнт кореляції між величинами	Значення вибіркового критерію Стьюдента
Частота зупинок	$V = - 6,01X + 36,77$	0,67	4,99
Частота пішохідних переходів	$V = - 3,21X + 27,30$	0,66	4,75
Частота світлофорних об'єктів	$V = - 4,58X + 30,34$	0,59	4,01
Частота нерегульованих перехресть	$V = - 4,20X + 26,77$	0,56	3,74
Частота стоянок	$V = - 3,74X + 24,78$	0,31	1,83
Частота підйомів	$V = - 9,23X + 24,04$	0,37	2,17
Частота поворотів	$V = - 1,28X + 24,35$	0,24	1,36
Частота залізничних переїздів	$V = 7,88X + 22,60$	0,19	1,08

*складено автором

У кожному випадку значущість коефіцієнта кореляції встановлювалась за допомогою t -критерію Стюдента з використанням критичного значення критерію $t_{кр}$ при рівні значущості α і числі ступенів свободи 30.

Проведений аналіз показав, що найбільший вплив на технічну швидкість мають чотири фактори: частота зупинок, частота світлофорів, частота пішохідних переходів та частота нерегульованих перехресть (рис. 3.14–3.17). В подальшому при побудові багатофакторної регресійної моделі обмежимося саме цими факторами, а вплив решти критеріїв враховувати не будемо. Слабка залежність швидкості від частоти підйомів, залізничних переїздів, стоянок автотранспорту та поворотів може бути пояснена тим, що це наперед відомі і прогнозовані водієм перешкоди, по-друге, частоти цих перешкод порівняно досить низькі.

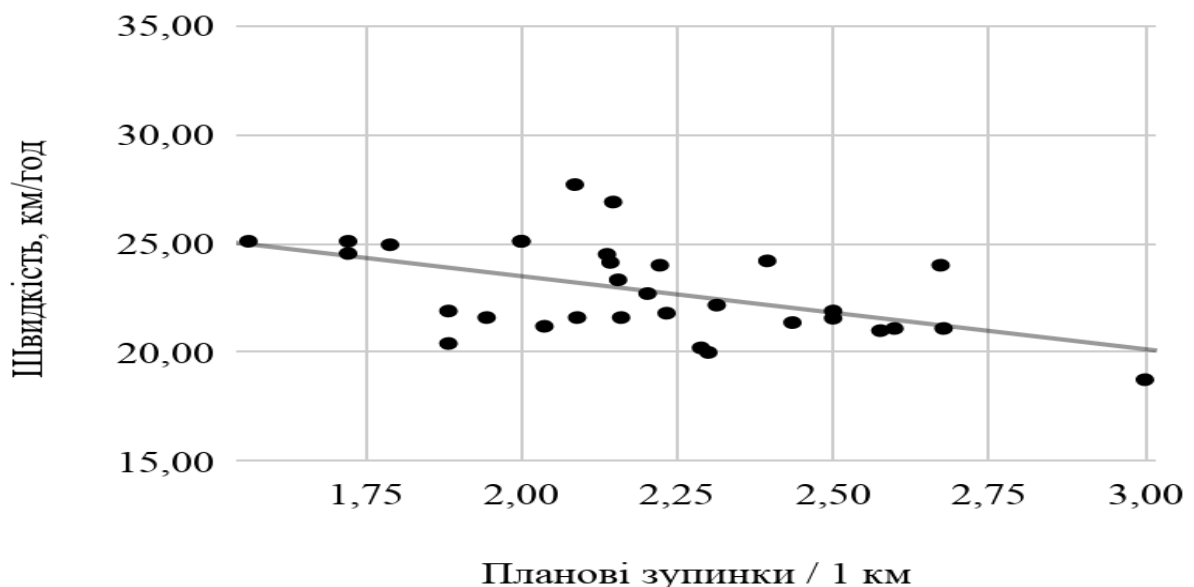


Рис. 3.14 - Залежність впливу частоти планових зупинок на технічну швидкість на маршруті*

*систематизовано автором

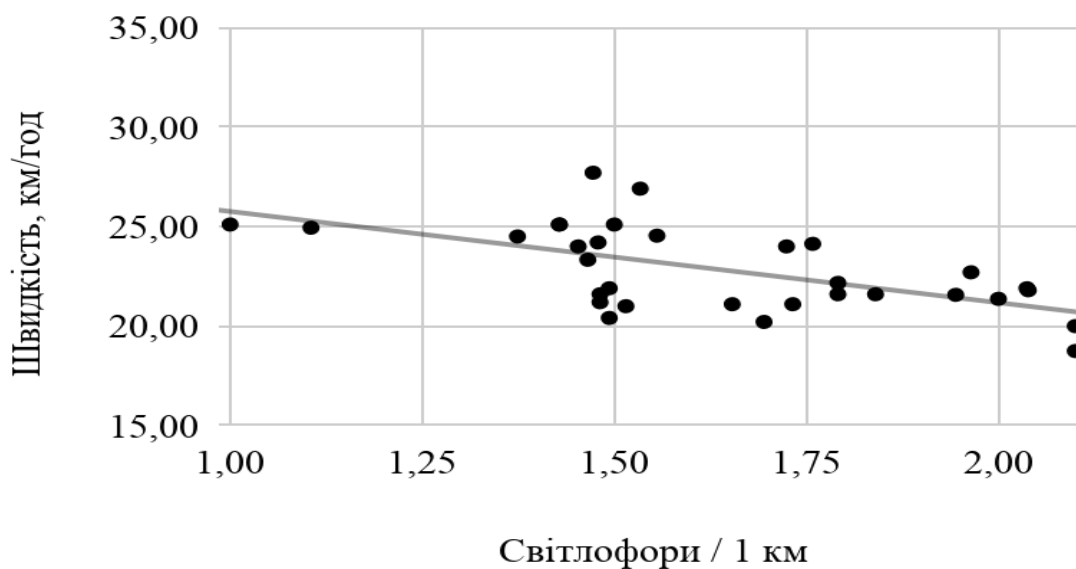


Рис. 3.15 - Залежність впливу частоти світлофорних об'єктів на технічну швидкість на маршруті*

*систематизовано автором

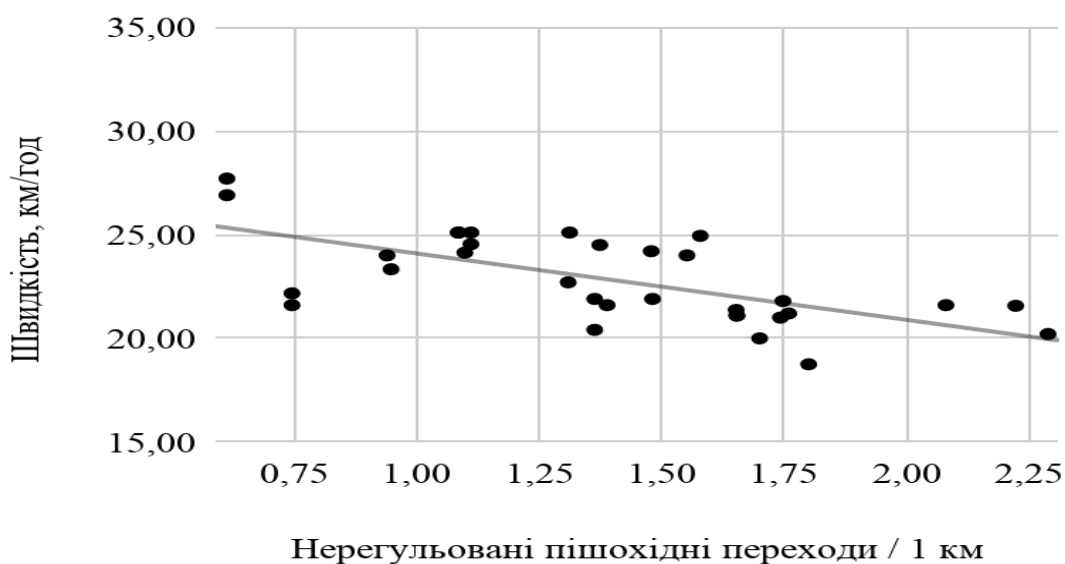


Рис. 3.16 - Залежність впливу частоти нерегульованих пішохідних переходів на технічну швидкість на маршруті*

*систематизовано автором

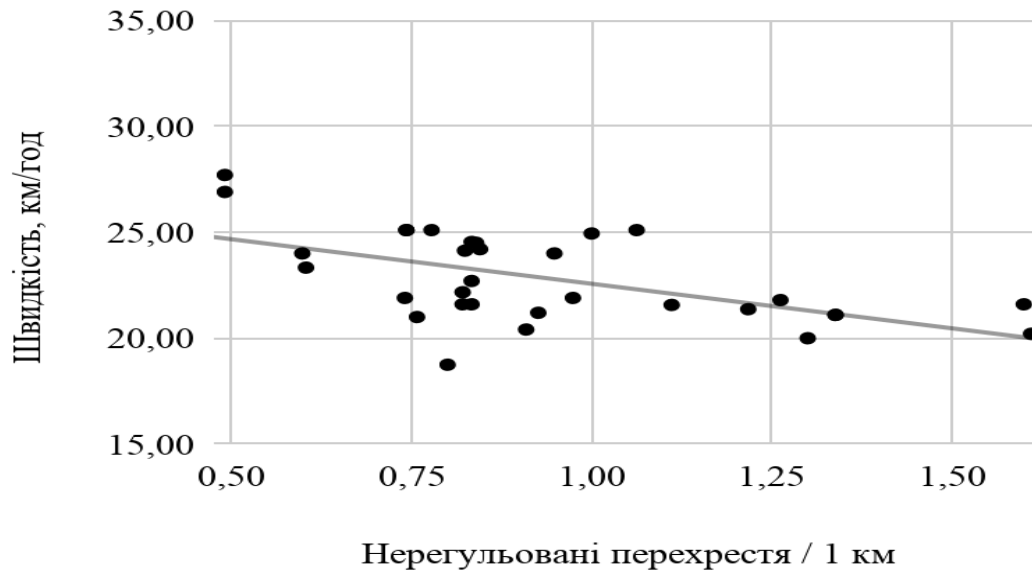


Рис. 3.17 - Залежність впливу кількості нерегульованих перехресть на технічну швидкість на маршруті*
*систематизовано автором

На наступному етапі оцінюємо невідомі параметри $b_i (i = 0, 4)$ багатofакторної лінійної регресійної моделі:

$$V = b_0 + \sum_{i=1}^4 b_i \cdot X_i, \quad (3.1)$$

де V – технічна швидкість, км/год;

X_1 – частота зупинок, од/км;

X_2 – частота світлофорних об'єктів, од/км;

X_3 – частота нерегульованих пішохідних переходів, од/км;

X_4 – частота нерегульованих перехресть, од /км.

Методами кореляційного аналізу отримано наступний вигляд шуканої залежності:

$$V = 32,27 - 0,59 \cdot X_1 - 2,78 \cdot X_2 - 2,00 \cdot X_3 - 0,86 \cdot X_4. \quad (3.2)$$

Сформовані залежності технічної швидкості від факторів перешкод на маршруті є основою для проведення порівняльного аналізу роботи автобусів у

типових умовах руху та для послідуєчих досліджень прогнозування витрат палива. Кореляційний аналіз підтвердив взаємозв'язок вибраних факторів складності маршруту руху міського автобуса.

Основою для визначення складності маршруту є показник – коефіцієнт складності маршруту руху, який враховує умови експлуатації автобуса на маршруті.

Згрупувавши зібрані статистичні дані за повний зворотній рейс для кожного маршруту, беручи до уваги лише значимі фактори (X_1 – частота зупинок; X_2 – частота світлофорних об'єктів; X_3 – частота нерегульованих пішохідних переходів; X_4 – частота нерегульованих перехресть), доповнимо їх показником використання пасажиромісткості (X_5), та введемо показник складності маршруту:

$$\eta_{\text{скл}} = \frac{\sum_{i=1}^4 \cdot k_i \cdot x_i + \frac{x_5}{m}}{L_M}, \quad (3.3)$$

де L_M – довжина маршруту;

m – кількість перегонів на маршруті;

k_i – допоміжні коефіцієнти, що характеризують ступінь впливу відповідного фактору на величину технічної швидкості (V_T). Результати розрахунків наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 - Значення показника складності маршрутів*

№ маршруту	Загальна довжина маршруту, км	Показник складності
1	2	3
1	20,8	5,1406
3	24,9	3,9284
4	27,4	4,3100
5	22,3	5,1067
8	35,0	3,6495
10	32,6	3,3248

Продовження табл. 3.2

11	33,0	4,2381
14	21,6	4,4228
19	35,0	3,5423
23	30,8	3,9330
25	23,3	3,6785
26	26,8	3,9716
30	24,7	4,4547
33	25,4	5,0414
37	20,3	4,9597
44	36,0	3,5421
58	24,3	5,4691

*сформовано автором

Методами кластерного аналізу [121] проведено категорювання автобусних маршрутів. Для визначення оптимальної кількості та меж ешелонів скористаємось формулою Стержесса:

$$h = \frac{\eta_{max} - \eta_{min}}{1 + 3,322 \cdot \lg n}, \quad (3.4)$$

де h – крок інтервалу;

η – показник складності маршруту;

n – кількість проведених спостережень.

Отримані показники групуємо на інтервали. Групування проводимо на підставі аналізу значень отриманого ряду, а також технології подібності направлення.

У нашому випадку оптимальне число категорій дорівнює 5 і крок групування $h = 0,429$. Порядкові номери інтервалів відповідають ступені складності маршрутів, чим менше значення ступеня складності маршруту, тим легше в експлуатації по визначеним значенням.

Отримані значення діапазонів категорювання складності маршрутів наведені в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 - Значення діапазонів категорій складності маршрутів*

Категорія	Інтервал	Номери маршрутів
1	3,325–3,754	8, 10, 19, 25, 44
2	3,754–4,133	3, 23, 26,
3	4,133–4,611	4, 11, 14, 30
4	4,611–5,040	37
5	5,040–5,469	1, 5, 33, 58

*сформовано автором

Сформовані залежності технічної швидкості від факторів перешкод на маршруті є основою для проведення порівняльного аналізу роботи автобусів у типових умовах руху та для послідуєчих досліджень прогнозування витрати палива. Аналіз отриманої класифікації дозволяє підкреслити, що вона є універсальною, яка корегує діючі класифікації міських автобусних маршрутів шляхом обліку нових впливаючих факторів і доповнює загальноприйнятну класифікацію умов експлуатації.

Висновки до розділу 3

1. Конкретизований підхід, визначена цільова програма і розроблений план експериментальних досліджень, які дозволили оцінити вплив факторів умов експлуатації на маршрутну витрату палива автобуса МАЗ-206086.

2. Розроблена методика збору даних, що характеризують визначення вимірювальних величин експерименту та дозволяють перевірити висунуті гіпотези щодо впливу теплового навантаження на мікроклімат салону і витрату палива автобусом.

3. Впровадження на підприємствах системи супутникового GPS моніторингу дає можливість контролювати в оперативному режимі не лише просторову координату кожного автобуса, а й здійснювати безперервний контроль за витратою палива.

4. Встановлено, що для підвищення ефективності факторного аналізу експериментальних даних необхідно враховувати процедуру похибок вимірювань. Розраховані довірчі інтервали для вимірюваних величин у визначених межах не перевищили 15 %.

5. Проведений аналіз факторів умов експлуатації, які характеризують складність руху міських автобусів на маршрутах, показав, що до найбільш вагомих перешкод, які впливають на технічну швидкість належать – питома кількість планових зупинок, питома кількість світлофорних об'єктів, питома кількість нерегульованих пішохідних переходів, питома кількість нерегульованих перехресть.

6. В складних умовах руху маршрутного автобуса по місту значно збільшується роль людського фактору в економічній витраті палива, як в цілому, так і при управлінні кондиціонером.

РОЗДІЛ 4

КОРИГУВАННЯ ВИТРАТИ ПАЛИВА ПРИ ЗМІНІ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ФАКТОРІВ

4.1 Тепловий режим салону автобуса з кондиціонером

Для створення теплового комфорту всередині автобуса необхідно врахувати всі фактори впливу, оскільки вони змінюються в часі. Тепловий комфорт зазвичай належить до набору оптимальних параметрів, при яких велика частина присутніх пасажирів відчують себе комфортно в межах салону.

Для отримання інформації по сприйняттю пасажирями оптимальних умов мікроклімату, були проведені в період з 7 по 19 червня 2019 р. обстеження рівня комфортності в автобусах МАЗ-206086 маршруту № 4 м. Житомира. На рис. 4.1 наведено форми рельєфу на автобусному маршруті № 4.



Рис. 4.1 - Форми рельєфу на маршруті № 4*

*сформовано автором

В дослідженні брали участь 8 контролерів, які шляхом опитування фіксували враження пасажирів від поїздки автобусом під час «пікових» і «непікових» періодів. У схемі обстеження була визначена якість рівня комфортності салону методом шкали Лейкерта (додаток Д).

Натурні обстеження показників мікроклімату в салоні проводилися при температурі зовнішнього повітря та інтенсивності сонячної радіації близькими до розрахункових значень.

В період контролю на маршруті працювали усі автобуси по затвердженим графікам відповідно до договору із замовником перевезень. Перед виїздом на лінію додатково були проведені необхідні технічні діагностування на витік холодоагенту в системі кондиціонування та щільність закриття дверей, верхніх люків та кватирок.

Контроль теплового режиму розділено на етапи:

- перевірка температурного і вологісного режиму в салоні під час руху по маршруту з неувімкненим і увімкненим кондиціонером;
- перевірка температурного режиму під час стоянки на проміжних зупинках з метою визначення теплообміну при відкритих дверях;
- перевірка температурного режиму під час стоянки на кінцевій зупинці.

З 12 червня по 28 липня 2019 р. були досліджені рівень завантаження салону і температурні показники протягом п'яти годинних періодів (рис. 4.2, 4.3).

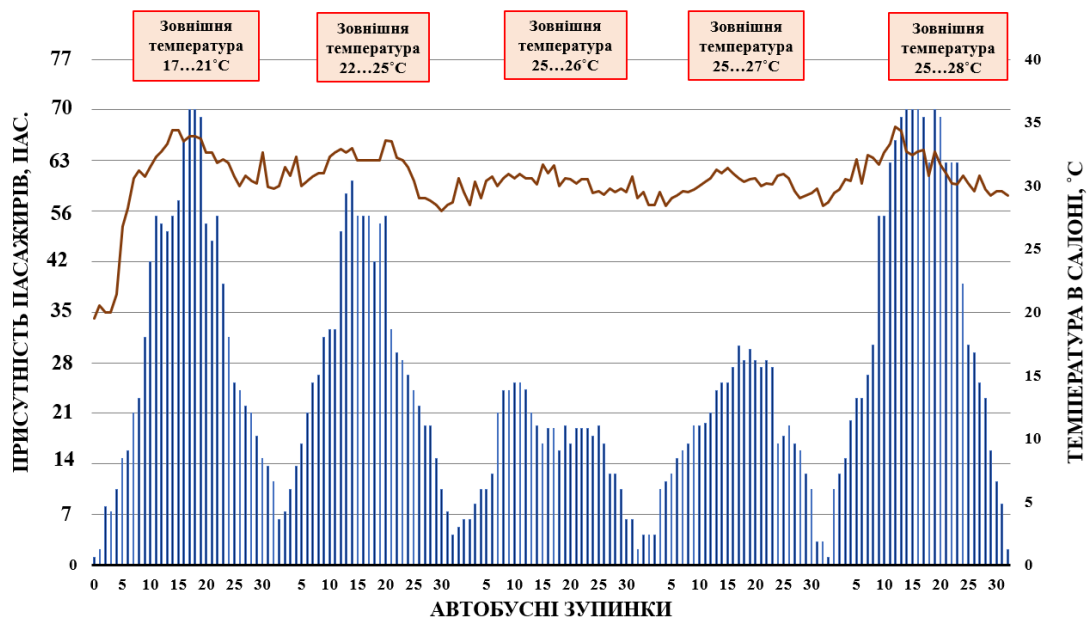


Рис. 4.2 - Температура повітря салону в залежності від зовнішньої температури і кількості пасажирів на маршруті за п'ять періодів (в прямому напрямку)*

* сформовано автором

База даних складається зі 100 наборів даних, де кількість присутніх пасажирів збільшена від 10-ої до 25-ої зупинок маршруту. Ці зупинки зосереджені на центральних вулицях міста і мають підвищений пасажиропотік.

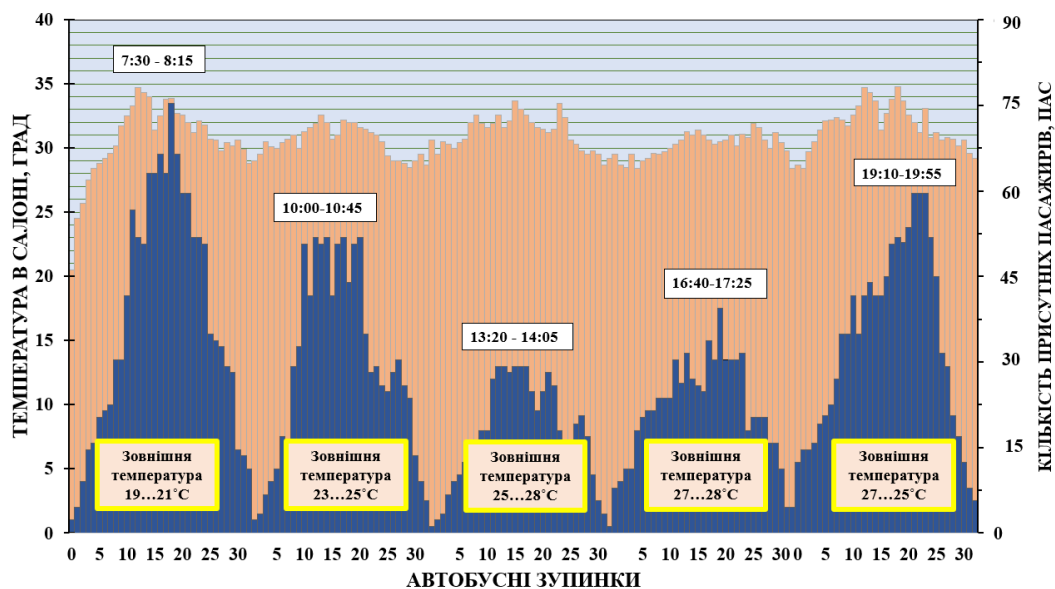


Рис. 4.3 - Температура повітря салону в залежності від зовнішньої температури і кількості пасажирів на маршруті за п'ять періодів (в зворотньому напрямку)*

* сформовано автором

Встановлено підвищений вплив сонячного випромінювання в залежності від місця положення автобуса відносно сонячної сторони (рис. 4.4).

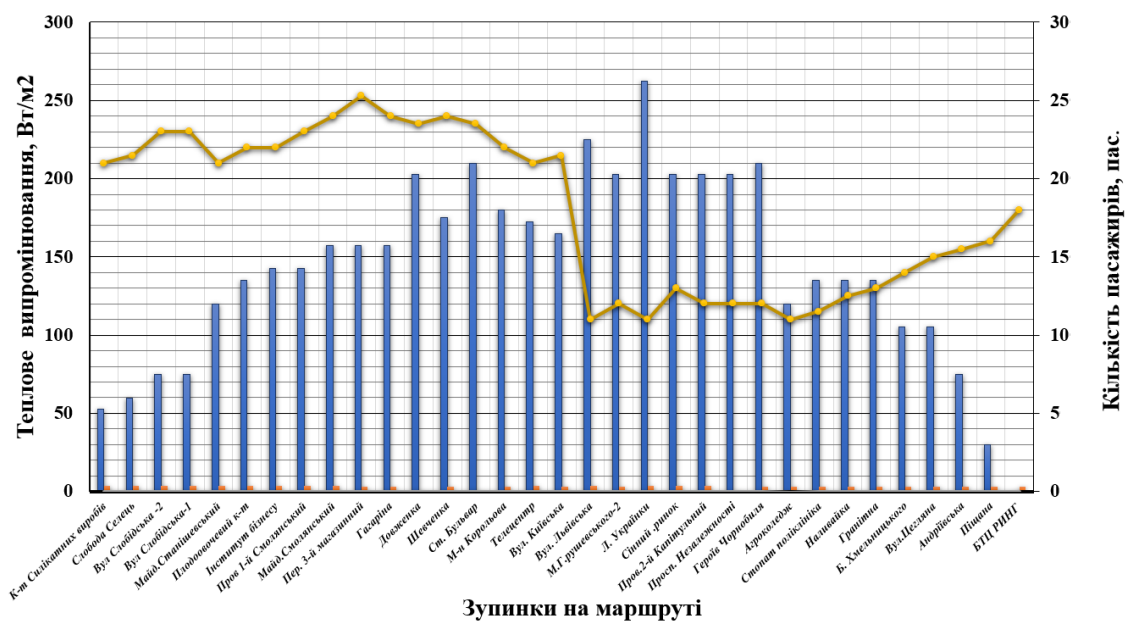


Рис. 4.4 - Залежність теплового випромінювання від місця положення автобуса, кількості пасажирів і зупинок на маршруті* * сформовано автором

Це свідчить, що пропускна здатність прозорих елементів салону не досить стійка до зовнішніх теплових впливів.

Підтверджено незначний вплив швидкості руху автобуса на зменшення температури в салоні (рис. 4.5). Температура навколишнього середовища $+28^{\circ}\text{C}$. Це пояснюється тим, що маршрут на кінцевих перегонах має заміський характер руху з незначним пасажиропотоком у обідні години.

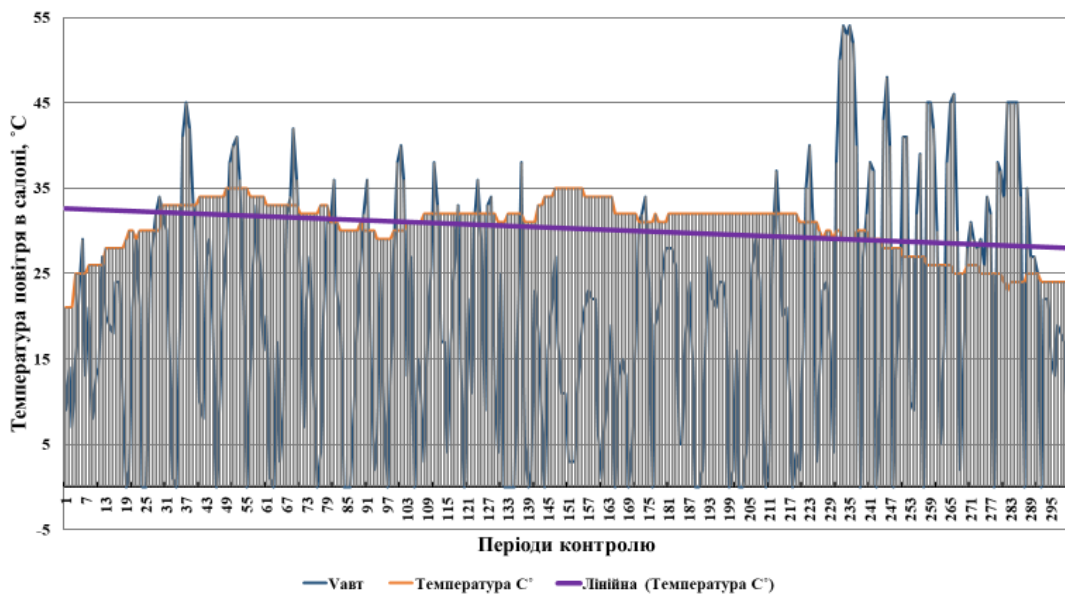


Рис. 4.5 - Залежність температури повітря в салоні від швидкості руху автобуса* * сформовано автором

Аналіз наведених даних на рис. 4.2 і 4.3 свідчить, що при середньому і більш заповненому показнику навантаження автобуса пасажирями температура повітря в салоні перевищує допустимі санітарними нормами показники.

При проведенні обстежень теплового навантаження салону, під час зупинки та його руху по маршруту, визначалася залежність теплового надходження від певної кількості пасажирів в салоні і температури навколишнього середовища, яка дорівнювала $t_3 = 29^{\circ}\text{C}$. Контрольні вимірювання температури повітря в салоні

проводилися через 1–2 хвилини після заповнення автобуса пасажирями при відповідній температурі зовнішнього повітря (рис. 4.6, 4.7).

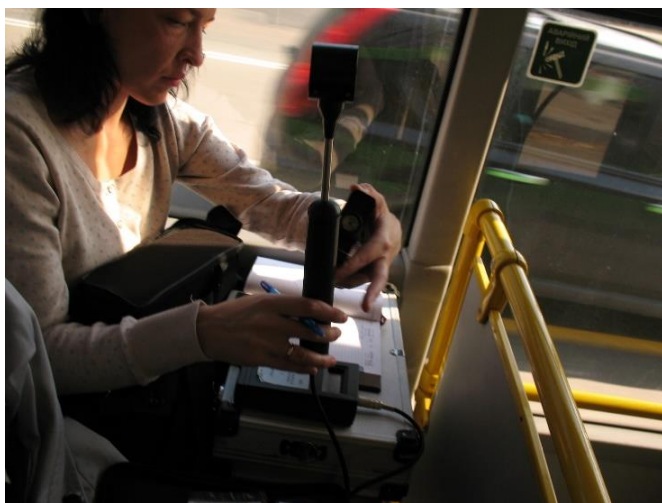


Рис. 4.6 -Вимірювання під час руху автобуса по маршруту*

*фото автора



Рис. 4.7 - Вимірювання показників на кінцевій зупинці*

На рис. 4.8 показано розміщення контрольних точок в процесі проведення експериментального дослідження. Точки 1а, 3а – зона голови для сидячого пасажиря, (на висоті 1,25 м від підлоги); точка 2а – зона голови для стоячого пасажиря, (1,75 м від підлоги); точки 1b, 3b – зона ніг для сидячого пасажиря, (0,5 м від підлоги).

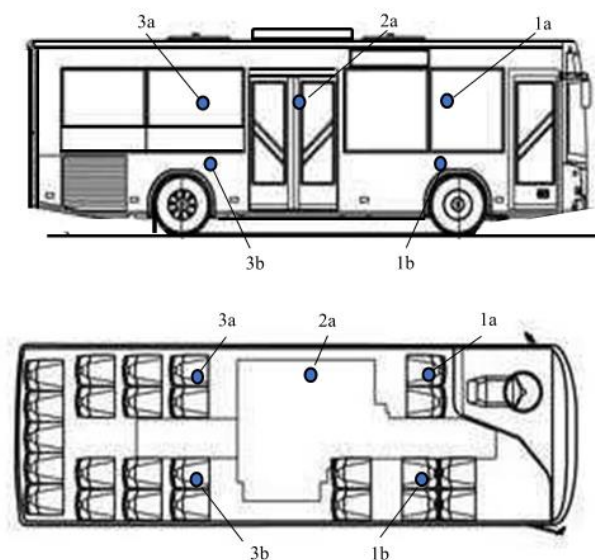


Рис. 4.8 - Схема розміщення точок вимірювання температури повітря*

*складено автором на підставі схеми [110]

Параметри мікроклімату в салоні за 1 хвилину до зупинки автобуса і відкриття дверей (кондиціонер працює на середній потужності) наведені в табл. 4.1.

Протоколи експериментального дослідження температурних показників і швидкості повітря в автобусі наведені в додатку Ж.

Таблиця 4.1- Мікроклімат в салоні автобуса за 1 хвилину до технологічної зупинки при працюючому кондиціонері*

Місце проведення вимірювань	Температура повітря		Швидкість повітря		Відносна вологість повітря	
	зовнішня $t_z, ^\circ\text{C}$	в салоні $t_c, ^\circ\text{C}$	зовнішня $v_z, \text{м/с}$	в салоні, $v_c \text{ м/с}$	зовнішня $\varphi_z, \%$	в салоні $\varphi_c, \%$
Точка 1а	28,0	25,6	0,8 – 1,0	0,3	54	45
Точка 2а	28,0	25,3	0,8 – 1,0	0,5	54	47
Точка 3а	28,0	25,2	0,8 – 1,0	0,4	54	47
Точка 1b	28,0	24,7	0,8 – 1,0	0,4	54	46
Точка 3b	28,0	24,5	0,8 – 1,0	0,7	54	45

Під час планової зупинки автобуса проводилися заміри температури і швидкості повітря при температурі зовнішнього повітря $+28^\circ\text{C}$. Виміри параметрів мікроклімату виконувалися перед закриттям дверей автобуса. Кондиціонер працював на малій потужності. Результати замірів зведені в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 - Мікроклімат в салоні автобуса на зупинці з відкритими дверима протягом 1 хвилини*

Місце проведення вимірювань	Температура повітря		Швидкість повітря		Відносна вологість повітря	
	зовнішня $t_z, ^\circ\text{C}$	в салоні $t_c, ^\circ\text{C}$	зовнішня $v_z, \text{м/с}$	в салоні $v_c, \text{м/с}$	зовнішня $\varphi_z, \%$	в салоні $\varphi_c, \%$
Точка 1а	28,1	28,6	0,8-1,0	0,2	54	48
Точка 2а	28,1	27,8	0,8-1,0	0,3	54	49
Точка 3а	28,1	28,3	0,8-1,0	0,3	54	49
Точка 1б	28,1	26,7	0,8-1,0	0,4	54	48
Точка 3б	28,1	26,5	0,8-1,0	0,5	54	46

Через одну хвилину після початку руху автобуса від зупинки також проводилися вимірювання параметрів мікроклімату в салоні. Дані вимірювань наведені в табл. 4.3.

Таблиця 4.3 - Параметри мікроклімату в салоні автобуса під час руху по маршруту через 2 хвилини після зупинки (кондиціонер працює на підвищеній і середній потужності)*

Місце проведення вимірювань	Температура повітря		Швидкість повітря		Відносна вологість повітря	
	зовнішня $t_z, ^\circ\text{C}$	в салоні $t_c, ^\circ\text{C}$	зовнішня $v_z, \text{м/с}$	в салоні $v_c, \text{м/с}$	зовнішня $\varphi_z, \%$	в салоні $\varphi_c, \%$
Точка 1а	28,1	26,1	0,8-1,0	0,3	54	47
Точка 2а	28,1	26,2	0,8-1,0	0,4	54	47
Точка 3а	28,1	24,4	0,8-1,0	0,3	54	46
Точка 1б	28,1	25,2	0,8-1,0	0,5	54	46
Точка 3б	28,1	24,3	0,8-1,0	0,8	54	45

Аналізуючи дані, що наведені в таблицях 4.1–4.3, можна зробити висновок, що експлуатація автобуса марки МАЗ–206086 з кондиціонером на міському маршруті дозволяє забезпечити відносно комфортні умови в салоні для пасажирів.

Виконані в роботі обстеження показали, що загальне теплове навантаження на систему кондиціонування повітря в салоні автобуса визначається за рівнянням теплового балансу (2.4) і становить $Q_{ск} = 10240$ Вт.

При цьому, посиляючись на отримані значення (табл. 4.4) і рис. 4.9, 48 % тепла припадає на сонячне випромінювання через зашлену поверхню, 38 % тепла виділяють пасажирів, 8 % тепла надходить з повітрям, що потрапляє в салон через відкриті двері автобуса на технологічних зупинках, 6 % тепла надходить в салон через непрозорі конструкції кузова.

Таблиця 4.4 - Результати розрахунків теплонадходжень в салон автобуса*

№ з/п	Найменування теплового впливу	Позначення	Показник, Вт
1	Кількість тепла, що потрапляє в салон через відкриті двері на зупинках	$Q_{дп}$	65
2	Додаткове теплове навантаження на кондиціонер	$Q_{дв}$	495
3	Сумарна теплота з припливним та видаленим повітрям через двері на зупинках	ΣQ_d	560
4	Загальна кількість теплоти з припливним повітрям	$Q_{пп}$	780
5	Надходження повної теплоти в салон від пасажирів	$Q_{пас}$	3900
6	Теплоприплив через прозорі елементи салону	$Q_{зп}$	4880
7	Теплоприплив через непрозорі елементи салону	$Q_{нп}$	680
8	Загальна сума теплоти, що потрапляє в салон автобуса через конструктивні панелі і вироби	$Q_{ок}$	5560

*складено автором

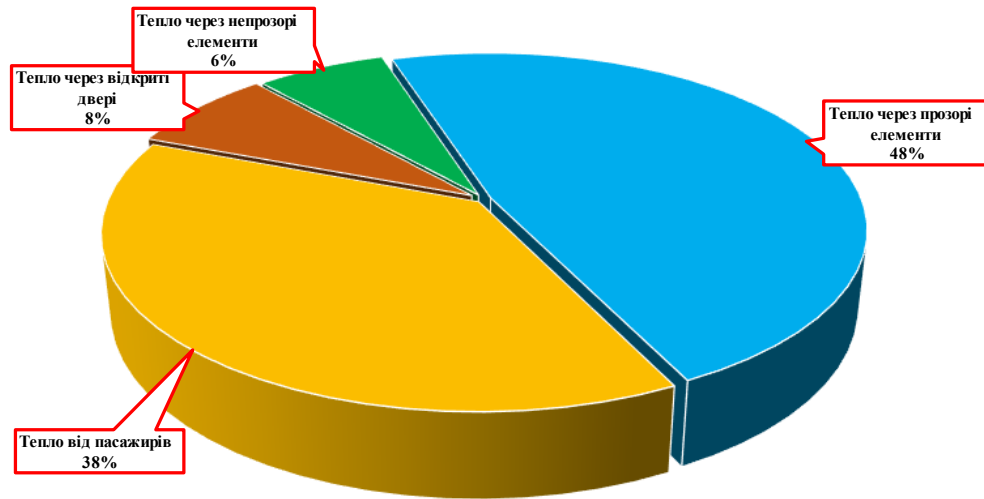


Рис. 4.9 - Розподіл джерел надходження тепла в салон автобуса*

*розроблено автором

Важливим для нашого дослідження, згідно даних діаграми є те, що на теплонадходження через прозорі елементи кузова автобуса і тепловиділення від присутніх пасажирів в салоні припадає найбільший сегмент теплового навантаження.

4.2 Повітрообмін салону автобуса з кондиціонером

Для приміщень, які обладнані системою кондиціонування (в тому числі і салони транспортних засобів) повітрообмін визначається додатково по виду забруднювачів повітря. В салоні автобуса основними забруднювачами є: надлишкова теплота, вуглекислий газ та надлишкова волога.

Повітрообмін (м³/год) по надлишкам теплоти визначає продуктивність установки кондиціонування повітря в салоні і розраховується за формулою [122]:

$$L_Q = \frac{3,6 \cdot Q_{\text{надл}}}{\rho \cdot C_p \cdot (t_{\text{вид}} - t_{\text{пр}})}, \quad (4.1)$$

де $Q_{\text{надл}}$ – кількість надлишкової теплоти в приміщенні, Вт;

ρ – густина повітря при температурі 20–30 °С, кг/м³;

$C_{\text{п}}$ – масова теплоємність повітря, Вт/(кг·°С);

$t_{\text{вид}}$ – температура повітря, що видаляється з приміщення, °С;

$t_{\text{пр}}$ – температура припливного повітря в салон автобуса, °С.

При кратності повітрообміну більше п'яти, температура повітря, що видаляється з приміщення, дорівнює температурі повітря в самому приміщенні, тобто в салоні автобуса, $t_{\text{вид}} = t_c$ [123]. При цьому, $t_{\text{пр}}$ приймається на 4–6 °С нижче, ніж t_{ca} [123], $t_{\text{пр}}$ приймаємо +19 °С.

Повітряний комфорт людини в закритому просторі, до якого можна зарахувати і конструкцію автобуса, визначається якісною характеристикою оточуючого повітря, що напряду залежить від кількості свіжого повітря, яке надходить від зовнішнього середовища. В умовах комфортного кондиціонування салону автобуса, при присутності людей, газовий склад змінюється також через наявність в ньому вуглекислого газу (CO₂), що є нормованим критерієм визначення санітарного стану.

Встановлено, що самопочуття і основні фізіологічні функції організму людини незмінні, коли у повітрі, яке вдихається концентрація CO₂ знаходиться в межах 0,04...0,5 % [76].

Процес оновлення повітря в салоні автобуса здійснюється за рахунок функціонування регульованого притоку зовнішнього повітря.

Повітрообмін (розбавлення) по вуглекислому газу розраховується за формулою [124]:

$$L_{\text{CO}_2} = \frac{V_{\text{CO}_2}}{Y_{\text{гдк}} - Y_{\text{пр}}}, \text{ м}^3/\text{год}, \quad (4.2)$$

де V_{CO_2} – кількість вуглекислого газу, що надходить в салон автобуса від пасажирів, л/год;

$Y_{\text{гдк}}$ – гранично-допустима концентрація CO_2 в повітрі салону при короткочасному перебуванні людей ($Y_{\text{гдк}} = 1,25 \text{ л/м}^3$) [111];

$Y_{\text{пр}}$ – вміст вуглекислого газу в припливному повітрі, л/м^3 , ($Y_{\text{пр}} = 0,5 \text{ л/м}^3$) [124];

L_{CO_2} знаходиться з урахуванням того, що один дорослий пасажир в стані спокою виділяє 15–18 л/год вуглекислого газу [124].

Вплив вологи в оточуючому повітрі на теплообмін людини залежить від основних параметрів мікроклімату: температури повітря і теплового випромінювання. Підвищена вологість у поєднанні з високою температурою погіршує теплообмін людини з навколишнім середовищем і це призводить до перегріву організму. Найбільш оптимальною рахується відносна вологість повітря в діапазоні від 30 до 60 %, гранична межа становить 70 % [76].

Повітрообмін для видалення вологи в салоні визначається за формулою [122]:

$$L_W = \frac{W_{\text{надл}}}{\rho \cdot (d_{\text{вид}} - d_{\text{пр}})}, \quad \text{м}^3/\text{год}, \quad (4.3)$$

де $W_{\text{надл}}$ – кількість вологи, що виділяється в салоні автобуса, г/год;

ρ – густина повітря, кг/м^3 ;

$d_{\text{вид}} = d_c$ – вологоємність повітря, яке видаляється визначається по I-d діаграмі;

$d_{\text{пр}}$ – вологоємність припливного повітря визначається по I-d діаграмі.

В салоні автобуса надлишки вологи утворюються від її виділення пасажиром. Величина виділення вологи з розрахунку на одного пасажир при температурі 24°C становить $W_{\text{нас}} = 0,095 \text{ кг/год}$. [123].

За формулою (4.3) повітрообмін по надлишку вологи складає $L_W = 4400 \text{ м}^3/\text{год}$, що менше за повітрообмін для асиміляції теплоти. Для подальших розрахунків приймаємо найбільшу величину повітрообміну: по асиміляції теплоти - $7060 \text{ м}^3/\text{год}$, видаленні вологи - $4400 \text{ м}^3/\text{год}$. та вуглекислого газу - $624 \text{ м}^3/\text{год}$.

В практиці вентиляції і кондиціонування повітря широко використовується розрахунково-графічний метод тепловологісного стану повітря з використанням I – d діаграм (рис. 4.10). Це процеси, які пов’язані з обробкою і перемішуванням повітря в системах вентиляції і кондиціонування, а також процеси, які проходять в приміщеннях, що обслуговуються цими системами.

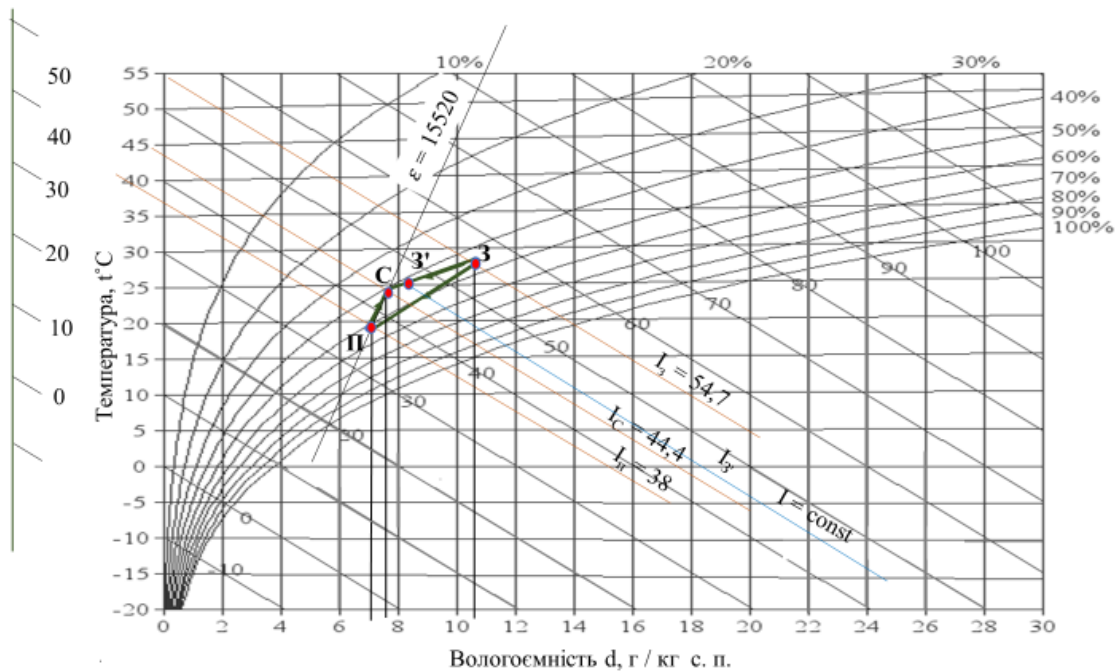


Рис. 4.10 - Зображення повітровологісного процесу в салоні автобуса і кондиціонері на I-d діаграмі*

*розроблено автором

При одночасному виділенні в приміщенні (салоні автобуса) надлишкової теплоти і вологи, повітря буде охолоджуватися або нагріватися по лінії, що носить назву кутового коефіцієнта (або променем процесу, або тепловологісним відношенням) і визначається за виразом [109]:

$$\varepsilon = \frac{\sum Q \cdot 3,6}{\sum W}, \text{ кДж/кг} \quad (4.4)$$

де $\sum Q$ – сумарна кількість надлишкової теплоти, Вт;

ΣW – сумарна кількість надлишкової вологи, кг/год;

3,6 – перевідний коефіцієнт теплоти Вт в кДж/год.

На I-d діаграмі лінію, паралельну променю процесу, проводять через відмітку С, що характеризує параметри повітря в салоні автобуса, $t_c = 24\text{ }^{\circ}\text{C}$; $\phi_c = 40\%$. На цій лінії знаходять реперні відмітки:

- для повітря в салоні автобуса, відмітка С: $d_c = 7,6\text{ г/кг}$; $I_c = 44,4\text{ кДж/кг}$;
- для припливного повітря, відмітка П: $t_n = 19\text{ }^{\circ}\text{C}$; $d_n = 7,15\text{ г/кг}$; $I_n = 38,0\text{ кДж/кг}$;
- для зовнішнього повітря, відмітка З: $t_z = 27,7\text{ }^{\circ}\text{C}$; $d_z = 10,5\text{ г/кг}$; $I_z = 54,7\text{ кДж/кг}$.

Відрізок ЗП характеризує процес охолодження і осушення зовнішнього повітря в кондиціонері. Відрізок ПС – процес в салоні автобуса при надходженні в нього повітря з кондиціонера. Відрізок ЗС – процес в салоні при надходженні зовнішнього повітря через відкриті двері на зупинках. Відмітка З' характеризує стан повітря після змішування зовнішнього повітря з повітрям салону.

Холодопродуктивність кондиціонера визначається за різницею ентальпії повітря ΔI у відмітках З і П:

$$\Delta I_{ЗП} = I_z - I_P. \quad (4.5)$$

Застосування рециркуляції і обсягу зовнішнього повітря у цій суміші повинні відповідати санітарно-гігієнічним нормативам, чим вкрай обмежується термін застосування системи при присутності великої кількості пасажирів.

При цьому, повітря проходить через кліматичний пристрій (кондиціонер), охолоджується в ньому і потім направляється знову в салон. Температура рециркуляційного повітря нижча за зовнішню, тому і витрати енергії на охолодження припливного повітря будуть зменшені.

Середній час охолодження повітря в кондиціонері без рециркуляції і з рециркуляцією приведений на рис. 4.11.

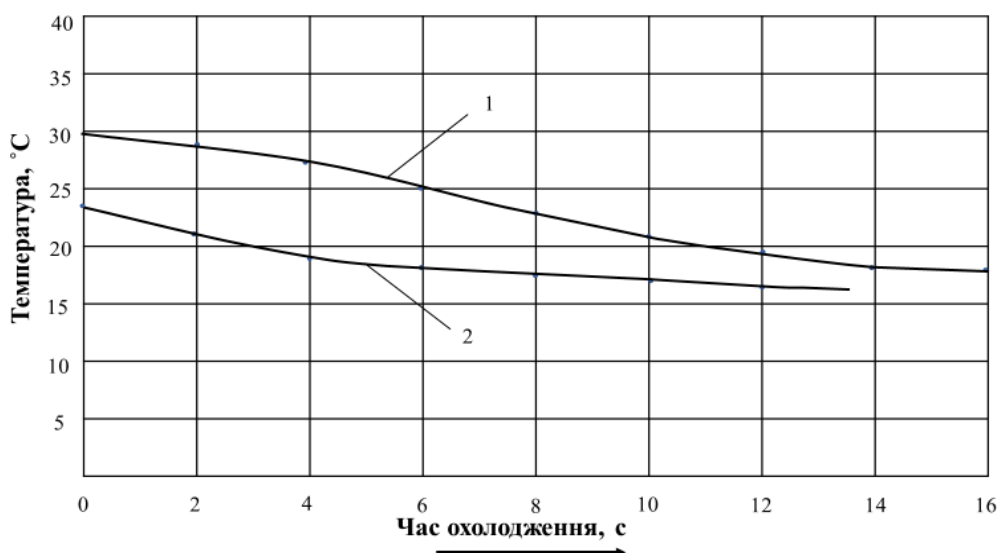


Рис. 4.11 - Середній час охолодження повітря в салоні автобуса*:

1 – при надходженні в кондиціонер зовнішнього повітря;

2 – при рециркуляції повітря.

*розроблено автором

Реальний процес охолодження повітря в автобусному кондиціонері завжди належить до області 1–2–3 і має вид кривої, що з'єднує відмітки 1 і 3 (рис. 4.12). В салон автобуса повітря потрапляє з параметрами відмітки 3а. Отже, відмітка 3а характеризує початок змішування.

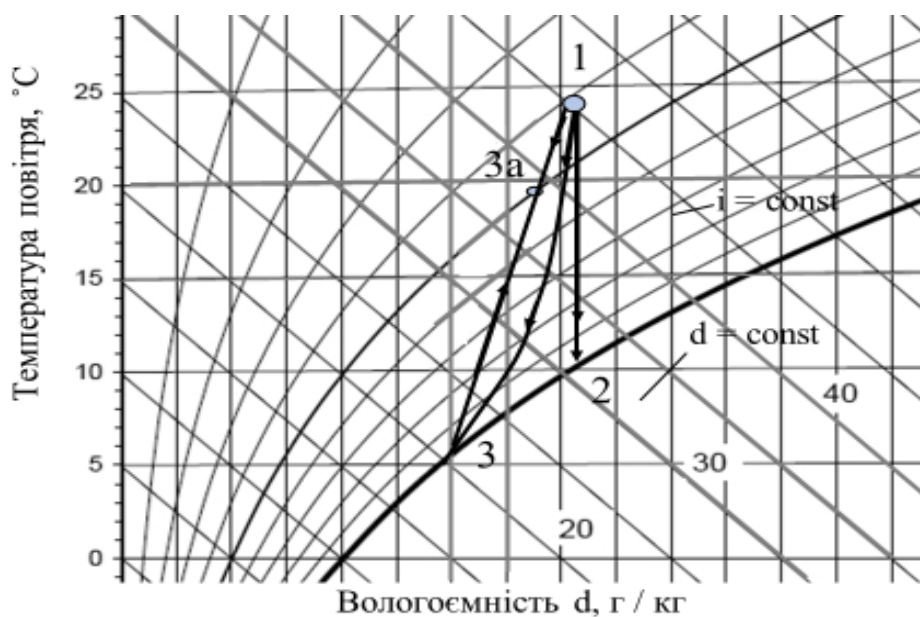


Рис. 4.12 - Реальний процес охолодження повітря в теплообміннику (крива 1–3)*

*розроблено автором

Відносна вологість повітря в салоні автобуса при кондиціонуванні залежить не лише від параметрів змішувача повітря в охолоджувачі, а також від характеристики тепловологісного процесу, що проходить в автобусі, а саме, від кутового коефіцієнта асиміляції надлишків тепла і вологи в салоні ε . Якщо ε знаходиться в межах 10000–20000 кДж/кг, то навантаження на систему кондиціонування автобуса буде мінімальним [124].

Таким чином, рециркуляція і змішування повітря за різними параметрами в кондиціонері значно зменшує витрати енергії на обробку повітря системою кондиціонування в салоні автобуса.

Загальна кількість теплоти, що потрапляє в салон автобуса при наведених умовах складає $Q_{СК} = 10240 \text{ Вт}$ (36846 кДж/год).

Хронометраж процесу посадки та висадки пасажирів на технологічних зупинках показав, що тривалість такого процесу становить в середньому 10-12 с (звичайний режим) і в середньому до 64 с, якщо в автобус заходять або виходять пасажирів на колясках колісних де буде потрібне втручання водія.

Вимірювання температурних показників під час стоянки на плановій зупинці наведено на рис. 4.13, 4.14.



Рис. 4.13 - Вимірювання температури в салоні на плановій зупинці*



Рис. 4.14 - Вимірювання температури в салоні на зупинці при початку руху*

*фото автора

Час, необхідний для компенсації теплоти, яка потрапила в салон з повітрям на зупинці, визначається за формулою:

$$\tau_k = \frac{v \times p}{w} c_n (t_z - t_c), \text{ год}, \quad (4.6)$$

де τ_k – час, необхідний для компенсації теплоти, год;

v – об'єм охолоджуваного повітря, м³/год;

p – густина повітря, кг/м³;

w – теплова потужність кондиціонера, Вт;

c_n – теплоємність повітря, $c_n = 0,279$ Вт/кг;

t_z, t_c – температура зовнішнього повітря і повітря в салоні, відповідно, °С.

Результати розрахунків зведені в таблицю 4.5.

Таблиця 4.5 - Результати розрахунків повітрообміну салону автобуса з кондиціонером*

$L_w,$ м ³ /год	$L_Q,$ м ³ /год	$L_{CO_2},$ м ³ /год	$\varepsilon,$ кДж/кг	$Q_{СК},$ кДж/год	$p,$ кг / м ³	$C_n,$ кДж/кг	$\tau_{кз},$ с	$\tau_{кв},$ с	$v,$ м ³ /год
4400	7060	624	15520	36846	1,2	1,05	79	47	450

*складено автором

Проведеними розрахунками визначений необхідний час для видалення надлишків тепла, яке потрапило в салон автобуса під час його стоянки на зупинці. Цей час дорівнює 0,022 години (79 секунд). Враховуючи те, що середньоденне заповнення салону автобуса пасажирями порівняно незначне (близько 25–30 людей) – доцільно виконувати посадку та висадку пасажирів через одну із дверей – передню чи задню. В такому разі, об'єм зовнішнього повітря, що потрапляє в салон і, відповідно, приплив теплоти зменшиться пропорційно площі припливних дверних отворів. При відкритих лише передніх

дверях час τ_k компенсації теплоти, що надходить в салон на зупинці дорівнює 32 секунди. При відкритих лише задніх дверях час τ_k компенсації теплоти складає 47 секунд.

4.3 Інтегрований процес чисельного моделювання теплового навантаження салону автобуса

Сонячне випромінювання є ключовим фактором теплового навантаження під час стоянки автобуса на кінцевій зупинці. Під час руху по маршруту, наряду із сонячним навантаженням, додається фактор присутності пасажирів в салоні.

Для простоти застосування на ПАТП розробленої методики створена і запропонована програма з визначення теплового навантаження на салон автобуса. Оцінка теплового навантаження на салон слугує для прогнозування впливу зниження навантаження на двигун та економії палива шляхом уточненого нормування. Пропонований підхід дає можливість передбачення впливу методів охолодження салону автобуса з використанням інтегрованого процесу моделювання.

Для розрахунку сумарного теплонадходження, визначення передбачуваної температури в салоні і часу охолодження, розроблено форму в програмі Microsoft Excel (рис. 4.15). Умови експерименту передбачають знаходження автобуса на відкритому не затіненому майданчику, що характерно для кінцевих міських автобусних зупинок. При цьому закритими залишаються усі люки, двері, кватирки, вікна.

Для перевірки правильності імітації зміни температурного стану в салоні автобуса, тривалості його охолодження під час стоянки без пасажирів, прийнято період літньої експлуатації з температурою зовнішнього повітря, наприклад +20 °C. Визначеному температурному режиму відповідає період теплового впливу з 8:00 до 9:00 год. згідно з базою даних Гідрометцентру. Такі дані зафіксовані у файлі програми і умови виконання цих вимірювань відтворені в імітаційній моделі (рис. 4.15).

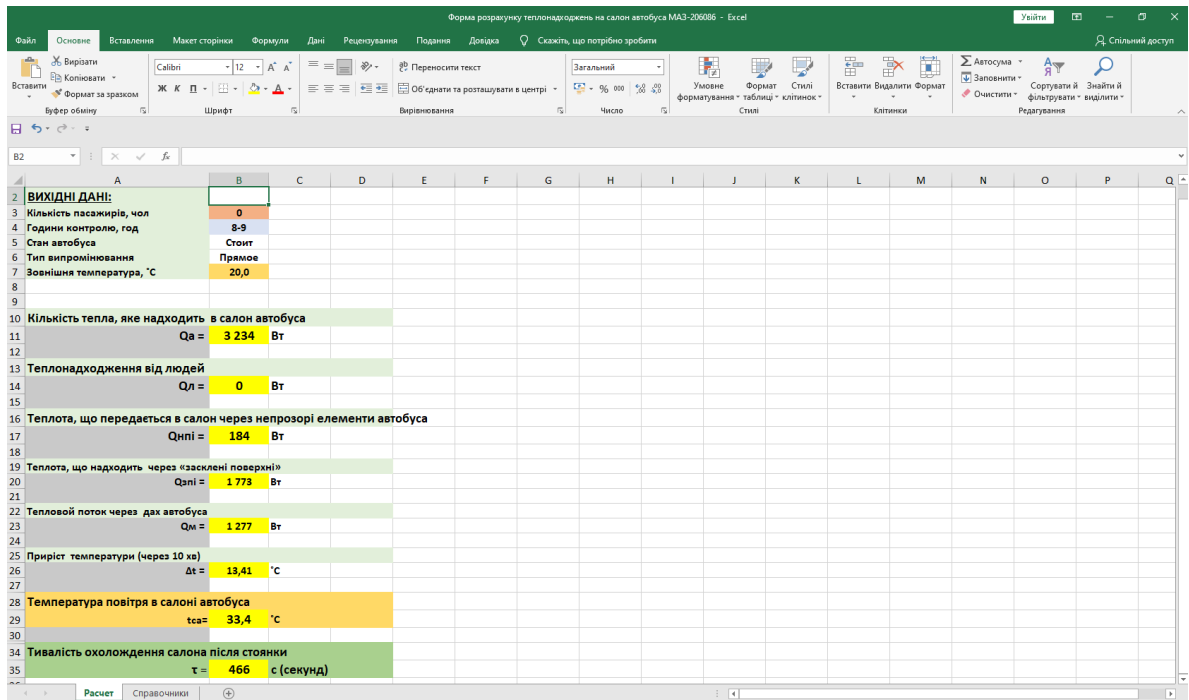


Рис. 4.15 - Вікно форми програми (скріншот) для розрахунку часу охолодження салону автобуса від сумарного теплонадходження під час стоянки

Початкові дані вводяться в програму і задається відповідна температура навколишнього середовища. В результаті імітації температура в салоні автобуса становила $+33,4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Для компенсації належного температурного режиму необхідна тривалість роботи кондиціонера 466 секунд без урахуванням інертності поглинання тепла внутрішніми конструкціями салону. Для зручності час охолодження салону округлюємо в сторону збільшення. Присутність пасажирів під час охолодження салону на кінцевій зупинці не передбачена.

Для імітації температурного стану салону автобуса, під час руху по маршруту з певною кількістю пасажирів, вводяться дані по часовому періоду прогнозування зовнішньої температури і кількості передбачуваних пасажирів. В період з 7:00 до 8:00, при присутності 60 пасажирів, температурні показники салону становлять $+24,3^{\circ}\text{C}$, що характеризує потребу в увімкненні кондиціонера при зовнішній температурі $+19^{\circ}\text{C}$ (рис.4.16). Розрахунок показників тривалості охолодження салону під час руху, не передбачено.

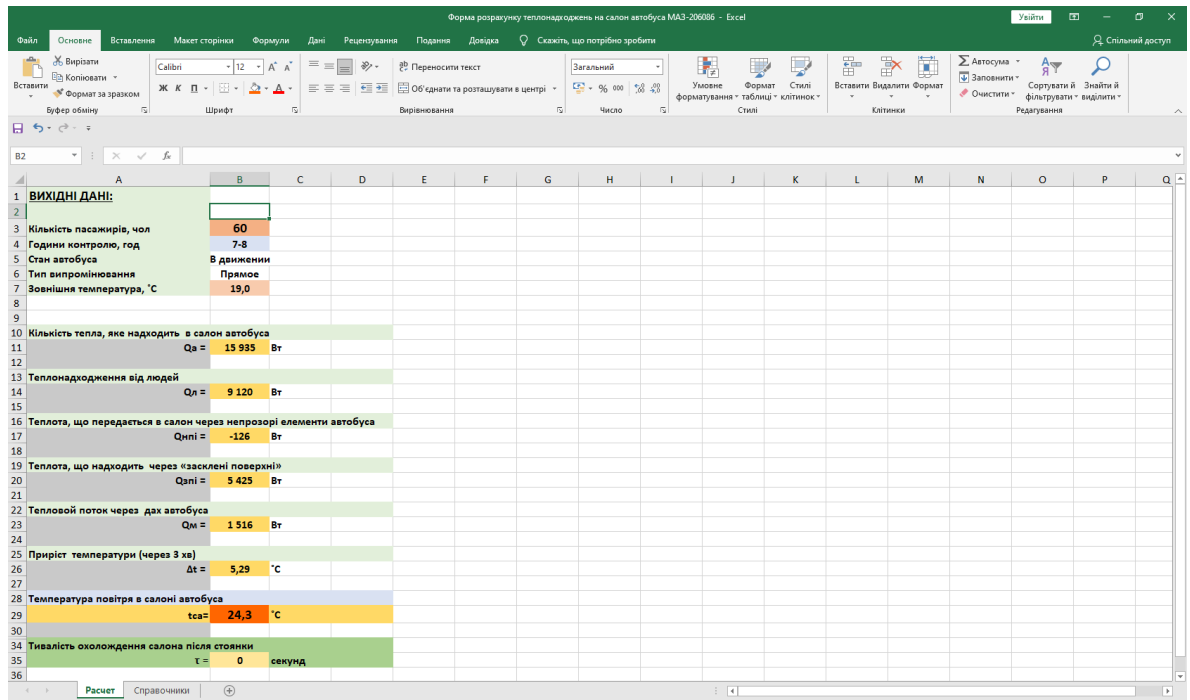


Рис. 4.16 - Вікно форми програми (скріншот) для розрахунку температурного стану салону автобуса під час руху в залежності від прогнозованої кількості пасажирів

Розходження між розрахунковим часом охолодження імітаційної моделі і по даним експерименту становить 7,42 %. При розрахунках у програмі теплових навантажень прийнято величини у Вт.

Надходження теплоти від пасажирів визначається за формулою:

$$Q_{\text{л}} = q_{\text{п}} \cdot n, \quad (4.7)$$

де $q_{\text{п}}$ – повне тепло, що виділяється однією людиною при відповідній навколишній температурі, Вт [106];

n – кількість присутніх пасажирів.

Тепловий потік через огорожувальні конструкції кузова автобуса, Q м Вт, для годин доби: 6–7; 7–8; 8–9; 9–10; 10–11; 11–12; 12–13; 13–14; 14–15; 15–16; 16–17; 17–18; 18–19, варто визначати за формулою:

$$Q_{\text{ок}} = \left[\frac{1}{R} \left(t_{\text{зов}} + p \frac{l_{\text{сп}}}{a_{\text{зов}}} - t_c \right) + \frac{\beta_k \cdot a_{\text{вн}}}{V} \cdot \left(0,5 \theta_1 \cdot A_{\text{мс}} + \frac{p}{a_{\text{зов}}} \cdot \theta_2 \cdot A_j \right) \right] \cdot S_k \cdot 0,65, \quad (4.8)$$

де R – опір теплопередачі огорожувальної конструкції салону (боковини, даху), $R = 1,22 \text{ (м}^2\text{°C) / Вт [104]}$;

$t_{\text{зов}}, t_c$ – середня температура зовнішнього повітря в липні [125] і температура повітря в салоні автобуса, $t_{\text{зов}} = 18; 19; 20; 22; 24; 27; 30; 32, \text{°C}$;

t_c – оптимальна температура в салоні для літньої експлуатації, $t_c = 24\text{°C}$;

p – коефіцієнт поглинання сонячної радіації поверхнею огорожувальної конструкції салону, що приймається за додатком $p = 0,6$ [104];

$l_{\text{сп}}$ – середньодобове значення поверхневої густини теплового потоку сумарної сонячної радіації (прямої і розсіяної), що надходить в липні для горизонтальної поверхні $J_{\text{сп}} = 329 \text{ Вт / м}^2$ [125];

β_k – коефіцієнт, що дорівнює 1,0 – при відсутності вентилязованого повітряного прошарку в покритті і рівним 0,6 для всіх інших огорожувальних конструкцій;

V – величина загасання амплітуди коливань температури зовнішнього повітря в захисної конструкції $v = 7,998$ [125];

θ_1, θ_2 – коефіцієнти добового фактору, що приймаються для кожної години доби $\theta_1, \theta_2 = 0,9$ [125];

$A_{\text{мс}}$ – емпіричний коефіцієнт $A_{\text{мс}} = 18,5$;

A_j – амплітуда добових коливань сумарної сонячної радіації (прямої і розсіяної) в вищевказані години доби $A_j = -154; -22; 134; 278; 376; 463; 523 \text{ Вт/м}^2$, [125];

S_k – площа огорожувальної конструкції салону автобуса $S_k = 21,42 \text{ м}^2$;

$a_{\text{зов}}, a_{\text{вн}}$ – коефіцієнти тепловіддачі зовнішньої і внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції $a_{\text{зов}} = 0,9 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$, $a_{\text{вн}} = 8,7 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$, [125];

0,65 – коефіцієнт, що враховує частку тепла, яка надходить в салон при дії сонячної радіації.

Амплітуда добових коливань сумарної сонячної радіації (прямої і розсіяної) A_j , Вт/кв. м, визначається за формулою:

$$A_j = J_{\text{макс}} - J_{\text{ср}}, \quad (4.9)$$

де $J_{\text{макс}}$, $J_{\text{ср}}$ – максимальне і середньодобове значення сумарної сонячної радіації (прямої і розсіяної), що надходить на зовнішнє облицювання конструкції кузова, приймається за підходом [125].

В таблиці 4.6 і рис 4.17 наведені узагальнені результати розрахунків тривалості охолодження салону автобуса залежно від температури навколишнього середовища і теплового опромінювання. Пасажири в салоні відсутні, двері, вікна, кватирки і люки закриті.

Таблиця 4.6 - Залежність тривалості охолодження салону в стаціонарному режимі температури повітря в салоні і зовнішньої*

Інтервал роботи, год	Температура зовні, °С	Вид опромінювання	Температура в салоні, °С	Тривалість охолодження, с.
6:00–7:00	18	Пряме	25,4	257
		Розсіяне	23,3	194
7:00–8:00	19	Пряме	29,1	361
		Розсіяне	25,7	232
8:00–9:00	20	Пряме	33,4	466
		Розсіяне	28,7	304
9:00–10:00	22	Пряме	36,2	492
		Розсіяне	30,7	300
10:00–11:00	24	Пряме	37,5	470
		Розсіяне	31,3	252
11:00–12:00	27,7	Пряме	41,1	464
		Розсіяне	34,3	229
12:00–13:00	30	Пряме	43,6	472
		Розсіяне	36,8	236
13:00–14:00	32	Пряме	45,3	495
		Розсіяне	40	278
14:00–15:00	30	Пряме	44,9	518
		Розсіяне	39,4	326

15:00–16:00	27,7	Пряме	41,8	490
		Розсіяне	37,2	328
16:00–17:00	24	Пряме	34,6	367
		Розсіяне	31,1	248
17:00–18:00	22	Пряме	29,8	270
		Розсіяне	27,7	197
18:00–19:00	20	Пряме	23,4	119
		Розсіяне	22,3	107

*складено автором

За даними (таблиці 4.6 і рис.4.17) видно, що зі збільшенням температури зовнішнього повітря змінюється тривалість охолодження салону до оптимальної температури в салоні за відповідними величинами.

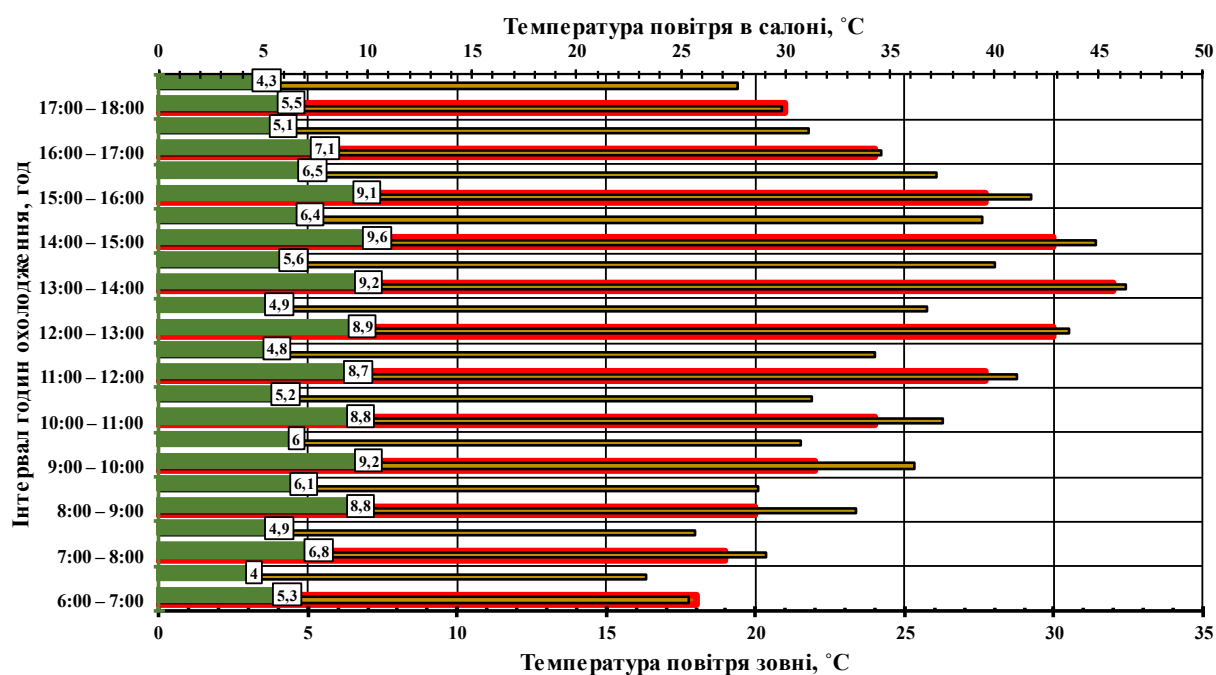


Рис. 4.17 - Залежність тривалості охолодження салону від температури зовнішньої і в салоні*

*розроблено автором

На графіку рис. 4.18 дві нелінійні залежності часу охолодження салону автобуса від зовнішньої температури.

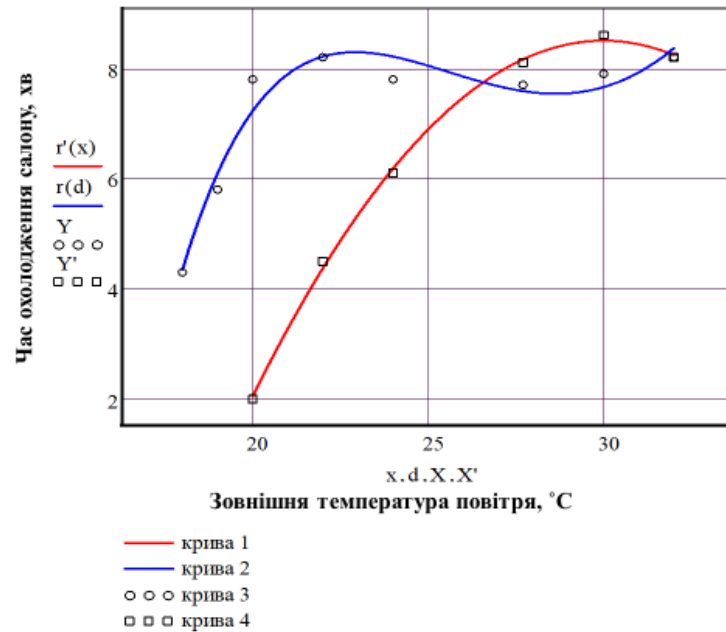


Рис. 4.18 - Залежність часу охолодження салону автобуса від температури навколишнього повітря в стаціонарному режимі*

*розроблено автором

Рівняння цих моделей регресії:

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 \cdot X_t^{0,3} + \beta_2 \cdot X_t^{0,4} + \beta_3 \cdot X_t^{0,9} + U_t$$

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 \cdot X_t + \beta_2 \cdot X_t^2 + U_t$$
(4.10)

Результати розрахунків графіку регресії моделей наведено в додатку К.

З метою оцінки адекватності приведеної математичної моделі була отримана експериментальна залежність зміни середньої температури охолодження салону автобуса на кінцевій зупинці від зовнішньої температури (рис. 4.19). При порівнянні даних (рис. 4.18) з експериментальними дослідженнями встановлено, що експериментальні значення дещо більші табличних. Це свідчить про збільшену величину інерційності перехідного теплового стану на охолодження салону до 1,5–2,0 хв.

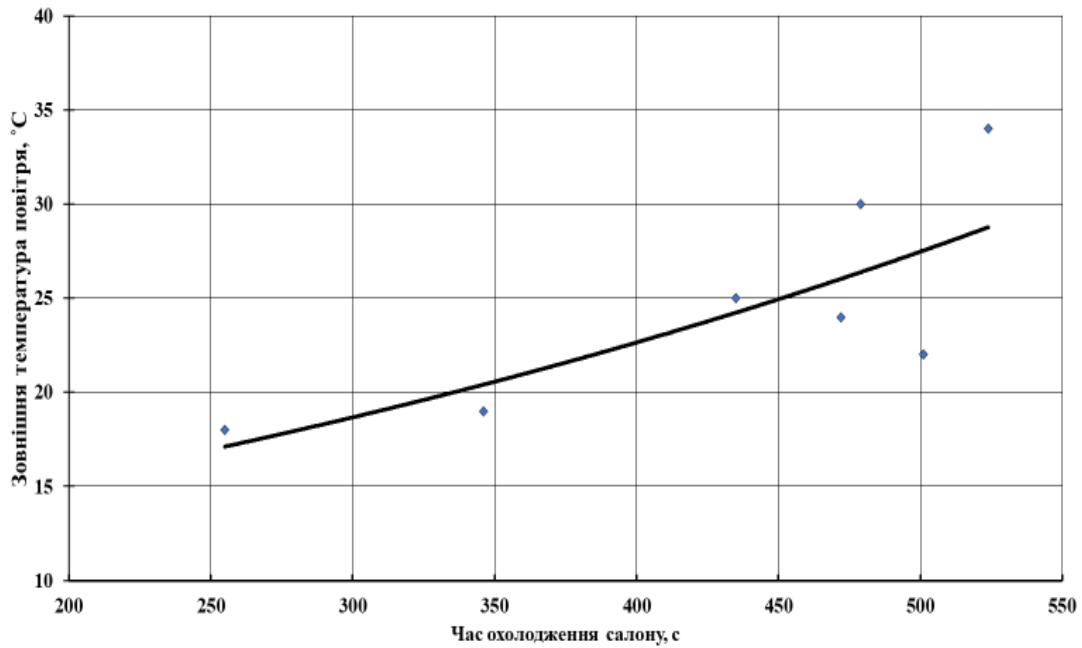


Рис. 4.19 - Експериментальний час охолодження салону при відповідній зовнішній температурі*

*розроблено автором

Аналіз результатів дослідження показав, що при збільшенні температури зовнішнього повітря підвищується температура в салоні, що відповідно призводить до збільшення часу на охолодження салону кондиціонером.

Узагальнені результати прогнозованої температури в салоні автобуса, в залежності від кількості пасажирів під час руху, представлені в табл. 4.7. Для зручності визначення температурного стану салону, при певній кількості пасажирів, здійснено розподіл завантаження на п'ять класів з присвоєнням балів показників комфортності (додаток Д).

Таблиця 4.7 - Узагальнені результати розрахунків температурного стану салону автобуса для визначення критеріїв рівня пасажирського завантаження*

Присутні пасажирів чол.	Температура повітря в салоні в залежності від зовнішнього повітря і прогнозованої кількості пасажирів, °C													Рівень наванта- ження
	18	19	20	22	24	27,7	30	32	30	27,7	24	22	20	
5	20	21,5	23,2	25,3	27	39,6	32,9	35,2	33,5	31,1	29,8	24,1	21	1
10	20,2	21,8	23,5	25,6	27,2	30,8	33,2	35,4	33,8	31,4	26,9	24,3	21,3	
15	20,5	22	23,7	25,8	27,5	31	33,4	35,7	34	31,6	27,1	24,6	21,5	
20	20,8	22,3	24	26,1	27,7	31,3	33,6	35,9	34,2	31,9	27,4	24,8	21,8	
25	21	22,5	24,2	26,3	28	31,5	33,9	36,1	34,5	32,1	27,6	25,1	22	2
30	21,3	22,8	24,5	26,5	28,2	31,8	34,1	36,2	34,7	32,3	27,8	25,3	22,3	
35	21,5	23	24,7	26,8	28,4	32	34,4	36,6	35	32,6	28,1	25,5	22,5	3
40	21,8	23,3	25	27	28,7	32,2	34,6	36,8	35,2	32,8	28,3	25,8	22,8	
45	22	23,5	25,2	27,3	28,9	32,5	34,8	37,1	35,5	33,1	28,6	26	23	
50	22,3	23,8	25,5	27,5	29,2	32,7	35,1	37,3	35,7	33,3	28,8	26,3	23,3	4
55	22,5	24	25,7	27,8	29,4	33	35,3	37,5	35,9	33,6	29	26,5	23,5	
60	22,8	24,3	26	28	29,6	33,2	35,6	37,8	36,2	33,8	29,3	26,8	23,8	
65	23,5	24,5	26,2	28,3	29,9	33,4	35,8	38	36,4	34	29,5	27	24	
70	23,9	24,8	26,5	28,5	30,1	33,7	36,1	38,2	36,7	34,3	29,8	27,3	24,3	5

*розроблено автором

4.4 Витрата палива автобусів міських маршрутів з кондиціонером

При експлуатації автобуса з кондиціонером, який має привід через компресор від силового агрегату, показник витрати палива збільшується за рахунок використання кондиціонера. Цей показник багато в чому визначає доцільність вибору оптимальних режимів управління роботою кондиціонера при виконанні транспортного процесу в конкретних умовах експлуатації.

Експлуатаційна норма приймається відповідно до місця експлуатації автобусів для всього автотранспортного підприємства або індивідуально для окремих транспортних засобів з використанням додаткового коефіцієнта (або декількох значень, відповідно до умов експлуатації) коригування базової норми [38]. Експлуатаційну норму витрати палива автобусом з кондиціонером доцільно класифікувати як «маршрутну сезонну» і застосовувати при зовнішній

температурі, коли вбачається використання кондиціонера, тобто починаючи з $+19\text{ }^{\circ}\text{C}$ [3].

Так, для автобусів з кондиціонером формула для розрахунків витрати палива на міських маршрутах має вигляд:

$$Q_a = H_s + Q_K, \quad (4.11)$$

де H_s – норма витрати палива, л/100 км пробігу;

Q_K – додаткова норма витрати палива при роботі кондиціонера, л/100 км.

Відповідно:

$$Q_K = \frac{H_{ВД}}{60} \cdot t_{ВД} + \frac{H_{СТ}}{60} \cdot t_{СТ}, \quad (4.12)$$

де $H_{ВД}$ – норма витрати палива (на роботу кондиціонера) автобусом під час руху на маршруті, л/год;

$H_{СТ}$ – норма витрати палива автобусом під час стоянки на кінцевій зупинці з працюючим кондиціонером для компенсації мікроклімату, л/год;

$t_{ВД}$ – час роботи кондиціонера під часу руху автобуса на маршруті (в розрахунку на 100 км пробігу), хв.;

$t_{СТ}$ – час роботи кондиціонера під час стоянки автобуса на кінцевій зупинці перед початком виконання рейсу), хв.

Час роботи кондиціонера залежить від його продуктивності і сумарного теплопритоку, який надходить в салон автобуса при визначених факторах і який повинен бути компенсований протягом часу руху по маршруту.

В результаті проведеного факторного аналізу встановлені найбільш значущі фактори, що впливають на час роботи кондиціонера компресорного типу, які представлені виразом:

$$t_{ВД} = f(t_{СТ}, T_{сд}, K_{п}, U), \quad (4.13)$$

де $T_{\text{сд}}$ – температура на маршруті, використана при власних вимірюваннях автопідприємства, °C;

$K_{\text{п}}$ – кількість перевезених пасажирів на маршруті, чол.;

U – невраховані в моделі фактори (вплив яких є незначним).

Рівняння (4.13) є стохастичною (ймовірнісною) моделлю де значення часу роботи кондиціонера автобуса залежить від впливу факторів, основні з яких є температура повітря на маршруті (середня на маршруті), число пасажирів на маршруті, час роботи кондиціонера під час стоянки автобуса перед початком руху по маршруту. Всі інші складові – детерміновані (тобто визначені).

Побудова такої моделі здійснюється аналізом статистичних даних роботи автобуса на маршруті. Отримані дані збираються за одним об'єктом (автобусом).

Норми витрати повинні враховувати час роботи кондиціонера, як основного фактора, що призводить до збільшення експлуатаційної витрати палива. Визначення показника «Час роботи кондиціонера під час руху автобуса за маршрутом» здійснюється виходячи з рівнянь (4.11–4.13):

$$t_{\text{ВД}} = \frac{60 \cdot H_K + H_{\text{СТ}} \cdot t_{\text{СТ}}}{H_{\text{ВД}}}, \quad (4.14)$$

де H_K – різниця між фактичною витратою палива по маршруту з роботою кондиціонера та нормативною витратою палива по маршруту без увімкненого кондиціонера, л/100 км.

Для визначення впливу факторів на витрату палива автобусом при перевезенні пасажирів у літній період було сформульовано гіпотезу, перевірку якої здійснено шляхом побудови математичної моделі по витраті палива, пов'язаної із роботою кондиціонера, яка залежать від таких чинників:

– час попереднього охолодження салону автобуса (перед початком руху по маршруту на початковому його пункті). Попереднє охолодження салону автобуса (за результатами проведених досліджень) впливає на зменшення

витрати палива на роботу кондиціонера автобуса протягом всього руху по маршруту;

– середня зовнішня температура повітря. Зростання зовнішньої температури повітря призводить до збільшення навантаження на кондиціонер автобуса, що, в свою чергу призводить до більших витрат палива автобусом;

– кількість перевезених пасажирів автобуса на маршруті. Збільшення кількості пасажирів автобуса призводить до збільшення навантаження на кондиціонер автобуса, а отже витрати палива зростатимуть.

На підставі аналізу даних, які отримані під час досліджень, підтверджена залежність попереднього охолодження салону, температури зовнішнього повітря і кількість перевезених пасажирів на витрату палива (рис. 4.20 - 4.22).

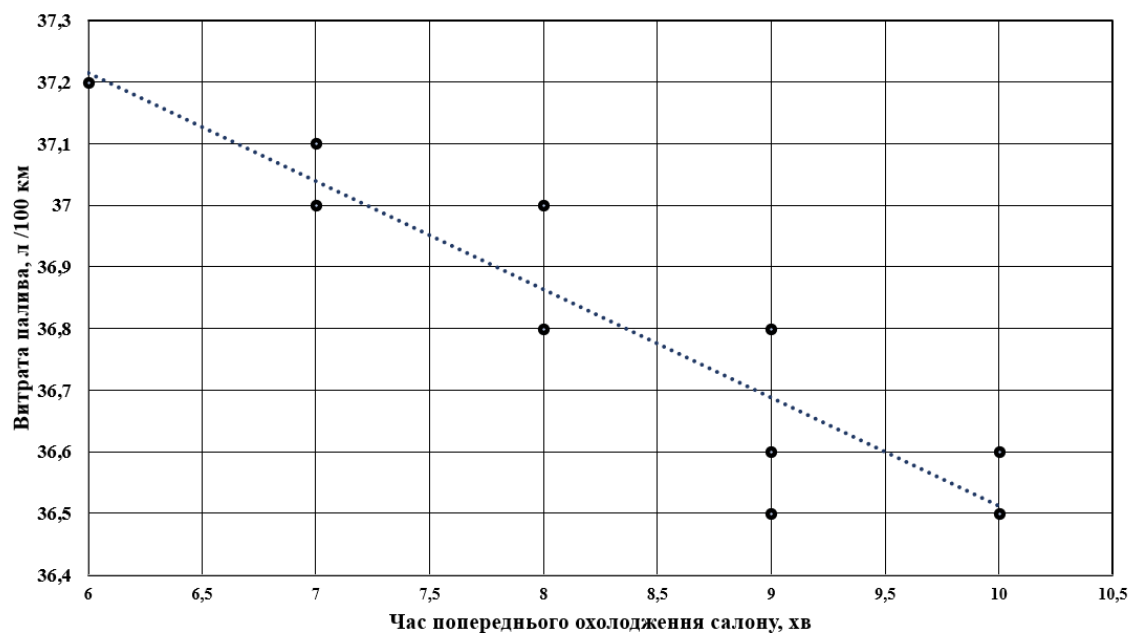


Рис. 4.20 - Залежність кількості витрати палива від часу попереднього охолодження салону*

*розроблено автором

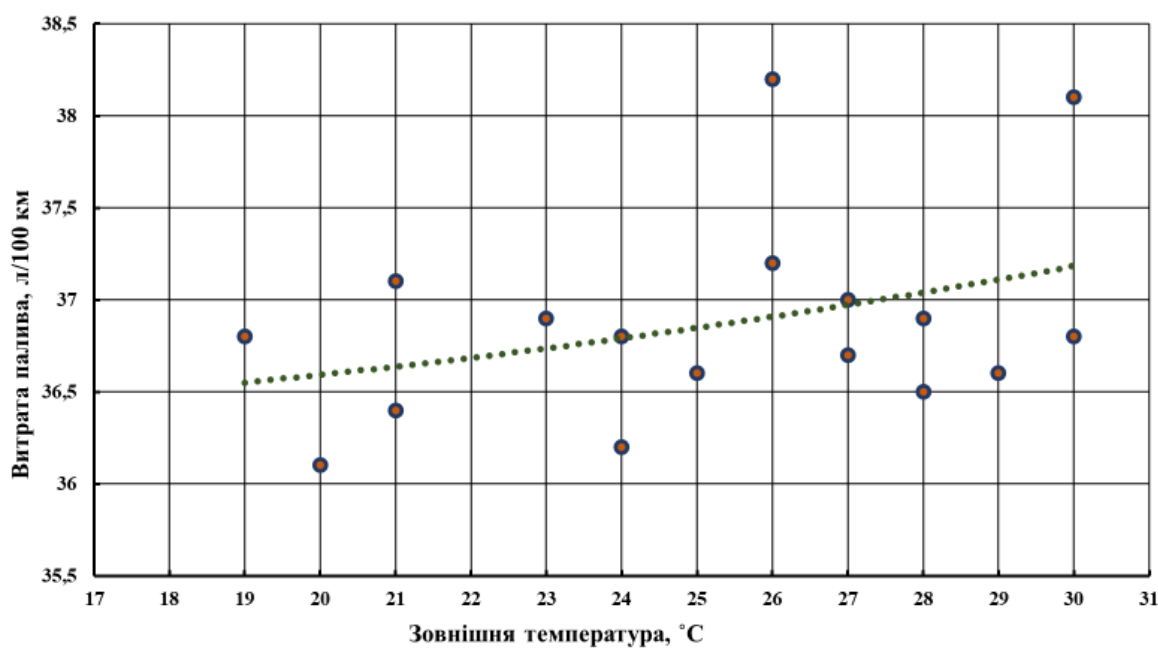


Рис. 4.21 - Залежність витрати палива від зовнішньої температури на маршруті*

*розроблено автором

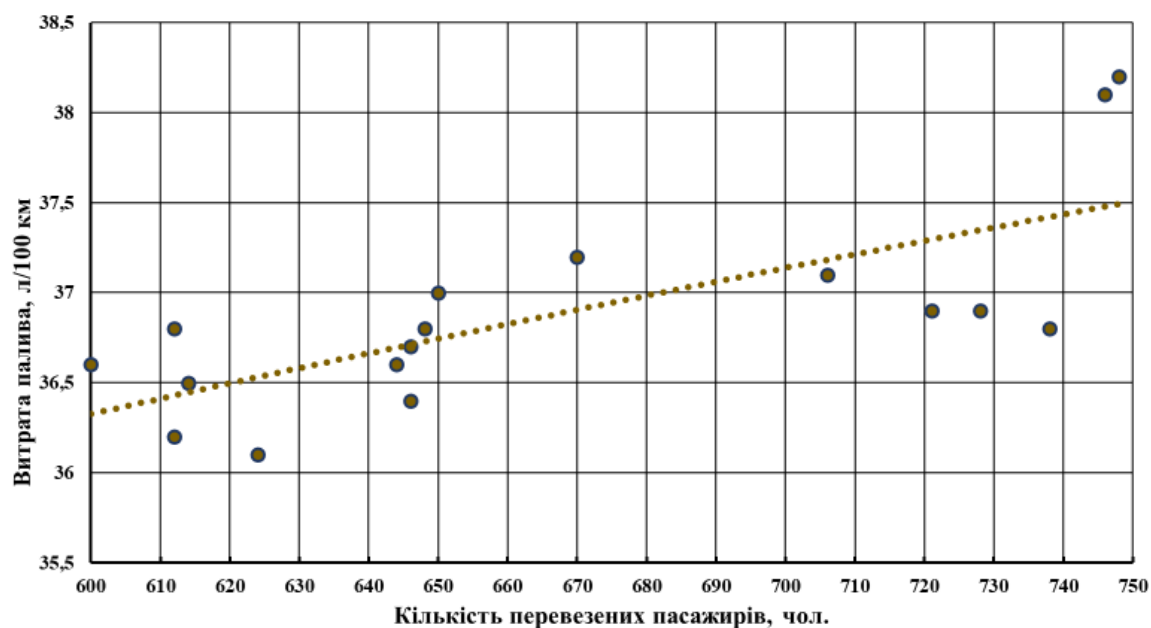


Рис. 4.22 - Залежність витрати палива від кількості перевезених пасажирів на маршруті*

*розроблено автором.

На витрати палива при роботі кондиціонера під часу руху автобуса на маршруті впливає багато інших факторів, вплив яких є порівняно із обраними факторами не великим, а, отже, отримана математична модель є стохастичною. Запропоновано лінійну форму моделі, яка має наступний загальний вигляд:

$$Y_t = \beta_o + \beta_1 \cdot X_{1t} + \beta_2 \cdot X_{2t} + \beta_3 \cdot X_{3t} + U_t, \quad (4.15)$$

де Y_t – результативний показник моделі (витрати палива під часу руху автобуса на маршруті, л/100 км);

X_{1t}, X_{2t}, X_{3t} – факторні показники моделі (відповідно – час попереднього охолодження салону автобуса перед початком виконання рейсу, хв.; зовнішня температура на маршруті (середня), °C; кількість пасажирів на маршруті, чол.);

$\beta_o, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ – коефіцієнти рівняння моделі;

U_t – вектор залишків моделі, який відображає вплив неврахованих у моделі факторів.

Для побудови моделі використано метод найменших квадратів (МНК), за допомогою якого на основі зібраних статистичних даних отримано статистичні оцінки коефіцієнтів рівняння моделі (4.15):

$$\begin{aligned} \beta_o &= 32,017, \\ \beta_1 &= -0,233, \\ \beta_2 &= 0,0876, \\ \beta_3 &= 7,119 \cdot 10^{-3}; \end{aligned}$$

на основі яких можемо записати рівняння моделі:

$$Y_t = 32,017 - 0,233 \cdot X_{1t} + 0,0876 \cdot X_{2t} + 7,119 \cdot X_{3t} + \tilde{U}_t. \quad (4.16)$$

Відповідно до коефіцієнтів моделі:

- при збільшенні першого фактору (часу попереднього охолодження салону автобуса перед початком рейсу) на 1 хв., витрати палива під час руху автобуса за маршрутом зменшувалися в середньому на 0,233 л/100 км за умови, що інші фактори моделі залишаються незмінними;

- при збільшенні другого фактору (зовнішньої температури на маршруті) на 1 °С, витрати палива під час руху автобуса за маршрутом збільшувалися в середньому на 0,0876 л/100 км за умови, що інші фактори моделі залишаються незмінними;

- при збільшенні третього фактору (кількість пасажирів на маршруті) на 1 чол., витрати палива під час руху автобуса за маршрутом збільшувалися в середньому на 0,007119 л/100 км (або при збільшенні фактору на 100 чол. – на 0,7119 л/100 км) за умови, що інші фактори моделі залишаються незмінними.

Витрата палива автобусом при попередньому охолодженні салону перед початком рейсу, за умови незмінної кількості пасажирів і при умові незмінної зовнішньої температури менша, ніж без охолодження (рис.4.23 і 4.24).

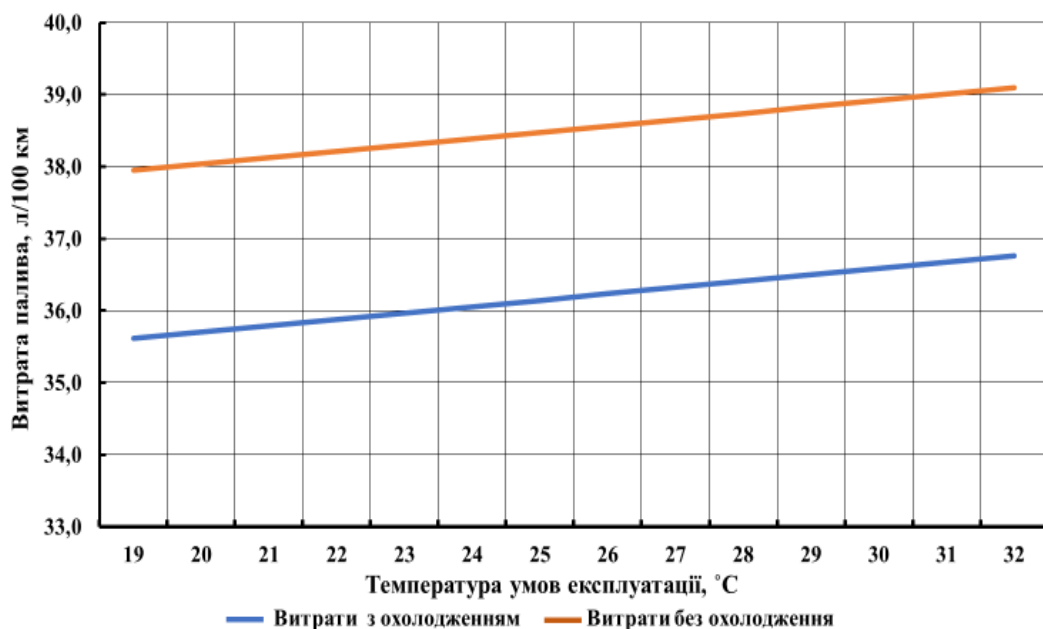


Рис. 4.23 - Витрати палива автобусом з, та без охолодження салону (за 4.16) (за прийнятою кількістю пасажирів 600 чол.)*

*розроблено автором

На основі побудованої моделі можна визначити середнє значення витрати палива під часу руху автобуса за маршрутом відповідно до прогнозованих значень факторів. Було встановлено, що оптимальним часом попереднього охолодження салону автобуса перед початком руху по маршруту складає 10 хв., з урахуванням інерційності повітря в салоні.

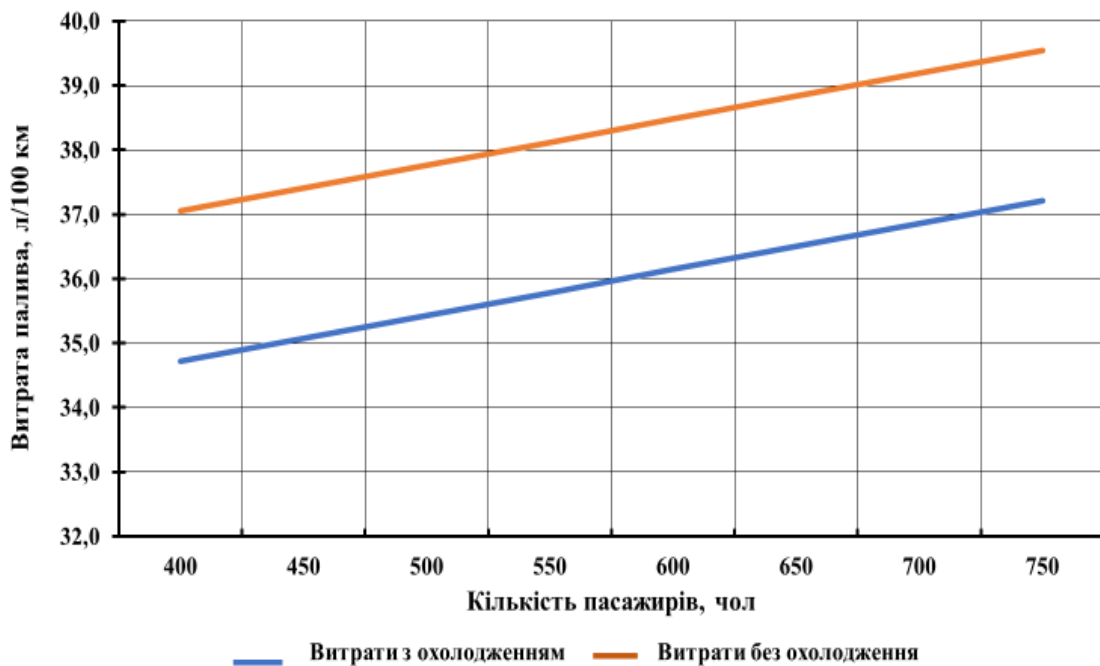


Рис. 4.24 - Витрати палива автобусом з, та без охолодження салону (за 4.16) при незмінній зовнішній температурі (за прийнятою кількістю пасажирів 600 чол.)*

*розроблено автором

Розрахунок значень витрати палива під часу руху автобуса за маршрутом на основі математичної моделі за середньої кількості пасажирів на маршруті (на основі використаних при побудові моделі статистичних даних – 668 чол. (табл.4.8)).

Результати підтверджують висунуту гіпотезу про вплив факторів моделі, зокрема важливості попереднього охолодження салону автобуса на кінцевій зупинці перед початком виконання рейсу на маршруті.

Таблиця 4.8 - Значення витрати палива автобуса під часу руху на маршруті за побудованою моделлю*

№ з/п	Витрата палива під час руху на маршруті, л/100 км			Час попереднього охолодження салону перед початком руху, хв.	Зовнішня температура на маршруті, °С	Кількість перевезених пасажирів, чол.
	Y_{pr}	<i>опт. оцінка</i>	<i>пес. оцінка</i>	X_{1pr}	X_{2pr}	X_{3pr}
1	36,1	35,8	36,4	10	19	668
2	36,2	35,9	36,5	10	20	668
3	36,3	36,0	36,5	10	21	668
4	36,4	36,1	36,6	10	22	668
5	36,5	36,2	36,7	10	23	668
6	36,5	36,3	36,7	10	24	668
7	36,6	36,4	36,8	10	25	668
8	36,7	36,5	36,9	10	26	668
9	36,8	36,6	37,0	10	27	668
10	36,9	36,7	37,1	10	28	668
11	37,0	36,7	37,2	10	29	668
12	37,1	36,8	37,3	10	30	668
13	37,2	36,9	37,4	10	31	668
14	37,2	36,9	37,6	10	32	668

Примітка: Y_{pr} , X_{1pr} , X_{2pr} , X_{3pr} – прогнольні значення отримані за допомогою побудови моделі (4.16) (Y_{pr}) та прогнольні значення факторів моделі (X_{1pr} , X_{2pr} , X_{3pr}), на основі яких були визначені Y_{pr} .

*розроблено автором

Модель дозволяє здійснювати прогнозовану оцінку витрати палива автобусом МАЗ-206086 на маршруті із увімкненим кондиціонером, яка може бути використана при визначенні норми витрати палива для даного типу автобуса в режимі використання кондиціонера.

В практичній площині побудована математична модель може бути реалізована у формі формули-розрахунку витрати палива під час руху автобуса на маршруті, яка може мати наступний вигляд (при умові попереднього охолодження салону автобуса тривалістю 10 хв.):

$$Q_s = 29,68 + 0,088 \cdot t_{\text{зовн}} + 0,00712 \cdot N_{\text{пас}}, \quad (4.17)$$

де $t_{\text{зовн}}$ – зовнішня температура на маршруті (середня), °С;

$N_{\text{пас}}$ – кількість пасажирів на маршруті, чол.

В таблиці 4.9 наведені статистичні дані витрати палива автобусом МАЗ-206086 з кондиціонером під час роботи на маршруті.

Таблиця 4.9 - Статистичні дані витрати палива на маршруті автобусом МАЗ-206086 із використанням кондиціонера *

№ з/п	Витрата палива під час руху на маршруті, л/100 км	Час попереднього охолодження салону перед початком руху, хв.	Зовнішня температура на маршруті, °С	Кількість перевезених пасажирів, чол.
	Y	X ₁	X ₂	X ₃
1	36,8	9	19	738
2	36,1	8	20	624
3	37,1	8	21	706
4	36,4	9	21	646
5	36,9	10	23	728
6	36,8	9	24	648
7	36,2	10	24	612
8	36,6	10	25	646

Продовження табл. 4.9

9	38,2	7	26	748
10	37,2	8	26	670
11	37,0	8	27	650
12	36,7	10	27	646
13	36,9	10	28	721
14	36,5	9	28	614
15	36,6	10	29	600
16	36,8	10	30	612
17	38,1	8	30	746

* сформовано автором

Побудова багатфакторної лінійної моделі витрати палива автобусом під часу руху на маршруті у середовищі програми Mathcad.

$$\begin{aligned}
 T &:= \text{rows}(Y) \\
 n &:= \text{cols}(X) \\
 R &:= \sqrt{1 - \frac{|U^T \cdot U|}{|(Y - \text{mean}(Y))^T \cdot (Y - \text{mean}(Y))|}} \\
 \mu &:= 1 - pF(F, n-1, T-n) \\
 \sigma_U &:= \sqrt{\frac{\sum U^2}{T-n}} \\
 \beta &:= (X^T \cdot X)^{-1} \cdot X^T \cdot Y \\
 cov\beta &:= \sigma_U^2 \cdot (X^T \cdot X)^{-1} \\
 t_\beta &:= \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 1..n \\ \left\| \begin{array}{l} t_i \leftarrow \frac{|\beta_i|}{\sigma_{\beta_i}} \end{array} \right\| \\ t \end{array} \right\| \\
 \alpha &:= \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 1..n \\ \left\| \alpha_i \leftarrow 2 \cdot (1 - \text{pt}(t_{\beta_i}, T-n)) \right\| \\ \alpha \end{array} \right\|
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 X_{pr} &:= \left\| \begin{array}{l} \text{if rows}(X_{pr1}) > 1 \\ \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 1.. \text{rows}(X_{pr1}) \\ \left\| A_{i,1} \leftarrow 1 \right\| \end{array} \right\| \\ \text{else} \\ \left\| A_1 \leftarrow 1 \right\| \\ X_{pr} \leftarrow \text{augment}(A, X_{pr1}, X_{pr2}, X_{pr3}) \\ X_{pr} \end{array} \right\|
 \end{aligned}$$

$$d\beta := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 1..n \\ \left\| \begin{array}{l} d\beta_{i,1} \leftarrow \beta_i - \sigma_{\beta_i} \cdot \text{qt} \left(1 - \frac{0.05}{2}, T-n \right) \\ d\beta_{i,2} \leftarrow \beta_i + \sigma_{\beta_i} \cdot \text{qt} \left(1 - \frac{0.05}{2}, T-n \right) \end{array} \right\| \\ d\beta \end{array} \right\|$$

$$d\omega := \left\| \begin{array}{l} \text{if rows}(X_{pr}) > 1 \\ \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 1.. \text{rows}(X_{pr}) \\ \left\| \begin{array}{l} \sigma_{\omega_i} \leftarrow \sigma_U \cdot \sqrt{X_{pr}^i \cdot (X^T \cdot X)^{-1} \cdot (X_{pr}^i)^T} \\ d\omega_{i,1} \leftarrow Y_{pr,i} - \sigma_{\omega_i} \cdot \text{qt} \left(1 - \frac{0.01}{2}, T-n \right) \\ d\omega_{i,2} \leftarrow Y_{pr,i} + \sigma_{\omega_i} \cdot \text{qt} \left(1 - \frac{0.01}{2}, T-n \right) \end{array} \right\| \end{array} \right\| \\ \text{else} \\ \left\| \begin{array}{l} \sigma_{\omega} \leftarrow \sigma_U \cdot \sqrt{X_{pr} \cdot (X^T \cdot X)^{-1} \cdot (X_{pr})^T} \\ d\omega_{1,1} \leftarrow Y_{pr} - \sigma_{\omega} \cdot \text{qt} \left(1 - \frac{0.01}{2}, T-n \right) \\ d\omega_{1,2} \leftarrow Y_{pr} + \sigma_{\omega} \cdot \text{qt} \left(1 - \frac{0.01}{2}, T-n \right) \end{array} \right\| \\ d\omega \end{array} \right\|$$

$$Y_{pr} := X_{pr} \cdot \beta$$

Розрахункові результати побудови багатфакторної лінійної моделі витрати палива автобусом під часу руху на маршруті (за допомогою програми Mathcad) наведені в додатку Л.

Методика витрати палива автобусом МАЗ-206086 на маршруті може бути застосована до інших автобусів із подібним або ідентичним кондиціонером. Необхідно визначити коефіцієнти, які відображують співвідношення «теплових» параметрів салону автобуса по відношенню до салону автобуса по якому виконано дослідження:

- коефіцієнта складності маршруту роботи автобуса;
- «охолоджувальної» потужності кондиціонера салону автобуса щодо відповідної потужності кондиціонера.

Для зручності розрахунків в умовах автопідприємства запропоновано автоматизований розрахунок за формою у програмі Microsoft Excel (рис. 4.25).

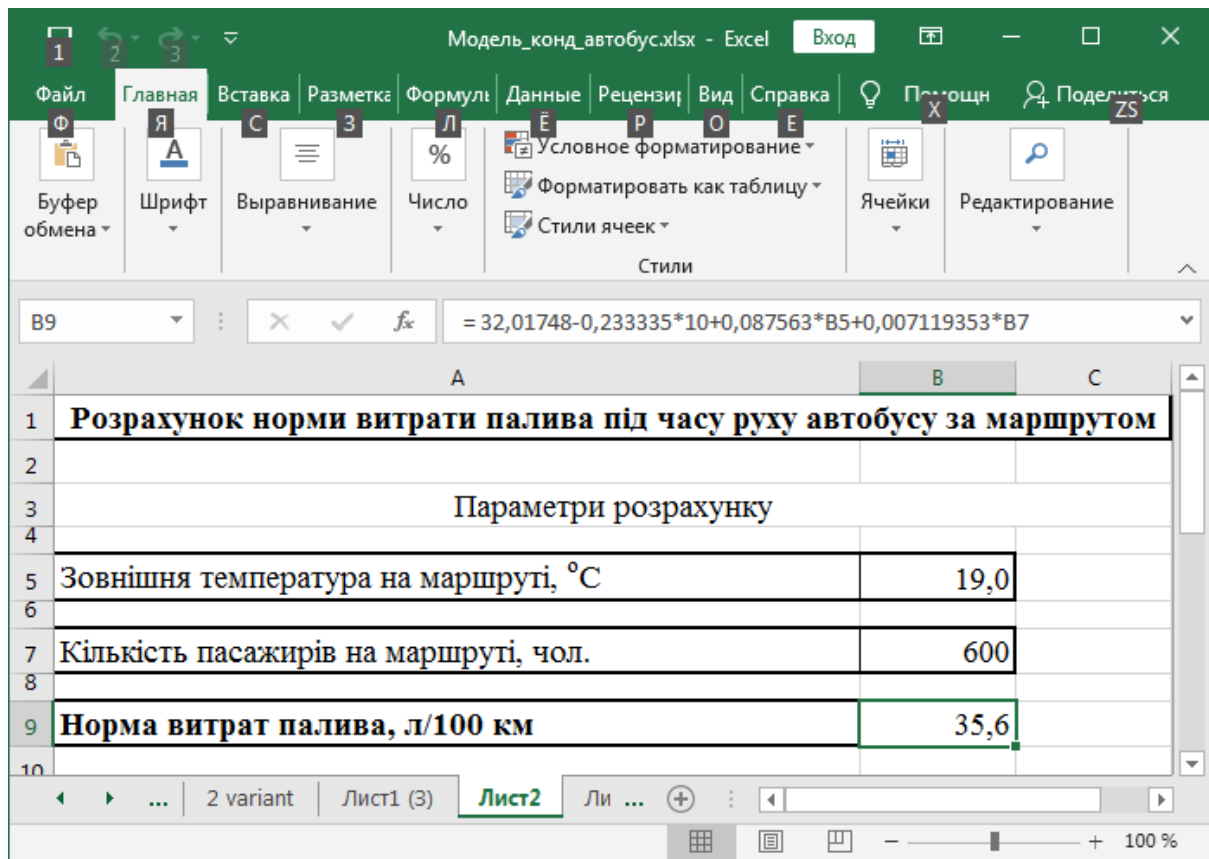


Рис. 4.25 - Вікно форми програми для розрахунку витрати палива автобусом з кондиціонером на маршруті*

*скриншот екрану монітора

Відповідно, базова витрата палива автобусом при роботі з кондиціонером визначається за формулою:

$$Q_s^{\text{нов}} = Q_s \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3, \quad (4.18)$$

де Q_s – витрата палива за технічною характеристикою, л/100 км;

$k_1 = \frac{T_X^{\text{нов}}}{T_X}$ – коефіцієнт приведення по тепловій характеристиці салону автобуса;

$k_2 = \frac{\eta^{\text{нов}}}{\eta}$ – коефіцієнт приведення по коефіцієнту складності маршруту автобуса;

$k_3 = \frac{P^{\text{нов}}}{P}$ – коефіцієнт приведення потужності теплових втрат салону автобуса.

Приведений підхід реально використовувати на маршрутах, які не здійснюють перевезення необлікових пільгових категорій громадян і визначення завантаження автобуса буде об'єктивним. Відповідно, експериментальний метод визначення наповнення автобуса більш ефективний при перевезенні пільгових категорій пасажирів і при сезонних нестабільних пасажиропотоках.

Результативна маршрутна норма витрати палива (л/100 км) з урахуванням нульового пробігу становить:

$$N_m = 100 \cdot \frac{Q_m^{\text{норм}} + Q_0^{\text{норм}}}{L_d + L_0}, \quad (4.19)$$

де $Q_m^{\text{норм}}$ – маршрутна норма витрати палива, л/100 км;

$Q_0^{\text{норм}}$ – добова витрата норма витрати палива на нульовий пробіг, л/100 км;

L_d – середньодобовий пробіг автобуса на маршруті, км;

L_0 – добовий нульовий пробіг на кожному маршруті, км.

Встановлення об'єктивної норми витрати палива автобусів з кондиціонером, які працюють на міських маршрутах, можливо при визначенні закономірності зміни витрати палива під впливом факторів умов експлуатації, що призводить до зниження енергоємності при перевізному процесі.

4.5 Оцінка якості побудованої моделі

Дослідження об'єктів та широкого класу процесів (як детермінованих, так і випадкових), потребують розробки математичного інструментарію для проведення адекватного моделювання явищ, які відбуваються за певних умов, для проведення системного математичного аналізу функцій.

Особливістю запропонованої математичної моделі при дослідженні явищ і процесів є значна кількість вихідних даних і складність визначення деяких параметрів. Разом з тим, математичні моделі дозволяють передбачити хід окремого процесу, визначити цільову функцію (вихідні параметри процесу), керувати визначеним процесом, прогнозувати та проектувати системи з бажаними вихідними характеристиками.

Відповідно, математична модель досліджуваного процесу повинна досить точно описувати залежності між визначальними параметрами, які задано і задовольняти певні умови, що дозволять вивчати її за допомогою прийнятого математичного підходу. За моделлю маршрутної витрати палива міськими автобусами з кондиціонером були вирішені наступні задачі:

- попередній вибір узагальнених факторів і їх класифікація;
- збір і аналіз статистичних даних по вибраним факторам;
- відокремлення найбільш значущих факторів, їх групування;
- побудова і аналіз регресійних математичних і багатфакторних моделей;
- визначення впливу вибраних вихідних факторів на мікроклімат в салоні автобуса з послідуною розробкою моделі витрати палива.

Основна мета побудови моделі полягає в можливості її використання при змінних значеннях аргументу, які наводяться для обґрунтування, підтвердження будь-чого, в тому числі і значень, які виходять за межі задачі.

Згідно з методом найменших квадратів визначені коефіцієнти рівняння моделі $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ відповідають наступній умові:

$$f(\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3) = \sum_{t=1}^T (y_t - \sum_{k=0}^3 x_{tk} \beta_k)^2 = \sum_{t=1}^T u_t^2 \rightarrow \min, \quad (4.20)$$

де y_t – значення витрати палива під часу руху автобуса на маршруті;

x_{tk} – значення k -го фактора ($k = 0, 1, 2, 3$);

u_t – значення залишків моделі;

T – число спостережень моделі.

В процесі моделювання завжди виникає питання вибору специфікації моделі. Похибка вибору лінійної специфікації моделі визначається за допомогою множинного коефіцієнта детермінації R^2 , який є результатом порівняння варіацій фактичних значень результативного показника (витрат палива під часу руху автобуса на маршруті) і його розрахункових значень за моделлю:

$$R^2 = \frac{\sum_{t=1}^T (\tilde{y}_t - \bar{y})^2}{\sum_{t=1}^T (y_t - \bar{y})^2}. \quad (4.21)$$

Якість побудованої моделі характеризують високі значення множинних коефіцієнтів кореляції, R та детермінації, R^2 :

$$R = 0,058, \quad R^2 = 0,918.$$

Відповідно до коефіцієнта кореляції лінійний зв'язок між результативним показником та факторами моделі є дуже тісним; відповідно коефіцієнта детермінації – зміна витрати палива під часу руху автобуса за маршрутом на 91,8 % залежить від основних факторів моделі (час попереднього охолодження салону автобуса перед початком рейсу; зовнішня температура на маршруті (середня); кількість пасажирів на маршруті). Високе значення коефіцієнта детермінації підтверджує високий рівень залежності витрати палива під часу руху автобуса за маршрутом.

Статистичний зміст множинного коефіцієнта детермінації моделі R^2 можна визначити, як частку пояснювальної дисперсії або це доля вибіркової дисперсії показника (витрати палива під час руху автобуса на маршруті), яка може бути виражена за допомогою регресії.

Для забезпечення відповідної якості побудованої моделі необхідним є вибір критеріальних характеристик, які б підтверджували правильність вибору лінійної специфікації моделі. Відсутність лінійного зв'язку між ендогенними і екзогенними змінними в побудованій моделі $y_t = \beta_0 + \beta_1 x_{t1} + \beta_2 x_{t2} + \beta_3 x_{t3} + u_t$ рівність

нулю всіх коефіцієнтів моделі, починаючи з другого. Перевірка невідомих параметрів стосовно їх значень в математичній статистиці здійснюється шляхом перевірки гіпотез. Для побудованої моделі перевіряється гіпотеза $H_0: \beta_1=0, \beta_2=0, \beta_3=0$ за альтернативної гіпотези, $H_a: \beta_k \neq 0 (k=1, 2, 3)$. Перевірка гіпотез здійснюється із застосуванням коефіцієнта детермінації за F-критерієм:

$$F = \frac{R^2}{1-R^2} \cdot \frac{T-n}{n-1} = \frac{0,918}{1-0,918} \cdot \frac{17-4}{4-1} = 41,99. \quad (4.22)$$

Коефіцієнт детермінації R^2 , як величина, побудована за вибірковими даними, є випадковою. Тому формула (4.22), як частка випадкових величин, представляє собою випадкову величину, як відомо, розподілену за законом Фішера (F -розподіл) із степенями вільності $T-n$ і $n-1$. Із використанням програмного забезпечення Mathcad за операторною формулою визначено рівень значимості гіпотез — $\mu := 1 - pF(F, n-1, T-n) = 5,971 \cdot 10^{-7}$. Значення параметра μ не більше 5 % ($\mu \leq 0,05$) гарантує не менше 95 відсоткове відхилення нульової гіпотези, тобто не менше, ніж в 95 % всіх вибірок маємо лінійну модель регресії. Отже, лінійна специфікація моделі обрана вірно.

Для оцінки статистичних параметрів, а саме незміщеності, коефіцієнтів рівняння побудованої моделі здійснюють перевірку за t -критерієм Стьюдента, що визначається за допомогою наступних випадкових величин:

$$t_k = \frac{|\tilde{\beta}_k|}{\sigma_{\beta_k}} \quad (k=0, 1, 2, 3), \quad (4.23)$$

де σ_{β_k} — середньоквадратичне відхилення розрахункового коефіцієнта $\tilde{\beta}_k$.

За результатами розрахунків, значення t_k наступні:

$$\begin{aligned}
t_0 &= \frac{|\tilde{\beta}_0|}{\sigma_{\beta_0}} = \frac{32,017}{0,955} = 33,543, \\
t_1 &= \frac{|\tilde{\beta}_1|}{\sigma_{\beta_1}} = \frac{0,233}{0,049} = 4,768, \\
t_2 &= \frac{|\tilde{\beta}_2|}{\sigma_{\beta_2}} = \frac{0,088}{0,013} = 6,667, \\
t_3 &= \frac{|\tilde{\beta}_3|}{\sigma_{\beta_3}} = \frac{7,119 \cdot 10^{-3}}{9,384 \cdot 10^{-4}} = 7,587.
\end{aligned} \tag{4.24}$$

Зміщеність коефіцієнтів моделі оцінено в комп'ютерній системі Mathcad за допомогою визначення рівня значимості α_k випадкової величини t_k розподіленої за законом Стюдента із степенями вільності $T-n$, перевіряючи гіпотезу про рівність нулю відповідного коефіцієнта рівняння моделі $\tilde{\beta}_k$. – $\alpha_k := 2(1 - pt(t_{\beta_k}, T - n))$, ($k = 0, 1, 2, 3$):

$$\alpha_0 = 5,174 \cdot 10^{-14}, \quad \alpha_1 = 3,674 \cdot 10^{-4}, \quad \alpha_2 = 1,549 \cdot 10^{-5}, \quad \alpha_3 = 3,976 \cdot 10^{-6}.$$

Всі значення α_k не більше 5 % ($\alpha_k \leq 0,05$) гарантує не менше 95 відсоткове відхилення нульової гіпотези, тобто не менше, ніж в 95 % отримано незміщені оцінки коефіцієнтів рівняння моделі.

Для побудови довірчих інтервалів істинних коефіцієнтів моделі потрібно перевірити ще дві умови їх статистичної оцінки – ефективності та обґрунтованості. З цією метою проводять побудову довірчих інтервалів коефіцієнтів рівняння побудованої моделі. Параметр δ_k визначається як добуток середньоквадратичного відхилення σ_{β_k} розрахункового коефіцієнта $\tilde{\beta}_k$ на критичну точку t_k розподілу Стюдента за рівнем значимості $\alpha_k = 0,05$:

$$\begin{aligned}
\tilde{\beta}_k - \delta_k &< \beta_k < \tilde{\beta}_k + \delta_k \quad (k = 0, 1, 2, 3) \\
\tilde{\beta}_k - \sigma_{\beta_k} t_k &< \beta_k < \tilde{\beta}_k + \sigma_{\beta_k} t_k
\end{aligned} \tag{4.25}$$

В результаті розрахунків отримано наступні значення довірчих інтервалів:

$$\begin{aligned} 29,955 < \beta_0 < 34,080 , \\ - 0,339 < \beta_1 < - 0,128 , \\ 0,059 < \beta_2 < 0,116 , \\ 5,092 \cdot 10^{-3} < \beta_3 < 9,147 \cdot 10^{-3} . \end{aligned}$$

Довірчі інтервали для коефіцієнтів рівняння моделі відображують із гарантією 95 % межі зміни результативного показника (витрату палива під часу руху автобусу на маршруті) під впливом відповідного їм фактору моделі за умови, що інші фактори моделі залишаються незмінними.

В цілому можна стверджувати, що побудована модель процесу є ефективною а результати її побудови дозволяють кількісно охарактеризувати досліджені зв'язки між показниками моделі.

4.6 Оцінка ефективності експлуатації автобусів з кондиціонером від запровадження методики

Підвищення конкурентоздатності пасажирського перевізника можливо за рахунок підвищення якості перевізного процесу і зниження собівартості перевезень.

Для автобусів з кондиціонером, які мають привід від силового агрегату, при оцінці енергоємності враховується витрата палива. Зниження енергоємності перевезень забезпечується найбільш раціональним (ефективним) використання паливних ресурсів. Потенційний економічний ефект від впровадження представленого підходу зниження енергоємності автобусів з кондиціонером на міських маршрутах можна оцінити за кількістю зекономленого палива при правильній організації контролю перевізного процесу.

Способи зниження витрати палива автобусами оснащеними кондиціонерами, на міських маршрутах, є комплексний підхід до режимів роботи

на маршруті, дотримання умов економічного управління кліматичною установкою при простої на кінцевій зупинці для компенсації теплових витрат.

Оцінка енергоефективності міських пасажирських перевезень автобусами з кондиціонером викликана необхідністю співвідношення отриманого ефекту у вигляді зекономленого палива і витрат, які сприяли забезпеченню комфортного перевізного процесу.

Економічний ефект від попереднього охолодження салону автобуса оцінюється у зменшенні витрати палива автобусом під час його роботи на маршруті із увімкненим кондиціонером (табл. 4.10).

Таблиця 4.10 - Економічний ефект від попереднього охолодження салону автобуса*

Показник	Значення
1. Середній пробіг автобуса за добу, км	260
2. Число автобусів на маршруті, од.	10
3. Число робочих днів на місяць, днів	30
4. Зменшення витрати палива при попередньому охолодженні салону одного автобуса тривалістю 10 хв., л/100 км	2,33
5. Економічний ефект, л	
- на добу усіма автобусами на маршруті	60,58
- на місяць	1817,4
- на рік (теплий період експлуатації – 174 дн.)	10540,92

*розроблено автором

Для спільного обліку шляхової і погодинної витрати палива автобусами при роботі з кондиціонером і порівняння ефективності використання палива, вводиться показник енергоємності пасажирських перевезень (МДж на 100 пас. км).

Оцінку енергоємності при використанні кондиціонера за певний період проводимо шляхом визначеної витрати палива при перевезенні пасажирів на маршруті при визначеній температурі.

Загальну витрату палива автобусами на маршруті розраховуємо за формулою:

$$Q_{\text{заг}} = \frac{L_{\text{заг}}}{100} \cdot H_{\text{лін}}, \quad (4.26)$$

де $L_{\text{заг}}$ – загальний пробіг автобусів за термін експлуатації з кондиціонером, км;

$H_{\text{лін}}$ – норма витрати палива на 100 км пробігу відповідно до графіку маршруту, л/100 км.

Загальний пробіг визначається з урахуванням нульового пробігу на кожному графіку та кількості робочих днів за певний період експлуатації автобуса з кондиціонером. Дані наведені в таблиці 4.11.

Таблиця 4.11 - Сумарний об'єм витрати палива на маршруті за період використання кондиціонера, залежно від передбачуваної температури зовнішнього повітря і нормованих значень витрати палива*

Марка автобуса і гаражний номер	Номер графіка	Зовнішня температура, t°C	Норма витрати палива, л/100 км	g _ф , чол/доба	L ₀ , км	L _д , км	L _{пер.} , км	Q _{заг} , л
МАЗ-206 (3)	9	19	36,1	680	9	275	47850	17273,8
МАЗ-206 (2)	6	21	36,3	634	16	283	49242	17874,8
МАЗ-206 (7)	3	23	36,5	715	8	242	42108	15369,4
МАЗ-206 (10)	7	25	36,6	610	10	245	42630	15602,5
МАЗ-206 (6)	8	27	36,0	730	12	279	48546	17476,5
МАЗ-206 (14)	12	30	37,1	560	6	254	44196	16396,7
МАЗ-206 (12)	10	32	37,2	702	8	268	46632	17347,1

Примітка: g_f – фактично перевезено пасажирів за добу, чол/доба;

L_0 – нульовий пробіг на відповідному графіку, км;

L_d – пробіг за день, км;

$L_{пер}$ – пробіг за період роботи з кондиціонером за сезон, км;

$Q_{заг}$ – загальна витрата палива за сезон, л.

*розроблено автором

За підходом [126] загальна енергоємність автобусів міських маршрутів з кондиціонером складається з енергії витраченого палива на перевезення пасажирів і кількості палива, яке витрачається на роботу кондиціонера:

$$E = \frac{100 \cdot Q \cdot \rho_T \cdot H_H + 3,6 \cdot P_K \cdot \tau_p}{W}, \quad (4.27)$$

де Q – витрата палива, л;

ρ_T – густина палива, кг/м³;

H_H – нижча питома теплота згорання палива, кДж/кг;

P_K – потужність компресора, см³;

τ_p – тривалість роботи кондиціонера, год;

W – виконана транспортна робота, пас·км.

Результати розрахунків енергоємності перевезень автобусами з кондиціонером, на відповідних графіках, приведені в табл. 4.12.

Аналіз результатів показує, що з урахуванням перевезеної автобусом більшої кількості пасажирів (графік №8), пріоритетним є показник енергоефективності і так само відповідає найменшій енергоємності.

Таблиця 4.12 - Енергоємність перевезення пасажирів на маршруті*

Автобус, графік Показники	МАЗ-206 (9)	МАЗ-206 (6)	МАЗ-206 (3)	МАЗ-206 (7)	МАЗ-206 (8)	МАЗ-206 (12)	МАЗ-206 (10)
Лінійна витрата палива, л/100км	36,1	36,3	36,5	36,6	36,6	37,1	37,2
Густина палива, кг/м ²	0,825	0,825	0,825	0,825	0,825	0,825	0,825
Нижча питома теплота згорання палива, кДж/кг	43000	43000	43000	43000	43000	43000	43000
Пасажирооборот за зміну, пас·км	187000	179422	173030	149450	203670	142240	188136
Температура навколишнього повітря, °С	28	27	29	28	29	30	28
Час роботи кондиціонера, год	0,9	0,86	0,87	0,85	0,91	0,89	0,87
Кількість рейсів за зміну	18	17	17	16	18	15	18
Пробіг за зміну, км	275	283	242	245	279	254	268
Витрата палива за зміну, л	99,8	103,2	89,2	89,6	102,6	93,7	99,7
Енергоємність перевезення, МДж/пас·км	1,88	2,13	1,92	2,23	1,87	2,4	1,97

*розроблено автором

Результати проведених досліджень підтверджують, що використання запропонованої методики, яка базується на сучасних інформаційних технологіях і методах отримання інформації, дозволяють впроваджувати заходи зі зниження енергоємності перевізного процесу автобусами з кондиціонером.

4.7 Практичні рекомендації з використання методики витрати палива в умовах сучасних інформаційних технологій

З введенням в ПАТП сучасного моніторингу роботи автобусів на міських маршрутах, за допомогою GPS навігації, назріла потреба у створенні на підприємстві системи отримання оперативної інформації з метою подальшої обробки і прийняття рішення щодо зменшення витрати палива. Це свідчить про запровадження в автомобільній галузі нової системи інформаційного забезпечення на базі сучасних технологій, що є досить важливим при контролі витрати палива автобусами з кондиціонером. Логічним є припустити взаємозв'язок витрати палива автобусів з пробігом, кількістю перевезених пасажирів і доцільністю використання кондиціонера при визначених температурних режимах з метою створення системи управління кондиціонером по критерію зниження енергоємності перевізного процесу.

Такий підхід ефективний при маршрутному нормуванні, оскільки витрата палива на автобусах одного типу майже однакова. Розбіжностями між реальними витратами і нормами, які прийняті на підприємстві, можуть бути по причині технічного стану, зміни пасажиропотоку, манерами керування і іншими факторами, які потребують оперативного втручання і коригування. Це дозволяє оперативно виявляти автобуси, які допускають перевитрату палива, визначати причини і реагувати на них.

При використанні статистичної технології нормування допустимим є встановлення середньої величини для відповідних умов.

Володіючи достовірними даними про витрату палива автобусами на маршрутах і сучасного отримання до опрацювання інформації про поточну витрату палива, є можливим:

- здійснювати об'єктивне нормування витрати палива автобусами міських маршрутів при використанні кондиціонера;
- реально визначити норми по кожному автобусу підприємства.

Встановивши закономірності впливу визначених факторів на енергоемність перевізного процесу автобусами МЗ, можна визначити критерії її зниження (табл. 4.13), чим підвищити енергоефективність використання рухомого складу з кондиціонером.

Таблиця 4.13 Додаткові заходи зниження енергоемності перевезень автобусами МЗ з кондиціонером*

Складові енергоемності перевезень	Способи зниження енергоемності
Витрата палива на переміщення автобуса	- досконалість теплозахисної конструкції кузова; - застосування світлих тонів кольору кузова автобуса як фактору більшої сонячної відбивної здатності; - встановлення скла з теплопоглинаючими властивостями; - досконалість ДВЗ і кондиціонера; - зменшення нульового пробігу; - досконалість графіку руху.
Енерговитрати на підтримання оптимального мікроклімату в салоні	- раціональне використання двох дверей при посадці та висадці пасажирів; - дотримуватися режиму попереднього охолодження салону перед рейсом; - досконале управління кондиціонером.
Енерговитрати через управлінські дії	- оптимізація маршрутної мережі; - моніторинг контролю за витратою палива; - коригування перевізного процесу; - якісне проведення ТО автобуса і кондиціонера; - додаткові заходи по навчанню управління кондиціонером; - оперативне реагування на перевитрату палива.

*розроблено автором

Основні шляхи практичного використання результатів дослідження передбачають скорочення невинуватених витрат палива на основі допустимої тривалості охолодження салону при підвищеній температурі. Це впливає на коригування норми витрати палива при роботі з кондиціонером в теплий період року.

Методика отримання значення літньої норми при використанні кондиціонера для кожного типу автобуса на підприємстві реалізується за технологією.

1. У базу даних автопідприємства заноситься інформація про середню температуру повітря за зміну. Оскільки автобуси міських маршрутів курсують по досить малій площі міста, температуру у всіх точках маршруту за зміну можна вважати однаковою. Як свідчать спостереження, протягом зміни відхилення температури у літній період у середньому не перевищує 8°C .

Статистичні дані по роботі автобусів на лінії і фактичні витрати палива були отримані із застосуванням прикладного програмного комплексу «DozoR», який використовує систему супутникової навігації GPS / ГЛОНАСС.

2. Формуються первинні масиви даних для аналізу по кожному типу автобуса.

Отримані дані формують масив бази даних ПАТП по додатковій витраті палива на кожному маршруті залежно від температури зовнішнього повітря за зміну і кількість перевезених пасажирів, згідно з фінансовою звітністю через програмний комплекс «Автоматизована інформаційна система обліку оплати проїзду».

Для аналізу і прогнозування витрати палива на маршруті запропоновано алгоритм (рис. 4.26).

Схема реалізується наступним чином. Блоки 1, 2, 3 містять в собі первинну інформацію. Блоки 4, 5 є додатковими до первинної інформації. Система програмного комплексу «DozoR» без участі водія фіксує виїзд автобуса на лінію і повернення на автопідприємство. Разом з тим, переміщення усього парку

автобусів на маршруті фіксується системою і дозволяє візуально відстежувати їхнє переміщення на моніторі диспетчера.

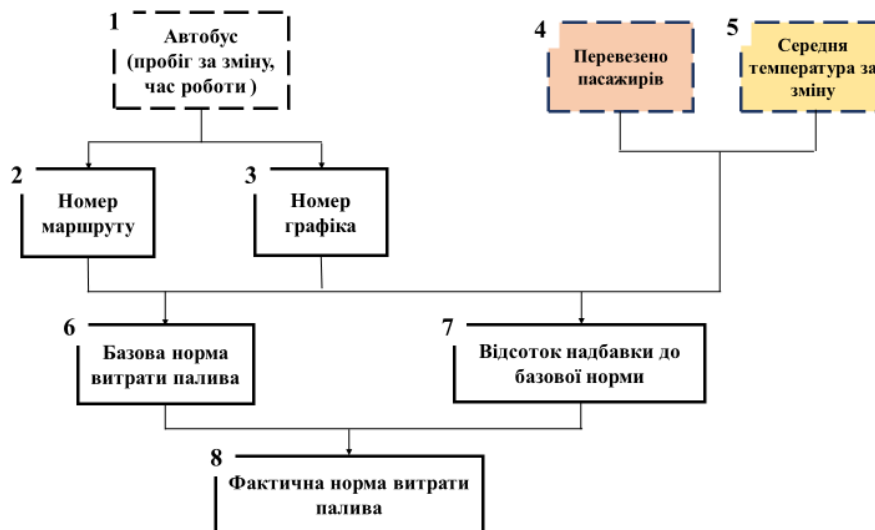


Рис. 4.26 - Схема визначення норми витрати палива в системі автоматичного формування масиву бази даних роботи автобусів з кондиціонером*

*розроблено автором

Додатково, із шляхового листа автобуса знімається інформація про показники одометра для порівняння з визначеними системою. Вказані первинні дані доповнюються фінансовими звітами водія і даними валідаторів. Отримана інформація передається в блок 6, в якому міститься базова норма витрати палива (за базову норму приймається норма витрати палива відповідним автобусом на даному маршруті у літній період експлуатації з урахуванням додаткових надбавок, прийнятих в ПАТП і доповнені дані по блокам 4 і 5). Блок 6 містить інформацію про нормовані значення витрати палива певним автобусом на певному маршруті. Блок 4 наповнений інформацією про кількість перевезених пасажирів за зміну. Блок 5 містить інформацію про середню температуру повітря за зміну, яку формує диспетчерська служба. Блок 7 отримує інформацію про автобус, номер маршруту і графік роботи а також про кількість перевезених пасажирів (блок 4) і температуру повітря (блок 5). На виході з блока 7

отримується інформація про відсоток надбавки до базової норми витрати палива при роботі автобуса з кондиціонером. Інформація з блоків 6 і 7 надходить в блок 8 для узагальнення. На виході з блоку 8 отримуємо значення фактичної витрати палива автобусом.

Практичні рекомендації щодо використання даної методики включають в себе проведення експериментальних досліджень з послідуною адаптацією в діючому ПАТП, яке експлуатує автобуси з кондиціонером на міських маршрутах. З використанням даних діючої системи моніторингу автобусів, через систему GPS підприємства «Дозор Україна», отримані значення швидкісних режимів роботи автобусів за минулий період, їхня заправка і рух по витраті палива, час перебування в наряді та інші дані. За допомогою програмного облікового комплексу КП «Житомиртранспорт» Житомирської міської ради «Електронний гаманець» отримані дані по кількості перевезених пасажирів за минулий період кожним автобусом згідно з інформацією бортових валідаторів, які встановлені в автобусах. Дані валідаторів, які використовували водії містяться у архіві диспетчера, який приймає фінансову та іншу звітність за відпрацьований робочий час на лінії.

Система супутникового моніторингу та контролю транспорту «DozoR», а також навігаційне і вимірювальне обладнання має всі необхідні сертифікати для використання на території України та укладені відповідні договори про надання послуг через модель хмарного середовища.

Екологічний ефект від використання результатів дослідження утворюється за рахунок зменшення кількості шкідливих речовин у відпрацьованих газах двигуна автобусів при зменшенні кількості спожитого палива.

Застосування в повсякденній роботі запропонованої методики становить інтерес як муніципальним, так і комерційним підприємствам, які прагнуть підвищити транспортну привабливість міських автобусів зі зменшенням транспортних витрат, а також ефективно контролювати транспортний процес.

Розраховані значення витрати палива можуть бути прийняті у якості нормативних в цілях оподаткування щодо тих підприємств, які звітують не по

фактичним обсягам використаного палива, а обчислюють дане значення відповідно до методики, наведеної в «Нормах» [38].

Висновки до розділу 4

1. Встановлений тепловий режим і повітрообмін салону автобуса з кондиціонером.

2. Визначена залежність тривалості охолодження салону від зовнішньої температури перед початком рейсу з метою компенсації втраченого температурного режиму. Запропоновано в години передбачуваного використання кондиціонера охолоджувати салон 8–10 хв. при роботі двигуна на холостих обертах.

3. Розроблено методику нормування витрати палива автобусом при роботі кондиціонера з урахуванням часу попереднього охолодження салону. Оцінка якості побудованої математичної моделі підтверджує досліджені зв'язки між показниками моделі.

4. Оцінено економічний ефект експлуатації автобусів з кондиціонером від використання запропонованої методики.

5. Представлені практичні рекомендації з використання методики в умовах сучасних інформаційних технологій на автопідприємствах, де експлуатуються автобуси з кондиціонером.

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ І РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ

У дисертаційній роботі вирішена важлива науково-практична задача, яка спрямована на підвищення ефективності експлуатації автобусів з кондиціонером на міських маршрутах на підставі встановлення і використання закономірностей формування температурного режиму в салоні і витрати палива на його забезпечення.

1. Дослідження діючих технологій управління витратою палива, на етапі повсюдного введення в експлуатацію автобусів з кондиціонером на міських маршрутах і впровадження при цьому моніторингу їхньої роботи на лінії показали, що необхідно розробити нову технологію управління витратою палива. Така технологія повинна враховувати можливість її використання в реальних умовах експлуатації з мінімізацією трудомісткості отримання статистичних даних, що характерно для сучасної ITS.

2. Встановлені фактори, що впливають на витрату палива автобуса з кондиціонером. Визначено, що 48 % тепла припадає на теплове випромінювання через засклену поверхню, 38 % тепла виділяють пасажери, 8 % тепла надходить з повітрям, що потрапляє в салон через відкриті двері автобуса на технологічних зупинках, 6 % тепла надходить в салон через непрозорі конструкції кузова.

3. Запропановано в якості вимірювача складності маршруту руху міських автобусів використовувати узагальнений параметр у вигляді коефіцієнта складності і методами кластерного аналізу проведено категорювання міських маршрутів, які класифікуються на 5 категорій складності

4. Побудована багатофакторна математична модель витрати палива автобусом з кондиціонером при попередньому охолодженні салону. Доведено, що при збільшенні часу попереднього охолодження салону автобуса перед початком руху на 1 хв., витрати палива під час руху автобуса за маршрутом зменшувалися в середньому на 0,233 л/100 км; при збільшенні зовнішньої температури на маршруті на 1 °С, витрати палива під час руху автобуса збільшувалися в середньому на 0,0876 л/100 км; при збільшенні кількості

перевезених пасажирів на 100 чол., витрата палива збільшувалася на 0,7119 л/100 км.

5. Визначена базова норма витрати палива автобуса МАЗ-206086, яка становить 28,9 л/год. При роботі з кондиціонером під час руху додаткова норма становить 2,7 л/год і 2,2 л/год під час стоянки.

6. Встановлено, що з урахуванням перевезеної автобусом більшої кількості пасажирів пріоритетним є показник енергоефективності, який відповідає найменшій енергоємності за витратою палива, що дозволяє отримати економію палива одним автобусом за двозмінний робочий день на 2,33 л.

7. Запропоновані додаткові заходи зі зниження енергоємності роботи автобусів з кондиціонером, які складаються з факторів витрати палива на переміщення автобуса, підтримання оптимального мікроклімату в салоні і управлінські дії, зокрема досконалість теплозахисної конструкції кузова, застосування світлих тонів кольору кузова, встановлення скла з теплопоглинаючими властивостями, зменшення нульового пробігу, досконале управління кондиціонером, оптимізація маршрутної мережі, якісне проведення ТО автобуса і кондиціонера, оперативне реагування на перевитрату палива.

8. Запропоновано алгоритм управління в ПАТП витратою палива у системі автоматичного формування масиву бази даних роботи автобусів з кондиціонером, впровадження якого здійснено в Науково-виробничій лабораторії енергетики та екології транспорту Державного підприємства «Державний автотранспортний науково-дослідний і проектний інститут», автобусному парку КП «Житомирське трамвайно-тролейбусне управління» Житомирської міської ради, ТОВ «Автогазсервіс МВС», в навчальному процесі Державного університету «Житомирська політехніка» і Відокремленому структурному підрозділі «Житомирський автомобільно-дорожній фаховий коледж Національного транспортного університету».

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Батищев И. И., Можайская И. А. Автомобильному транспорту необходимы новые правила перевозок грузов. *Автотранспортное предприятие*. 2006. № 6. С. 10–13.
2. Мельничук С. В., Чуйко С. П., Рафальський О. І. Підвищення паливної економічності та екологічних показників міського автобуса шляхом оптимізації параметрів і режимів руху, постановка проблеми. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. Луцьк : ЛНТУ, 2017. № 1 (8). С. 84–93.
3. Маяк М. М., Мельничук С. В., Головня Р. М., Чуйко С. П. До питання визначення технічної швидкості міського маршрутного автобуса в залежності від умов експлуатації. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. Луцьк : ЛНТУ, 2018. № 1 (10). С. 58–65.
4. Кравченко О.П., Чуйко С.П. Дослідження теплового балансу салону автобуса у теплий період року. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. Сєверодонецьк : Вид-во СНУ ім. Володимира Даля, 2019. № 3 (251). С. 101–106.
5. Кравченко О. П., Кривошапов С. І., Чуйко С. П. Вдосконалення алгоритму нормування витрати палива міським автобусом обладнаним кондиціонером. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. Луцьк : ЛНТУ, 2019. № 2 (13). С. 76–83.
6. Чуйко С. П., Кравченко О. П. Критерии тепловой нагрузки кабины водителя автобуса МАЗ-206 в летний период эксплуатации. *Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe (East European Scientific Journal)*. 2020. № 10 (62). С. 62–67.
7. Forming comfortable microclimate in the bus compartment via determining the heat loss. Communications / Kravchenko O., Hrabar I., Gerlici J., Chuiko S., Kravchenko K. *Scientific Letters of the University of Zilina*, 2021. Vol. 23 (2), pp. 150–157. DOI: <https://doi.org/10.26552/com.C.2021.2.B150-B157>.

8. Кравченко О. П., Чуйко С. П. Аналіз швидкісних якостей і паливна економічність автобусу при циклічних режимах руху. *Новітні шляхи створення, експлуатації, ремонту і сервісу автомобілів* : зб. наук. пр. IV всеукр. наук.-практ. конф. Миколаїв-Коблеве, 20–22 верес. 2018 р. С. 35–37.

9. Кравченко О. П., Чуйко С. П. Щодо факторів, які впливають на зниження швидкісних режимів руху міського автобусу в умовах роботи на постійному маршруті. *LXXIV Наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету* : тези доп. Київ : НТУ, 2018. С. 257.

10. Кравченко О. П., Чуйко С. П. Особливості оцінки витрати палива міськими маршрутними автобусами оснащеними «Клімат-контролем». *Новітні технології розвитку автомобільного транспорту* : наук. пр. міжнар. наук.-практ. конф., 16–19 жовт. 2018 р. Харків : ХНАДУ. С. 124–126.

11. Кравченко О. П., Чуйко С. П. Вплив експлуатаційних факторів на витрати палива міським автобусом оснащеним установкою «Клімат-контроль». *Сучасні тенденції розвитку машинобудування та транспорту* : VI міжнар. наук.-техн. конф. м. Кременчук, 14–16 лист. 2018 р. Кременчуцький НУ ім. М. Остроградського. С. 63–68.

12. Кравченко О. П., Чуйко С. П. Визначення та аналіз факторів що впливають на зміну витрати палива міського автобуса оснащеного кліматичною установкою. *LXXV наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету* : тези доп. Київ : НТУ, 2019. С. 92.

13. Чуйко С. П., Кравченко О. П. Фактори впливу на мікроклімат пасажирського салону міського маршрутного автобусу. *Тези всеукр. наук.-практ. on-line конф. здобувачів вищої освіти і молодих учених, присвяченої Дню науки*. м. Житомир, 15–17 трав. 2019 р. Житомир : ЖДТУ, 2019. С. 239.

14. Кравченко О. П., Чуйко С. П. Дослідження параметрів повітря в салоні міського автобусу. *Транспорт і логістика: проблеми та рішення* : зб. наук. праць за матер-ми IX міжнар. наук.-практ. конф. м. Одеса, 22–24 трав. 2019 р.

Сєверодонецьк–Одеса–Вільнюс–Київ. Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля, Одеський національний морський університет. Одеса : КУПРІЄНКО СВ, 2019. С. 154–156.

15. Кравченко О., Чуйко С. Визначення факторів теплових навантажень салону міського автобусу. *Перспективи розвитку машинобудування та транспорту-2019* : зб. тез I міжнар. наук.-техн. конф. м. Вінниця, 13–15 трав. 2019 р. Вінниця : ВНТУ, 2019. С. 168–170.

16. Кравченко О., Чуйко С. Визначення конвективного теплообміну у салоні міського автобусу на зупинках при відкритих дверях. *Інноваційні технології розвитку машинобудування та ефективного функціонування транспортних систем* : зб. тез I міжнар. наук.-техн. інтернет-конф. м. Рівне, 21–23 трав. 2019 р. Рівне : НУВГП, 2019. С. 150–151.

17. Чуйко С. П., Ткаченко Г. М. Тепловий режим салону міського автобуса в умовах літньої експлуатації. *Тези всеукр. наук.-практ. on-line конф. здобувачів вищої освіти і молодих учених, присвяч. Дню науки*. м. Житомир, 11–15 трав. 2020 р. Житомир : Житомирська політехніка, 2020. С. 105.

18. Чуйко С. П., Кравченко О. П. Удосконалення системи управління витратою палива міськими маршрутними автобусами, обладнаними кондиціонером. *Сучасні технології на автомобільному транспорті та машинобудуванні* : наук. пр. міжнар. наук.-практ. конф. м. Харків, 15–18 жовт. 2019 р. Харків : ХНАДУ, 2019. С. 158–160.

19. Кравченко О. П., Чуйко С. П. Визначення системи управління витратою палива для пасажирських підприємств, які експлуатують автобуси, обладнані кондиціонерами. *«Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту»* : матеріали XII міжнар. наук.-практ. конф. м. Вінниця, 21–23 жовт. 2019 р. Вінниця : ВНТУ, 2019. С.100–102.

20. Кравченко О. П., Чуйко С. П., Кривошапов С. І. Удосконалення індивідуальних маршрутних норм витрати палива міським автобусом, оснащеним кондиціонером. *LXXVI наук. конф. проф.-викл. складу, аспірантів,*

студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету : тези доп. Київ : НТУ, 2020. С. 63.

21. Кравченко О. П., Чуйко С. П. Стохастична залежність комфорту салону міського автобуса у транспортному процесі. *Науково-прикладні аспекти автомобільної і транспортно-дорожньої галузей* : матеріали VI міжнар. наук.-техн. конф. м. Луцьк 26–27 черв. 2020 р. Луцьк : ЛНТУ, 2020. С. 78–82.

22. Кравченко О. П., Чуйко С. П. Аналіз комфорту в салоні міського автобуса щодо нормування витрати палива. *Сучасні технології на перспективі розвитку автомобільного транспорту* : тези XIII міжнар. наук.-практ. конф. присвячена сторіччю Державного університету «Житомирська політехніка». м. Житомир, 26–28 жовт. 2020 р. Житомир, 2020. С. 44–45.

23. Кравченко О. П., Чуйко С. П. Еко-водіння-алгоритм паливної економічності та безпеки перевезень міським маршрутним автобусом. *Безпека на транспорті – основа ефективної інфраструктури: проблеми та перспективи* : наук. пр. IV міжнар. наук.-практ. конф. м. Харків, 26–27 листоп. 2019 р. Харків : ХНАДУ, 2019. С. 42–44.

24. Чуйко С. П., Кравченко О. П. Інтегрований метод оцінки екологічної направленості на витрату палива міським автобусом з системою нейтралізації відпрацьованих газів. *Підвищення надійності машин і обладнання* : матеріали міжнар. наук.-практ. конф. м. Кропивницький, 15–17 квітня 2020 р. Кропивницький : ЦНТУ, 2020. С. 187–189.

25. Кравченко О. П., Чуйко С. П. Вдосконалення руху маршрутного автобуса у міських транспортних системах. *Проблеми з транспортними потоками і напрямки їх розв'язання* : тези III всеукр. наук.-теорет. конф. м. Львів, 28–30 берез. 2019 р. Львів : Львівська політехніка, 2019. С. 7–9.

26. Чуйко С. П. Аналіз факторів впливу умов експлуатації міського маршрутного автобуса на його технічну швидкість. *5th International conference Science and society*. Canada, Hamilton, 15th June 2018. С. 1459–1477.

27. Чуйко С. П. Визначення складності автобусного маршруту за умовами експлуатації. *Вісник ЖДТУ*. 2018. № 2 (82). С. 160–165.

28. Чуйко С. П. Оцінка факторів, що впливають на витрату палива міських маршрутних автобусів в умовах експлуатації. *Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту* : матеріали X міжнар. наук.-практ. конф. м. Вінниця, 23–25 жовт. 2017 р. Вінниця : ВНТУ. С. 159–161.

29. Чуйко С. П. Ключові фактори, які впливають на транспортну привабливість автобусів міських маршрутів. *Актуальні питання підготовки фахівців транспортної галузі* : матеріали V наук.-практ. конф. м. Одеса, 19 лист. 2020 р. Одеса : ОАДФК ДУ «Одеська політехніка», 2020. С. 30–32.

30. Чуйко С. Стохастическая зависимость комфорта салона городского автобуса для нормирования расхода топлива. *Slovak international scientific journal*. 2020. Vol. 1. No. 48. pp. 50–54.

31. Чуйко С. П. Критерії управління витратою палива міських автобусів із застосуванням сучасних інформаційних технологій. *Сучасні тенденції розвитку автомобільного транспорту та галузевого машинобудування* : наук. пр. міжнар. наук.-практич. конф. присвяч. 90-річчю Харківського автомобільно-дорожнього ун-ту та 90-річчю автомобільного фак.-ту, 16–18 верес. 2020 р. Харків : ХНАДУ. С. 143–144.

32. Говорущенко Н. Я. Системотехника автомобильного транспорта : монографія. Харьков : ХНАДУ, 2011. 297 с.

33. Борисенко А. О. Аналіз методів оцінки паливної економічності автомобілів. *Автомобіль і електроніка. Сучасні технології*. 2013. № 5. С. 46–51.

34. Екологія та автомобільний транспорт / Ю. Ф. Гутаревич та ін. Київ : Арістей, 2008. 296 с.

35. Звіт про науково-дослідну роботу розроблення сценаріїв зміни кліматичних умов в Україні на середньо та довгострокову перспективу з використанням даних глобальних та регіональних моделей. 2013. 135 с. URL: <https://uhmi.org.ua/project/rvndr/climate.pdf>.

36. Редзюк А. М., Клименко О. А. Впровадження технічного регулювання ефективності використання енергії дорожніми транспортними засобами в Україні. *Автомобільний транспорт і автомобілебудування. Новітні технології*

і методи підготовки фахівців : наук. пр. міжнар. наук.-практ. конф., (м. Харків, 19–20 жовт. 2017 р.). Харків : ХНАДУ, 2017. С. 41–42.

37. Розвиток транспорту з метою відновлення і зростання української економіки : наук. доп. / за ред. О. І. Никифорова. ДУ «Ін-т екон. та прогнозув. НАН України». Київ, 2018. 200 с.

38. Норми витрат палива і мастильних матеріалів на автомобільному транспорті : нормат. док. затв. Міністерством інфраструктури України 07.10.2011. 3-тя ред., переробл. і доп. Київ : ДержавтотрансНДІпроект, 2011. 120 с.

39. Говорущенко Н. Я., Туренко А. Н. Системотехника транспорта. изд. 2-е изд., перераб. и доп. Харьков : РИО ХГАДТУ, 1999. 468 с.

40. Токарев А. А., Шмидт А. Г. Новые методы определения эксплуатационного расхода топлива. *Автомобильный транспорт*. 1992. № 12. С. 11–14.

41. Токарев А. А. Топливная экономичность и тягово-скоростные качества автомобиля. Москва : Машиностроение, 1982. 224 с.

42. Рузский А. В. Влияние организации дорожного движения на расход топлива автомобилями в городских условиях : автореф. дис. на соискание уч. степени к.т.н. : 05.22.10. Эксплуатация автомобильного транспорта. Москва : МАДИ, 1985. 18 с.

43. Волков В. П., Кривошапов С. И. Модель расчета расхода топлива. *Транспортные и транспортно-технологические системы* : материалы междунар. науч.-техн. конф., (г. Тюмень, 16 апр. 2015 г.). Тюмень : ТГНТУ, 2015. С. 64–69.

44. Сахно В. П., Савостін-Косяк Д. О. Нормування витрати палива для міських автобусів з дизельним двигуном. *Вісник Національного транспортного університету. Сер. Технічні науки*. Київ : НТУ, 2017. Вип. 3. С. 141–15.

45. Експлуатаційні властивості автотранспортних засобів : навч. посіб. в 3-х ч. Ч. 1. Динамічність та паливна економічність автотранспортних засобів / В.

П. Сахно, А. В. Костенко, М. І. Загороднов та ін. Донецьк : «Ноулідж», 2014. 444 с.

46. Гутаревич Ю. Ф., Корпач А.О., Говорун А.Г. Випробовування двигунів внутрішнього згорання : навч. посіб. Київ : НТУ, 2013. 252 с.

47. Гутаревич Ю.Ф. Снижение вредных выбросов автомобиля в эксплуатационных условиях. Київ : Вища школа, 1991. 179 с.

48. Результати дослідження пливу режимів руху і кліматичних умов експлуатації у великих містах на споживання палива автомобілями / Редзюк А. М. та ін. *Автошляховик України*. Київ, 2010. № 2. С. 88–97.

49. Біліченко В.В., Іщенко А. П. Оцінка швидкісних і паливних характеристик автобусів різної пасажиромісткості на міських маршрутах. *Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту* : матеріали VIII міжнар. наук.-практ. конф. м. Вінниця, 19–21 жовт. 2015 р. Вінниця : ВНТУ. С. 41–42.

50. Кривошапов С. І. Вдосконалення існуючої методики нормування витрат палива дорожньо-транспортних засобів. Системи і засоби транспорту. Проблеми експлуатації і діагностики : монографія / за наук. ред. І. Грицука. Херсон : ХДМА, 2019. С. 419–435.

51. Кривошапов С. И. Упрощенная методика нормирования часового расхода топлива транспортных автомобилей и специализированных машин. *Вестник двигателестроения*. Запорожье : АО «Мотор Сич», 2019. № 2. С.159–165.

52. Маяк Н. М. Топливная экономичность автомобилей в сложных условиях движения : монография. Київ : Вища школа, 1990. 215 с.

53. Крайник Л. В. Боднар М. Ф. Алгоритм моделювання руху автобусів у типових їздових циклах та особливості розрахунку лінійної витрати палива. *Вісник НУ "Львівська Політехніка"* 2011. №701. С. 38–42.

54. Евсеев П. П., Остапюк О. Я. О нормировании расхода топлива автомобилем. *Автомобильная промышленность*. 2001. № 11. С. 20–22.

55. Шейнин А. М. Эксплуатационная топливная экономичность

автомобилей. Москва : Автотрансиздат, 1963. 168 с.

56. Ель-Сайед Халиль Хусейн Методические основы оценки топливной экономичности дизельных автобусов Икарус-280, оснащенных нейтрализаторами отработавших газов в эксплуатации : автореф. дис. на соискание к.т.н. : спец. 05.22.10 Эксплуатация автомобильного транспорта. МАДИ (ТУ), 1999. 25 с.

57. Ерохов В. И., Бондаренко Е. В. Влияние дорожных факторов на выброс вредных веществ и расход топлива автотранспортными средствами. *Вестник ОГУ*. 2005. № 4. С. 139–151.

58. Литвин В. В., Таран І. О. Вплив режимів руху міських автобусів на паливну економічність та екологічну безпеку. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. Луцьк : ЛНТУ, 2019. № 1 (12). С. 92–97.

59. Розробка методу застосування класифікації умов експлуатації автомобілів в інформаційних умовах ITS / Волков В.П. та ін. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. Луцьк : ЛНТУ, 2019. № 1 (12). С. 22–28.

60. Колов Д. А. Разработка информационной ресурсосберегающей технологии управления расходов топлива для автобусов городских маршрутов : дис. ... к.т.н. : 05.22.10. Эксплуатация автомобильного транспорта. Владимир, 2005. 198 с.

61. Farrington R., Rugh J. Impact of Vehicle Air Conditioning on Fuel Economy, Tailpipe Emissions, and Electric Vehicle Range. Washington, D.C. October 31, 2000. National Renewable Energy Laboratory 1617 Cole Boulevard Golden, Colorado 80401 – 3393.

62. Roberto De Lieto Vollaroa, Luca Evangelistia, Gabriele Battistaa, Paola Goria, Claudia Guattaria, Aldo Fanchiottia. Bus for urban public transport : energy performance optimization. *68th Conference of the Italian Thermal Machines Engineering Association, ATI2013. Energy Procedia* 45, 2014. pp. 731–738.

63. Говорущенко Н. Я., Кривошапов С. И. Методика нормирования расхода топлива и выбросов. *Транспорт, экология – устойчиво развитие* : сб. док. XIV науч.-тех. конф. с междунар. участием. Болгария, Варна : ТУ, 2008.

64. Говорущенко Н.Я. Техническая эксплуатация автомобилей. Харьков : Вищ. шк., ХАДИ, 1984. 312 с.
65. Лобах В. П., Рублевский Л. В. Нормирование расхода топлива на автомобильном транспорте. *Вестник Белорусско-Российского университета*. 2009. № 4 (25). С. 15–21.
66. Транспорт і зв'язок України-2018 : стат. зб. / Державна служба статистики України. Житомир : Бук-Друк, 2019. 154 с.
67. Назаров А. А. Разработка комплекса мероприятий по совершенствованию функционирования городских автобусов на основе учета сложности маршрута движения : дис. ... к.т.н. : 05.22.10. Эксплуатация автомобильного транспорта. Москва, 2006. 221 с.
68. Исмаилов Р. И. Совершенствование технической эксплуатации городских автобусов за счет корректирования ее основных нормативов и нормирования расхода топлива на основе статистической информации : дис. ... к.т.н. : 05.22.10 «Эксплуатация автомобильного транспорта». Москва, 2003. 165 с.
69. Володарець М. Використання технологій імітаційного моделювання для вирішення питання оптимізації умов експлуатації транспортних засобів. Системи і засоби транспорту. Проблеми експлуатації і діагностики : монографія / за наук. ред. І. Грицука. Херсон : ХДМА, 2019. С. 123–138.
70. Бажинов О. В. Наукові основи оцінки ресурсу силових агрегатів транспортних машин з урахуванням умов експлуатації : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д.т.н. : спец. 05.22.20. Експлуатація та ремонт засобів транспорту. Харків, 2001. 32 с.
71. Шапенко Є. М. Удосконалення методів раціональної організації роботи водіїв міського пасажирського транспорту : дис. ... к.т.н. : 05.22.01. Київ, 2019. 189 с.
72. Конин И. В. Разработка метода оценки сложности автобусных маршрутов : автореф. дис. на соискание к.т.н. : 05.22.10. Эксплуатация автомобильного транспорта. Москва, 1994. 24 с.

73. Шаша І. К., Шаша Л. І. Обґрунтування та вибір цільової функції автоматичної системи управління дорожнім рухом : зб. наук. праць. *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»*. темат. вип. *Технічний прогрес і ефективність виробництва*. Харків : НТУ «ХПІ», 2012. № 16. С. 44–48.

74. Шумляківський В. П. Покращення реалізації тягово-швидкісних властивостей автомобілів категорії М2 в інтелектуальній транспортній системі : дис. ... к.т.н. : 05.22.20 Експлуатація та ремонт засобів транспорту. Житомир, 2017. 198 с.

75. Mei Yan, Hongwen He, Cho Sun, Yui Jia. Stochastic Dynamic Programming of Air Conditioning System under Time-varying Passenger Condition for Electric Bus. *Energy Procedia*, 2016. Vol. 104. pp. 360–365.

76. Системы вентиляции и кондиционирования. Теория и практика. / Ананьев В. А. и др. 4-е изд. Москва : Евроклимат, 2003. 416 с.

77. ГОСТ 30593-2015. Автомобильные транспортные средства. Системы отопления, вентиляции и кондиционирования. Требования к эффективности и безопасности.

78. Михайлов М. В., Гусева С. В. Микроклимат в кабинах мобильных машин. Москва : Машиностроение, 1977. 230 с.

79. Емельянов А.Л., Буравой С. Е., Платунов Е. С. Системы индивидуального регулирования температуры воздуха в купе пассажирского вагона. *Научный журнал НИУ ИТМО. Сер.: Холодильная техника и кондиционирование*. 2008. № 1 (3). С. 22–29.

80. Анализ требований к микроклимату рабочего места водителя колесного транспортного средства / Грицук И.В. и др. *Вісник Донецької академії автомобільного транспорту*. Донецьк : ДААТ, 2014. № 4 (2). С. 66–71.

81. Требования к условиям труда водителей автомобильного транспорта. Санитарные нормы и правила : постановление от 14 июня 2013 г. № 47 / Министерство здравоохранения Республики Беларусь. Минск, 2013 г. 12 с.

82. Жуковский С.С. Организованная естественная вентиляция салонов

автобусов : дис. ... к.т.н. : 05.23.03. / Львовский политехнический институт. Львов, 1984. 240 с.

83. Куліков Ю.А., Грибініченко М. В., Гончаров А. В. Системи охолодження, вентиляції та опалення автомобілів : монографія. Луганськ : СНУ ім. В. Даля, 2006. 241 с.

84. ДСТУ EN 13053:2013. Системи вентиляції та кондиціювання повітря. Кондиціонери повітря центральні. Номінальні та робочі характеристики складових частин та секцій (EN 13053:2006, IDT).

85. ASHRAE Standard, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, ASHRAE Standard 55, Rev. 2012.

86. Матвеев Д.В. Разработка технологии расчета системы отопления и вентиляции легкового автомобиля : дис. ... к.т.н. : 05.05.03. Колесные и гусеничные машины. Ижевск, 2006. 122 с.

87. Хохряков В.П. Вентиляция, отопление и обеспечение воздуха в кабинах автомобилей : монография. Москва : Машиностроение, 1987. 149 с.

88. Палутин Ю.И. Методические основы совершенствования параметров воздушной среды салонов автомобилей : дис. ... д.т.н. : 05.05.03. Н. Новгород, 1997. 327 с.

89. Tosun E., Bilgili M., Tuccar G., Yasar F., Aydin K. Exergy analysis of an inter-city bus air-conditioning system. *Exergy*, Vol. 20. No. 4, 2016 pp. 445–464.

90. Cool-Colored Cars to Reduce Air- Conditioning Energy Use and Reduce CO2 Emission. *Lawrence Berkeley National Laboratory One Cyclotron Road Berkeley*, 2011. 112 p.

91. Драганов Б.Х. та ін. Теплотехніка : підручник. 2-ге вид., перероб. і доп. Київ : ІНКОС, 2005. 400 с.

92. Боголюбов В.М. Медицинская реабилитация. Кн. 1. / под ред. В. М. Боголюбова. Москва : Бином, 2010. 416 с.

93. ДСП 7.7.2.015-99. Державні санітарні правила та норми, гігієнічні нормативи рухомого складу залізничного транспорту для пасажирських перевезень. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0015588-99>

94. Кулько А. П. Система нормализации микроклимата на основе вихревого эффекта кабины водителя городского и пригородного автобусов : автореф. дис. на соискание уч. степени д.т.н. : 05.22.10. Эксплуатация автомобильного транспорта. Волжский политехнический институт (филиал) Волгоградского государственного технического университета. Волгоград, 2004. 19 с.

95. Матюхин Л. М. Теплотехнические устройства автомобилей. Москва : МАДИ, 2010. 89 с.

96. Intelligent energy management control of vehicle air conditioning via lookahead system / Khayyam H, Nahavandi S, Hu E, Kouzani A, Chonka A, Abawajy J, et al. *Appl Therm Eng*, 2011. Vol. 31. P. 47–60.

97. Lambert M.A., Jones B.J. Automotive adsorption air conditioner powered by exhaust heat. Part 1: conceptual and embodiment design. *P I Mech Eng D-J, Aut* 2006. pp. 59–72.

98. Говорущенко Н. Я., Горбик Ю. В. Моделирование процессов стендового диагностирования на топливную экономичность и токсичность транспортных машин. *Транспорт, экология – устойчивое развитие* : сб. док. науч.-тех. конф. Варна : ТУ, 2009. С. 504–511.

99. Буракова Л. Н., Анисимов И. А., Влияние различных факторов на расход топлива автомобиля в летний период при работе на режиме холостого хода : материалы междунар. науч.-тех. конф., посвящен. 50-летию Тюменского индустриального ин-та. Тюмень : ТюмГНГУ, 2013. С. 59–64.

100. Kamar H.M., Ahmad R., Kamsah N.B., Mustafa AFM. Artificial neural networks for automotive air-conditioning systems performance prediction. *Appl Therm Eng*, 2013. Vol. 50. P. 63–70.

101. Луканин В. Н., Шатров М. Г., Камфер Г. М. Теплотехника / под ред. Луканина В. Н. 2–е изд., перераб. Москва : Высш. шк., 2000. 671 с.

102. Про затвердження ГСТУ «Засоби транспортні дорожні. Технічні вимоги до безпеки конструкції автобусів загального призначення, які знаходяться в експлуатації» : наказ Міністерства транспорту України № 807 від 21.11.2001.

103. Пособие 2.91 к СНиП 2.04.05-91. Расчет поступления теплоты солнечной радиации в помещении. Ч. 6. Москва : Стройиздат, 1997.
104. ДБН В.2.6-31:2006. Теплова ізоляція будівель. Конструкція будинків і споруд. Київ : Мінбуд України, 2006. 70 с.
105. ДСТУ – НБВ.11.27:2010. Будівельна кліматологія. Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. 130 с.
106. Жуковский С. С., Возняк О. Т., Довбуш О. М., Люльчак З. С. Вентилювання приміщень : навч. посіб. Львів : Вид-во Національного університету «Львівська політехніка», 2007. 476 с.
107. Богословський В.Н. Строительная теплофизика. изд. 2-е, перераб. и доп. Москва : Высш. шк., 1982. 415 с.
108. Богословський В. Н., Новожилов В. И., Симаков Б.Д., Титов В. П. Отопление и вентиляция. Ч. 2, Вентиляция : уч. пособ. 2-е изд. испр. и доп. Москва : Стройиздат, 1976. 439 с.
109. Богданов С. Н., Бурцев С. И., Иванов О. П., Куприянов А. В. Холодильная техника. Кондиционирование воздуха. Свойства веществ : справ. / под ред. Богданова С. Н. СПб. : СПб ГАХПТ, 1999. 320 с.
110. Автобусы МАЗ-206 и МАЗ-226. Руководство по эксплуатации 206060-0000020РЭ. Минск : ОАО «Минский автомобильный завод», 2017. 137 с.
111. Батулин В. В., Эльтерман В.М. Аэрация промышленных зданий. Москва : Госстройиздат, 1962.
112. Xianghao Shen, Shumin Feng, Zhenning Li. Analysis of bus passenger based on passenger load factor and in-vehicle time. *Peoples Republic of China*, 2016.
113. Корпач О. А. Поліпшення тягово-швидкісних властивостей і паливної економічності автомобіля при зміні потужності двигуна в широких межах : дис...канд. техн. наук: 05.22.02. Київ : НТУ. 171 с.
114. Лудченко А. А., Лудченко Я. А., Примаков Т. А. Основы научных исследований : учеб. пособ. / под ред. А. А. Лудченко. 2-е изд., стер. Киев. : Знання, 2001. 113 с.

115. Интеллектуальные системы управления работоспособностью автомобилей : монография / Волков В. П., Матейчик В. П., Грицук И. В., Волков Ю. В. под ред. Волкова В. П. Харьков : Майдан, 2016. 503 с.

116. Єріна А. М., Захожай В. Б., Єрін Д. Л. Методологія наукових досліджень : навч. посіб. Київ. : ЦНЛ, 2004. 212 с.

117. ГОСТ 50866-96. Автотранспортные средства. Системы отопления, вентиляции и кондиционирования. Методы оценки эффективности и безопасности. Введ. 1997.01.01. Москва, 1996. 27 с.

118. Моніторинг громадського транспорту України. [Електронний ресурс]. Режим доступу : <https://www.eway.in.ua>.

119. Волков В. П., Комов П.Б., Комов О. Б., Грицук І. В. Особенности транспортно-информационной системы мониторинга «ХНАДУ ТЭСА». *Автомобіль і електроніка. Сучасні технології* : ел наук. фах. вид. (друк версія). Харків : ХНАДУ, 2013. Вип. № 4/2013. С. 106–110.

120. Лурье М. И., Токарев А. А. Скоростные качества и топливная экономичность автомобиля. Москва : Машиностроение, 1967. 164 с.

121. Шапенко Є. М. Використання кластерного аналізу для визначення факторів, які впливають на складність роботи водіїв на маршрутах міського пасажирського транспорту. *Управління проектами, системний аналіз і логістика*. Київ : НТУ, 2014. Вип. 13. С. 206–211.

122. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. Київ : Мінрегіон України, 2013. 240 с.

123. Державні санітарні правила охорони атмосферного повітря населених місць (ДСП-201-97). Затверджено МОЗ України №201 від 09.07.97р. м. Київ.

124. ДСТУ-ДБВ.1.1-27:2010. Будівельна кліматологія. Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. 130 с.

125. ДБН В.2.6-31:2016. Теплова ізоляція будівель. Конструкція будинків і споруд. Київ : Мінрегіонрозвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2017. 33 с.

126. Захаров Д. А. Сидоров С. А., Козлов П. А. Снижение энергоемкости и повышение эффективности перевозок скоропортящихся грузов автомобилями-рефрижераторами : монография. Тюмень : ТюмГНГУ, 2016. 120 с.

127. Двигатель Mercedes OM924LA [Электронный ресурс]. Режим доступа <https://yourmotor.ru/engines/mercedes/dvigatel-om924l>.

128. Кондиционеры для автомобильной техники [Электронный ресурс]. Режим доступа : http://falkat.com/images/services/ETL_MAZ_206_REVO_250

Додаток А
Таблиця А.1

Технічна характеристика автобуса МАЗ-206086 [110]

Найменування	Значення
1	2
Кількість місць для сидіння пасажирів, чол.	25
Повна пасажиромісткість, чол.	72 / 64 + 1 інвалід на колясці
Повна маса, кг	12910
Кількість службових дверей	3
Висота сходинки над рівнем дороги, не більше, мм	340
Споряджена маса автобуса, кг	8300
Розподіл порожньої маси в спорядженому стані по осям, кг	
- передня вісь	2840
- задня вісь	5460
Повна маса (порожня маса в спорядженому стані і маса пасажирів при номінальній пасажиромісткості), кг	13200 / 12910
Розподіл повної маси по осям, кг	
- передня вісь	4550 / 4450
- задня вісь	8650 / 8460
Технічно допустима максимальна маса, кг	13450
Зовнішній габаритний радіус повороту, м не більше	9,5
Максимальний підйом, який здолає автобус, %	30
Габаритні розміри, мм	
довжина	8650
ширина	2550
висота	2930
База, мм	4270
Шини, розмір	245/70 R19,5
Висота сходинки над рівнем дороги, не більше, мм	340

Продовження додатка А

Продовження табл. А.1

1	2
Зовнішній радіус повороту, м, не більше	9,5
Максимальний підйом, який подолає автобус, % , не більше	30
Час розгону з номінальним навантаженням з місця до швидкості 60 км/год, с, не більше	45
Ресурс до першого капітального ремонту для І категорії експлуатації, км, не більше	600000
Коробка передач	Allison мод.2100 T270W / Ret
Передаточні числа	
І передача	3,10 : 1
ІІ передача	1,81 : 1
ІІІ передача	1,41 : 1
ІV передача	1,00 : 1
V передача	0,71 : 1
VI передача	0,61 : 1
Задній хід	- 4,49 : 1
Передаточне число гідротрансформатора	2,05
Провідний міст	5,83 / 4,88

Таблиця А.2

Площа конструктивних елементів автобуса МА3-206086

Параметр	Панель даху	Непро- зора стінка салону	Скління салону автобус а	Двері передні	Двері задні	Заднє скло	Вітрове скло
Позначення	$F_{дах}$	$F_{нп}$	F_c	$F_{пд}$	$F_{пд}$	$F_{зс}$	$F_{вс}$
Площа, м ²	21,42	12,27	12,12	1,44	2,16	1,55	4,37

Таблиця А.3

Технічна характеристика двигуна Mercedes [127]

Найменування	Значення
OM 924 LAV	4-х циліндровий, рядний з турбонаддувом і охолодженням наддувочного повітря
Потужність, кВт (к. с.)	160 (218)
Об'єм, см ³	4801
Кількість циліндрів	4
Кількість клапанів	12
Максимальний крутний момент при 1200 – 16000, Нм	810
Хід поршня, мм	136
Вид палива	Дизельне
Система охолодження	Рідинна
Екологічний стандарт	Євро 5
Головка циліндрів	ONV
Газорозподіл	Коромисло

Таблиця А.4

Технічна характеристика кондиціонера [128]

Найменування	Показники
Revo 250 GLOBUS	Даховий
Максимальна холодильна потужність, кВт	25
Об'єм повітряного потоку, м ³ / год	4,640
Максимальна робоча температура, °C	52
Споживана потужність (28 В) при 100%	72А
Компресор TM-31 / VALEO, см ³	310
Холодоагент	R134a
Вага конструкції для монтажу, кг	124
Розміри (Д x Ш x В), мм	2593 x 2077 x 215

Додаток Б

Додаткові технічні дані автобуса МАЗ-206086 для розрахунків витрати палива

Номінальна потужність ДВЗ, кВт	$N_{max} = 160$
Максимальна частота обертання валу, хв ⁻¹	$n_{Nmax} = 2200$
Номінальна частота обертання колінчастого валу, хв ⁻¹	$n_{Mmin} = 1200 \dots 1600$
Максимальний крутний момент при 1200 – 1600, Нм	$n_{min} = 810$
Мінімальна оберти при х. х., об/хв	$p_{nxx} = 700$
ККД трансмісії	$\eta_{TP} = 0,9$
Передавальне число коробки передач	$i_{кп} = 0,79$
Динамічний радіус колеса, м	$r_k = 0,41$
Максимальна швидкість руху, км/год	$V_{max} = 87$
Коефіцієнт опору повітря, Н·с ² /м ⁴	$k = 0,9 \text{ Н} \cdot \text{с}^2 / \text{м}^4$
Коефіцієнт заповнення лобової площі автобуса	$\alpha_T = 0,97$
Нижча теплота згорання палива, кДж/кг	$H_H = 43000$
Густина палива, г/см ³	$\rho_T = 0,825$

Результати розрахунків

Погодинна витрата палива автобусом при роботі двигуна на холостих обертах з навантаженням від кондиціонера

$$G_{па} = \frac{0,12 \cdot P \cdot V_h \cdot n \cdot B_\eta}{L_0 \cdot R \cdot T \cdot \tau \cdot C_a \cdot p_t} = 2,02 \text{ л/год.}$$

Проведення перевірки розрахунків погодинної витрати палива автобусом. При нормальних параметрах нормального атмосферного тиску в 760 мм рт. ст. (101325 Па)

$$G_{па} = 0,00174 \cdot V_h \cdot F \cdot n,$$

де V_h – робочий об'єм двигуна, л;

$$F = \frac{P}{T} = 0,35;$$

n – мінімальні оберти к.в. на х.х., об/хв.

$$G_{па} = 0,00174 \cdot 4,8 \cdot 0,35 \cdot 700 = 2,05 \text{ л/год.}$$

Основні етапи розрахунку базової норми витрати палива для автобуса МАЗ - 206086 для цих умов

$$1) \quad G_a = 9,81 \cdot 13450 = 131944 \text{ Н}$$

$$2) \quad kF = 0,9 \cdot 0,97 \cdot 2,55 \cdot 2,93 = 6,52 \text{ Нс}^2/\text{м}^2;$$

$$3) \quad \psi = \frac{0,01 \cdot 87}{40} = 0,022;$$

$$4) \quad K_c = \frac{1600}{2200} = 0,727;$$

$$5) \quad i_k = \frac{0,727 \cdot 87 \cdot 0,79}{40} = 1,25;$$

$$6) \quad N_1 = \frac{100 \cdot (131944 \cdot 0,022 \cdot 40 + 0,077 \cdot 6,52 \cdot 40^3)}{3,6 \cdot 10^3 \cdot 160 \cdot 0,9} = 28,6\%;$$

$$7) \quad \eta_i = 0,43 + 0,21 \cdot 10^{-2} \cdot 28,6 = 0,49;$$

$$8) \quad A = \frac{381 \cdot 4,8 \cdot 4,88}{43000 \cdot 0,825 \cdot 0,41} = 0,614;$$

$$9) \quad B = \frac{11 \cdot 4,8 \cdot 0,136 \cdot 4,88^2}{43000 \cdot 0,825 \cdot 0,41^2} = 0,0287;$$

$$10) \quad C = \frac{100}{43000 \cdot 0,825 \cdot 0,9} = 0,00313;$$

$$11) \quad H_S = \frac{1}{0,49} \cdot [0,614 \cdot 1,25 + 0,0287 \cdot 1,25^2 \cdot 40 + 0,00313 \times (131944 \cdot 0,022 + 0,077 \cdot 6,52 \cdot 40^2)] = 28,9 \text{ л / 100 км.}$$

Вихідні дані для розрахунку системи теплового балансу в салоні автобуса МАЗ -206086

1. Розрахункова зовнішня температура повітря $t_3 = 27,7^\circ\text{C}$ (найжаркіша доба для м. Житомира). В якості температури навколишнього середовища вибирається температура, яка характерна для даної кліматичної зони [105].

2. Нормована температура повітря в салоні автобуса $t_{\text{CA}} = 22 \dots 24^\circ\text{C}$ [84].

Приймаємо $t_{\text{CA}} = 24^\circ\text{C}$.

3. Приплив свіжого (зовнішнього) повітря в салон автобуса із розрахунку на $1 \text{ м}^3 \text{ L}$ – не менше $7 \text{ м}^3/\text{год}$. [108].

4. Середньомісячна сонячна радіація на поверхню (м. Житомир, $50^\circ 17'$ північної широти) в липні місяці [105]:

- вертикальна пряма $249 \text{ Вт}/\text{м}^2$;
- вертикальна розсіяна $139 \text{ Вт}/\text{м}^2$;
- горизонтальна пряма $655 \text{ Вт}/\text{м}^2$;
- горизонтальна розсіяна $186 \text{ Вт}/\text{м}^2$.
- V – об'єм салону автобуса, $V = 40 \text{ м}^3$;
- ρ – щільність повітря, $\rho = 1,2 \text{ кг}/\text{м}^3$;
- c – теплоємність повітря, $c = 1005 \text{ Дж}/\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}$;
- n – кількість (середньорейсова) пасажирів в салоні автобуса, $n = 26$ пас.
- β_2 – коефіцієнт, що залежить від одягу пасажирів, для легкого одягу $\beta_2 = 1,2$.
- $V_{\text{в}}$ – середня швидкість повітря в салоні автобусу, $0,3 \text{ м}/\text{с}$
- t_{ca} – температура повітря в салоні, приймаємо $t_{\text{ca}} = 24^\circ\text{C}$ [85].
- n – розрахункова кількість пасажирів в салоні, $n=26$ пас.;
- $G_{\text{сп}}$ – маса свіжого повітря, з розрахунку на одного пасажирів, $20\text{-}25 \text{ м}^3/\text{год}$;
- ρ – щільність повітря, $\rho = 1,25 \text{ кг}/\text{м}^3$. Тоді $G_{\text{сп}} = 8,4 \text{ кг}/\text{год}$;
- C_n – теплоємність повітря, $C_n = 0,279 \text{ Вт}/\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}$ [105];
- t_3 – розрахункова температур зовнішнього повітря, $^\circ\text{C}$ (вихідні дані);
- t_{ca} – температура повітря в салоні автобуса, $^\circ\text{C}$ (вихідні дані).

k_c – коефіцієнт теплопередачі скла, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, $k_c = 1,15 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ [108]

F_c – усереднена площа скління салону, які піддана впливу сонячної радіації, м^2 . Приймаємо, $F_c = 8,6 \text{ м}^2$.

t_{3e} – еквівалентна температура зовнішнього повітря з урахуванням дії сонячного випромінювання, $^\circ\text{C}$;

t_c – нормативна температура в салоні автобуса, $^\circ\text{C}$, $t_c=24^\circ\text{C}$;

d_c – коефіцієнт пропускання теплоти сонячної радіації, $d_c = 1,445 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ [107];

t_3 – розрахункова температура зовнішнього повітря, $^\circ\text{C}$, $t_3 = 27,7^\circ\text{C}$ (нормативна), ($t_{3i} = 18; 19; 20; 22; 24; 27; 30; 32^\circ\text{C}$ - в різні години дня);

α – коефіцієнт поглинання теплоти сонячної радіації огорожуючими конструкціями кузова, $\alpha = 0,46$ [107].

a_3 – коефіцієнт тепловіддачі від зовнішніх поверхонь кузова, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, визначається за формулою [107]

$G_{\text{сп}} = 8,4 \text{ кг}/\text{год}$; $Q_{\text{сп}} = 220 \text{ Вт}$.

Продовження додатка В

Розрахункова температура повітря в салоні автобуса $t_c = 24^\circ\text{C}$ (зона нижче площини П-П), а зовні, $t_3 = 27,7^\circ\text{C}$. Відповідно, щільність повітря в салоні, $\rho_c = 1,189 \text{ кг/м}^3$ (нижче нейтральної площини) більша ніж за межами автобуса, $\rho_3 = 1,172 \text{ кг/м}^3$ ($\rho_c > \rho_3$). Така ж закономірність з тиском, $p_c > p_3$, Δp приймаємо 2Па [107].

Температура повітря в салоні вище нейтральної площини становить близько $28,5^\circ\text{C}$ (натурні дослідження), а його щільність менше за щільність повітря за межами салону автобуса на такій же висоті, $\rho = 1,171 \text{ кг/м}^3$.

Δp , кгс/м^2 і $\Delta \rho$, кг/м^3 - відповідно різниця в тиску і щільності повітря на вісях площин видалення та припливу повітря в салоні автобуса та за його межами. ($1\text{Па} = 0,101972 \text{ кгс/м}^2$). По формулі $h = 0,9 \text{ м}$.

$t_{\text{сн}} = 25^\circ\text{C}$, $\Delta p_{\text{н}} = 0,1019 \text{ кгс/м}^2$, $\Delta \rho_{\text{н}}$ приймається по температурі $t_{\text{сн}}$ (натурні дослідження) і t_3 . Нейтральна площина знаходиться на висоті $h_{\text{п-п.н}} = 1,6 \text{ м}$ від низу дверей і $0,2 \text{ м}$ від їх верху, $h_{\text{п-п.н}}$.

п.в.

$L_{\text{дп}} = 50 \text{ м}^3/\text{год}$. $Q_{\text{дп}} = 65 \text{ Вт}$.

$Q_{\text{дв}} = 495 \text{ Вт}$ $\Sigma Q_{\text{д}} = 560 \text{ Вт}$.

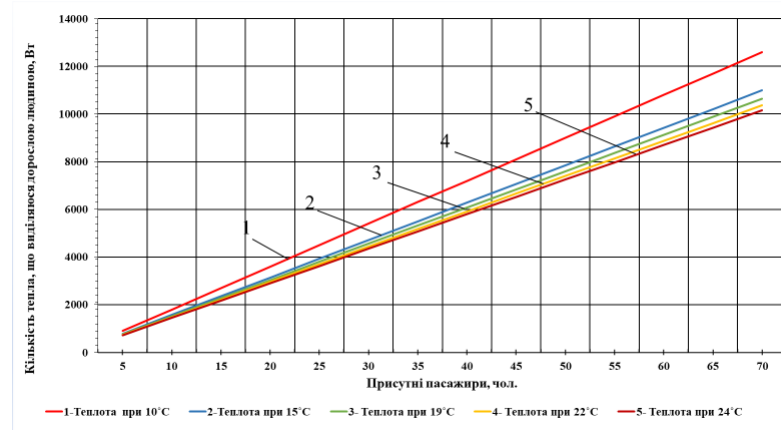


Рис. В.1. Прогнозована температура тепловиділення людей від температури зовнішнього повітря*

*розроблено автором на підставі джерела [106]

Додаток Д
Таблиця Д1

Довідкові і проміжні значення при розрахунках теплообміну салону

№ з/п	Розрахункові дані	Значення	Розмірність
1	коефіцієнт тепловіддачі при стоянці	$a_z = 63,97$	Вт / (м ² °С)
2	коефіцієнт тепловіддачі під час руху	$a_{zc} = 17,45$	Вт / (м ² °С)
3	усереднена площа скління салону, які піддана впливу сонячної радіації,	$F_c = 8,6$	м ²
4	еквівалентна температура зовнішнього повітря	$t_{ze} = 30,5$	°С
5	коефіцієнт теплопередачі непрозорої стінки салону	$k_{cti} = 3,1$	Вт / (м ² °С);
6	середньоденна кількість присутніх пасажирів з водієм	26	пас
7	коефіцієнт, який враховує захисні властивості одягу	$\beta_2 = 1,2$	-
8	середня швидкість повітря в салоні автобуса	$V_v = 0,3$	м/с
9	об'єм салону автобуса	$V = 40$	м ³
10	площа перерізу відкритих дверей	$F_{dv} = 3,2$	м ²
11	площа припливного перерізу	$F_{дп} = 0,4$	м ²
12	густина повітря	$\rho = 1,2$	кг/м ³
13	теплоємність повітря	$c = 1005$	Дж/кг · °С;
14	температура зовнішнього повітря, задається за географічними умовами	27,7	°С
15	температура повітря в салоні, яка підтримується кондиціонером	24-25	°С
16	густина повітря в салоні,	$\rho_c = 1,189$	кг/м ³
17	густина повітря за межами салону	$\rho_z = 1,172$	кг/м ³
18	відстань від нейтральної площини до вісі верхнього припливного перерізу	$h_v = 0,1$	м
19	нейтральна площина П-П знаходиться на висоті від низу дверей	$h_{п-п.н} = 1,6$	м
20	нейтральна площина П-П знаходиться на відстані від верху дверей	$h_{п-п.в} = 0,2$	м

Визначення рівня навантаження автобуса за комфортністю в салоні*

Рівень навантаження салону	Коефіцієнт пасажирського навантаження	Умови визначення коефіцієнту комфортності
1	0,35	Кожний пасажир в автобусі має місце (по критерію сидячих місць)
2	0,50	Не вимушені умови проїзду (відстань між двома пасажирами, що стоять, щонайменше дорівнює ширині однієї людини)
3	0,60	Трохи переповнений (між пасажирами, що стоять, немає контакту але при русі ймовірний)
4	0,75	Переповнений, є легкий контакт між стоячими пасажирами, раптовий поворот чи гальмування призведе до контакту
5	1,0	Дуже переповнений, зі значними контактами між стоячими пасажирами

*розроблено автором на підставі джерела [112]

Таблиця Е.1

Технічні характеристики комбінованого вимірювача температури та відносної вологості «ТКА – ПКМ»

Параметр	Величина
1	2
Діапазон вимірів: - освітленості, лк - енергетичної освітленості УФ випромінювання, мВт / м ² - температури, С° - відносної вологості, %	10 - 200000 1 - 40000 0 - 50 10 - 98
Основна відносна похибка вимірювання – освітленості, % - енергетичної освітленості, %	8 10
Основна відносна похибка вимірювання – освітленості, %	
Основна абсолютна похибка вимірювання - відносної вологості при температурі, % - температури при температурі навколишнього повітря, С°	20 ± 5 не більше ± 5 20 ± 5 не більше ± 0,5

Таблиця Е.2

Технічні характеристики ртутних і електронного термометра

Параметр	Величина
Ртутний термометр -ТУ 25-2021 ТС-4	
Діапазон вимірювань, °С	0...100
Ціна ділення шкали, °С	1,0
Ртутний термометр -ТС-7-М1	
Діапазон вимірювань, °С	0...100
Ціна ділення шкали, °С	1,0
Цифровий термометр JS-10/ТРМ-10 з виносним датчиком	
Температурний діапазон, °С	-50...+ 110
Частота оновлення даних температури, с	5
Похибка вимірювань, °С	± 1,0
Принцип дії	Електронний

Продовження додатка Е

Таблиця Е.3

Технічні характеристики вимірювача швидкості газових потоків ИС-2

Параметр	Величина
1	2
Діапазон вимірювання швидкості газового потоку, м / с	від 0,2 до 10
Межі абсолютної похибки, м / с (де V- числове значення середньої вимірної швидкості газового потоку)	$\pm (0,1 + 0,05 * V)$
Чутливість на момент початку обертання крильчатки зонда не більше, м / с	0,2
Ціна одиниці розряду відлікового пристрою, м / с	0,01
Діаметр головки зонда, мм	50
Габаритні розміри вимірювального блоку, мм	160x80x40
Маса вимірювального блоку не більше, кг	0,3
Температура навколишнього середовища - для блоку вимірювального, С°	від-10 до + 50° С
Температура навколишнього середовища - для головки зонда, С°	від-10 до + 50° С
Відносна вологість без конденсації води	до 100%,
Тиск навколишнього газового середовища, кПа	від 80 до 110

Таблиця Е.4

Технічні характеристики переносного радіометра енергетичної освітленості

РАТ-2П-Кварц-41

Параметр	Величина
Діапазон вимірювань енергетичної освітленості, Вт / м ²	від 10 до 2000
Межа основної відносної похибки, відсоток	не більше ± 6
Межа основної відносної похибки при відхиленні температури навколишнього середовища від 20°С в межах робочого діапазону температур, відсоток на градус	не більше $\pm 0,3$

Продовження додатка Е

Продовження табл. Е.4

Живлення радіометра здійснюється від вбудованої акумуляторної батареї (типу «VARTA») або від блоку живлення, підключеного до мережі змінного струму напругою (220 ± 22) В	
Діапазон довжин хвиль: - без застосування інфрачервоного фільтра, мкм - з інфрачервоним фільтром, мкм	від 0,2 до 25 від 1 до 25
Температура навколишнього повітря, С°	5 до 40
Відносна вологість повітря при 25 С°	не більше 80%;
Струм, споживаний радіометром, мА	не більше 50
Час встановлення показань, с	не більше 15
Габаритні розміри, мм	200x95x50
Маса приладу, кг	не більше 0,6

Таблиця Е.5

Технічні характеристики датчика рівня палива DUT–Е 485

Параметр	Значення
Принцип дії	Ємнісний
Час готовності після включення живлення, с	Менше 10
Відносна похибка вимірювання	1% для автомобілів в русі
Напруга живлення, В	10...50, захист до 100
Температурний діапазон забезпечення працездатності, °С	від - 40 до + 85
Струм споживання, мА	≤ 25 (24В)
Виконання по довжині, мм	700, 1000, 1400
Вихідний сигнал	Цифровий CAN J1939 / S6 RS 485 Modbus
Передача інформації здійснюється згідно протоколу	DUT-E COM

Таблиця Е.6

Технічні характеристики датчика рівня палива DUT-E 485

Параметр	Значення
Принцип дії	Ємнісний
Час готовності після включення живлення, с	Менше 10
Відносна похибка вимірювання	1% для автомобілів в русі
Напруга живлення, В	10...50, захист до 100
Температурний діапазон забезпечення працездатності, °С	від - 40 до + 85
Струм споживання, мА	≤ 25 (24В)
Виконання по довжині, мм	700, 1000, 1400
Вихідний сигнал	Цифровий CAN J1939 / S6 RS 485 Modbus
Передача інформації здійснюється згідно протоколу	DUT-E COM



Рис. 1. Схематичне зображення встановлення датчика DUT-E 485 в паливний бак автобуса MAZ-206



Рис. 2. Місце встановлення датчика в паливному баку автобуса

Таблиця Ж.1

Протокол експериментальних досліджень автобуса МАЗ -206 з кліматичною установкою – кондиціонером 28 липня 2019 р.

Час дослідження	Кількість пасажирів в салоні	Параметри повітря зовні автобуса			Мікроклімат в салоні автобуса					
		Температура, t_z , °C	Відносна вологість, φ_z , %	Швидкість вітру, v_z , м/с	Температура, t_c , °C		Відносна вологість, φ_c , %		Швидкість повітря, v_c , м/с	
					При вимкненому кондиціонері	При увімкненому кондиціонері	При вимкненому кондиціонері	При увімкненому кондиціонері	При вимкненому кондиціонері	При увімкненому кондиціонері
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
12-10	8	27,3	53	2,0	29,0		54		0,2	
12-15	11	27,3	53	2,0	29,5		54		0,2	
12-20	23	27,3	53	1,8	30,3		54		0,4	
12-24	29	27,5	53	1,8	32,3		53		0,4	
12-29	30	27,5	53	1,6	33,3		53		0,3	
12-35	32	27,5	51	1,7	34,0		58		0,3	
12-40	29	27,8	51	1,8	34,0		58		0,4	
12-46	19	27,8	51	2,0	32,6		59		0,2	
12-51	4	27,8	50	2,0	32,0		58		0,2	
13-00	5	28,0	52	1,9		26,9		47		0,3
13-05	9	28,2	51	1,9		26,2		47		0,4
13-11	26	28,0	52	2,0		25,4		48		0,4
13-16	28	28,0	51	1,8		25,2		49		0,3
13-20	22	28,0	50	1,8		24,8		49		0,5
13-24	17	28,2	50	1,6		24,9		48		0,3
13-28	13	28,2	50	1,6		24,8		44		0,4
13-33	15	28,6	49	1,6		24,5		44		0,4
13-38	13	28,6	49	1,5		24,5		43		0,5
13-40	5	28,7	49	1,5		24,3		43		0,4

Таблиця Ж.2

Протокол експериментальних досліджень автобуса МАЗ -206 з кліматичною установкою – кондиціонером 29 липня 2019 р.

Час дослідження	Кількість пасажирів в салоні	Параметри повітря зовні автобуса			Мікроклімат в салоні автобуса					
		Температура, t_3 , °C	Відносна вологість, φ_3 , %	Швидкість вітру, v_3 , м/с	Температура, t_c , °C		Відносна вологість, φ_c , %		Швидкість повітря, v_c , м/с	
					При вимкненому кондиціонері	При увімкненому кондиціонері	При вимкненому кондиціонері	При увімкненому кондиціонері	При вимкненому кондиціонері	При увімкненому кондиціонері
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
12-10	12	28,1	62	0,9	29,6		61		0,3	
12-16	16	28,1	60	1,0	30,9		63		0,3	
12-21	31	28,3	60	1,0	32,9		64		0,2	
12-25	34	28,3	58	0,8	33,8		64		0,2	
12-30	36	28,4	58	0,8	34,5		66		0,2	
12-36	40	28,4	59	0,7	35,4		67		0,1	
12-41	38	28,4	58	0,7	36,3		67		0,1	
12-47	26	28,5	59	0,8	35,1		65		0,2	
12-53	14	28,5	60	0,7	34,0		64		0,3	
13-00	15	28,5	59	1,0		26,2		45		0,3
13-05	20	28,5	59	1,0		26,0		45		0,4
13-11	28	28,6	59	0,9		25,1		47		0,4
13-16	36	28,6	59	1,0		25,0		48		0,4
13-20	39	28,6	58	0,9		24,8		49		0,3
13-24	44	28,7	58	0,9		24,9		50		0,3
13-28	46	28,7	58	1,0		24,5		50		0,4
13-33	29	28,9	57	1,1		24,6		49		0,5
13-38	25	28,9	57	1,1		24,3		49		0,5
13-40	10	30,0	57	1,1		24,2		48		0,6

Таблиця Ж.3

Протокол експериментальних досліджень автобуса МАЗ -206 з кліматичною установкою - кондиціонером

Дата	Ефективна температура навколишнього середовища повітря, °С	Відносна вологість зовнішнього середовища, %	Швидкість навколишнього повітря, м/с	Температура в салоні автобуса, °С		Потужність ДВЗ, кВт	Витрата палива при відключеному кондиціонері, л/год	Витрата палива при включеному кондиціонером, л/год
				при відключеному кондиціонері	з включеним кондиціонером			
25.05.2019	20	72	2,8		25,7	160		2,2
28.05.2019	22	50	3,5	25,5		160	1,1	
20.06.2019	27	52	4,5		24,8	160		2,1
24.06.2019	24	65	3,5		24,5	160		2,2
24.06.2019	23	56	4,0	27,8		160	1,1	
01.07.2019	21	66	2,8	26,2		160	1,3	
01.07.2019	26	42	4,1		25,4	160		2,3
19.07.2019	23	45	3,5		25,2	160		2,2
23.07.2019	26	62	1,8	28,7		160	1,2	
23.07.2019	22	41	4,8		23,6	160		2,5
27.07.2019	27	62	2,4		25,1	160		2,4
30.07.2019	26	61	1,3		24,7	160		2,2
07.08.2019	28	49	4,2		24,6	160		2,4
08.08.2019	26	59	5,3	28,9		160	1,3	
10.08.2019	25	42	4,3		24,1	160		2,1
17.08.2019	20	50	4,7		23,2	160		2,0
17.08.2019	20	53	4,2	23,5		160	1,2	
22.08.2019	25	50	5,4		24,8	160	1,2	
11.09.2019	26	32	2,8		24,2	160		2,3
12.09.2019	27	30	2,1		25,3	160		2,1

Таблиця 3.1

**Частоти перешкод та технічна швидкість на автобусних маршрутах
м. Житомира**

№ маршруту	Індикатори перешкод на маршруті, шт./км								Технічна швидкість, км/год
	Планові зупинки	Світлофорні об'єкти	Нерегульовані пішохідні переходи	Стоянки транспорту, до 100м	Підйоми	Нерегульовані перехрестя	Повороти	Залізничні переїзди	
1 туди	2,50	2,04	1,48	0,74	0,37	0,74	1,67		21,90
1 назад	3,00	2,10	1,80	0,90	0,40	0,80	1,30		18,75
3 туди	1,84	1,92	1,17	0,39	0,16	1,28	0,72		21,79
3 назад	2,10	2,17	1,12	0,41	0,16	1,01	0,78		20,95
4 туди	2,39	1,48	1,48	0,56	0,21	0,85	1,41	0,14	24,20
4 назад	2,58	1,52	1,74	0,91	0,15	0,76	1,44	0,15	21,00
5 туди	2,50	1,94	2,22	0,74	0,19	1,11	1,76		21,57
5 назад	2,43	2,00	1,65	0,78	0,17	1,22	1,65		21,37
8 туди	1,56	1,00	1,31	0,56	0,06	1,06	0,75	0,06	25,10
8 назад	1,79	1,11	1,58	0,74	0,11	1,00	0,79		24,94
10 туди	2,15	1,53	0,61	0,43	0,06	0,49	1,29	0,06	26,90
10 назад	2,09	1,47	0,61	0,37	0,06	0,49	1,23	0,06	27,70
11 туди	2,14	1,76	1,10	0,49	0,16	0,82	1,04		24,13
11 назад	2,20	1,96	1,31	0,60	0,12	0,83	0,71		22,70
14 туди	2,04	1,48	1,76	0,65	0,09	0,93	1,67		21,20
14 назад	1,94	1,48	1,39	0,65	0,09	0,83	1,67		21,60
19 туди	2,00	1,43	1,09	0,29	0,11	0,74	1,09	0,11	25,10
19 назад	2,00	1,43	1,09	0,34	0,11	0,74	1,03	0,11	25,10
23 туди	1,88	1,49	1,36	0,45	0,06	0,97	0,97	0,13	21,90
23 назад	1,88	1,49	1,36	0,39	0,13	0,91	0,84	0,13	20,41
25 туди	2,16	1,47	0,95	0,34	0,17	0,60	0,69		23,33
25 назад	2,22	1,45	0,94	0,43	0,09	0,60	0,77		24,00
26 туди	2,09	1,79	0,75	0,60	0,15	0,82	0,75		21,60
26 назад	2,31	1,79	0,75	0,67	0,15	0,82	0,82		22,17
30 туди	2,14	1,37	1,37	0,38	0,08	0,84	1,60		24,50
30 назад	2,67	1,72	1,55	0,43	0,17	0,95	1,90		24,00
33 туди	2,68	1,65	1,65	0,24	0,08	1,34	0,87		21,10
33 назад	2,60	1,73	1,65	0,24	0,00	1,34	0,71		21,10
37 туди	2,23	2,04	1,75	0,49	0,10	1,26	1,26		21,80
37 назад	2,30	2,10	1,70	0,50	0,10	1,30	1,50		20,00
44 туди	1,72	1,50	1,11	0,50	0,06	0,78	0,72		25,10
44 назад	1,72	1,56	1,11	0,50	0,06	0,83	0,78		24,54
58 туди	2,29	1,69	2,29	0,34	0,08	1,61	1,61		20,21
58 назад	2,16	1,84	2,08	0,40	0,24	1,60	1,76		21,60

Результати розрахунків графіку регресії моделей
(залежність часу охолодження салону автобуса від температури навколишнього
повітря на кінцевій зупинці)

Дані по яким побудовано графік з Програми (зв'язок є з файлом графіки.docx):

Y :=

	1
1	4.3
2	5.8
3	7.8
4	8.2
5	7.8
6	7.7
7	7.9
8	8.2
9	
10	
11	
12	
13	

X :=

	1
1	18
2	19
3	20
4	22
5	24
6	27.7
7	30
8	32
9	
10	
11	
12	
13	

Y' :=

	1
1	8.2
2	8.6
3	8.1
4	6.1
5	4.5
6	2
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	

X' :=

	1
1	32
2	30
3	27.7
4	24
5	22
6	20
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	

1.Перевірка гіпотези про нормальний характер розподілу залишків
моделі за параметрами σ_a і σ_e .

$$\sigma_a = 0.8712763$$

$$\sigma_e = 0.30360659$$

моделі $\sigma'_a = 1.07361848$

$\sigma'_e = 0.93186309$

моделі) статистичним даним

визначається за рівнем значимості μ (%)

2.Адекватність
(істотність лінійної

$$\mu = 0.4541599$$

$$\mu' = 4.08024105 \times 10^{-3}$$

3. Рівні значимості розрахункових коефіцієнтів моделі (%)

$$\alpha^T = (1.33085838 \quad 1.41300309 \quad 1.44253231 \quad 1.59407246)$$

$$\alpha'^T = (0.02282962 \quad 0.02324874 \quad 0.03535649)$$

4. Середні значення коефіцієнтів кореляції R і детермінації R^2

$$R = 0.97486824 \quad R^2 = 0.9503681 \quad R'^2 = 0.9988148$$

5. Точкові значення прогнозу

$$Y_p = 8.04578562 \quad Y'_p = 6.88955687$$

6. Прогнозний інтервал $d\varepsilon = (Y_p - \varepsilon; Y_p + \varepsilon)$ для індивідуального значення регресанда (результуючого показника)

$$d\varepsilon = (5.77704803 \quad 10.3145232)$$

$$\text{середня_квадратична_помилка_моделі}(\%) = 3.9952$$

$$\text{середня_помилка_апроксимації}(\%) = 3.1781$$

$$f(x) := \begin{pmatrix} 1 & x^{0.3} & x^{0.4} & x^{0.9} \end{pmatrix} \quad f'(x) := \begin{pmatrix} 1 & x^1 & x^2 \end{pmatrix}$$

Пункт 1. Малоінформативний (показники в нормі);

Пункт 2. Показники відповідності моделі статистичним даним. Значення їх відповідні нормі – менше 5%;

Пункт 3. Показники для оцінки коефіцієнтів рівняння моделі, всі значення менші 5%, коефіцієнти рівняння характеризують незміщеність коефіцієнтів рівняння моделі;

Пункт 4. Коефіцієнти множинні кореляції та детермінації, значення наближені до 1, це характеризує високий рівень залежності між показниками моделі;

Пункт 5. Розрахунок прогнозних значень по часу охолодження за двома моделями;

Пункт 6. Прогнозні інтервали для визначених в пункті 5 прогнозних значень. Середні темпи приросту по показнику по двом моделям (показники ці малоінформативні).

Розрахункові значення результатів побудови багатofакторної лінійної моделі витрат палива автобусу під часу руху за маршрутом (за допомогою програми Mathcad)

Y	X_1	X_2	X_3
36.8	9	19	738
36.1	8	20	624
37.1	8	21	706
36.4	9	21	646
36.9	10	23	728
36.8	9	24	648
36.2	10	24	612
36.6	10	25	644
38.2	7	26	748
37.2	8	26	670
37	8	27	650
36.7	10	27	646
36.9	10	28	721
36.5	9	28	614
36.6	10	29	600
36.8	10	30	612
38.1	8	30	746

Результати

1. Розрахункові оцінки коефіцієнтів рівняння моделі:

$$\beta = \begin{bmatrix} 32.017 \\ -0.233 \\ 0.088 \\ 0.007 \end{bmatrix}$$

2. Коефіцієнти кореляції та детермінації:

$$R=0.958$$

$$R^2=0.918$$

3. Рівень значимості F-розподілу (показник адекватності моделі):

$$\mu=2.52 \cdot 10^{-7}$$

4. Рівень значимості коефіцієнтів рівняння моделі:

$$\alpha = \begin{bmatrix} 5.174 \cdot 10^{-14} \\ 3.674 \cdot 10^{-4} \\ 1.549 \cdot 10^{-5} \\ 3.976 \cdot 10^{-6} \end{bmatrix}$$

5. Довірчі інтервали коефіцієнтів рівняння моделі:

6. $d\beta = \begin{bmatrix} 29.955 & 34.08 \\ -0.339 & -0.128 \\ 0.059 & 0.116 \\ 0.005 & 0.009 \end{bmatrix}$ Точкове значення прогнозу:

$$Y_{pr} = \begin{bmatrix} 36.104 \\ 36.191 \\ 36.279 \\ 36.366 \\ 36.454 \\ 36.541 \\ 36.629 \\ 36.717 \\ 36.804 \\ 36.892 \\ 36.979 \\ 37.067 \\ 37.154 \\ 37.242 \end{bmatrix}$$

7. Прогнозний інтервал для середнього значення результативного показника:

$$d\omega = \begin{bmatrix} 35.775 & 36.432 \\ 35.894 & 36.488 \\ 36.01 & 36.548 \\ 36.123 & 36.61 \\ 36.232 & 36.676 \\ 36.335 & 36.748 \\ 36.431 & 36.827 \\ 36.52 & 36.913 \\ 36.601 & 37.007 \\ 36.675 & 37.109 \\ 36.743 & 37.216 \\ 36.806 & 37.328 \\ 36.866 & 37.443 \\ 36.923 & 37.561 \end{bmatrix}$$

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті в наукових фахових виданнях України:

1. Кравченко О.П., Кривошапов С.І., Чуйко С.П. Вдосконалення алгоритму нормування витрати палива міським автобусом обладнаним кондиціонером. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. Луцьк : ЛНТУ, 2019. № 2 (13). С. 76–83. (*Категорія Б. Входить до переліку міжнародної наукометричної бази даних Google Scholar*).

2. Мельничук С.В., Чуйко С.П., Рафальський О.І. Підвищення паливної економічності та екологічних показників міського автобуса шляхом оптимізації параметрів і режимів руху, постановка проблеми. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. Луцьк : ЛНТУ, 2017. № 1 (8). С. 84–93. (*Категорія Б. Входить до переліку міжнародної наукометричної бази даних Google Scholar*).

3. Маяк М.М., Мельничук С.В., Головня Р.М., Чуйко С.П. До питання визначення технічної швидкості міського маршрутного автобуса в залежності від умов експлуатації. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. Луцьк : ЛНТУ, 2018. № 1 (10). С. 58–65. (*Категорія Б. Входить до переліку міжнародної наукометричної бази даних Google Scholar*).

4. Чуйко С.П. Визначення складності автобусного маршруту за умовами експлуатації. *Вісник ЖДТУ*. Житомир : ЖДТУ, 2018. № 2 (82). С. 160–165. (*Входить до переліку міжнародної наукометричної бази даних WorldCat; BASE; eLibrary, Google Scholar*).

5. Кравченко О.П., Чуйко С.П. Дослідження теплового балансу салону автобуса у теплий період року. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. Сєверодонецьк : Вид-во СХУ ім. Володимира Даля, 2019. № 3 (251). С. 101–106. (*Журнал включено до міжнародної наукометричної бази даних Index Copernicus International, Google Scholar*).

Публікації у наукових періодичних виданнях іноземних держав:

6. Чуйко С.П., Кравченко О.П. Критерии тепловой нагрузки кабины водителя автобуса МАЗ-206 в летний период эксплуатации. *Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe (East European Scientific Journal)*. Polska, Warszawa, 2020. № 10 (62). С. 62–67. (Входить до переліку міжнародної наукометричної бази даних Index Copernicus, Google Scholar, eLibrary, International Scientific Indexing, Slide Share, Cosmos Impact Factor).

7. Чуйко С. Стохастическая зависимость комфорта салона городского автобуса для нормирования расхода топлива. *Slovak international scientific journal*. 2020. Vol. 1. No. 48. pp. 50–54. (Входить до переліку міжнародної наукометричної бази даних Index Copernicus, Google Scholar, International Scientific Indexing, Global Impact Factor, Ijifactor Indexing, Scientific Indexing Services, Open Academic Journals Index).

8. Kravchenko O., Hrabar I., Gerlici J., Chuiko S., Kravchenko K. Forming comfortable microclimate in the bus compartment via determining the heat loss. Communications. *Scientific Letters of the University of Zilina*. 2021. Vol. 23 (2), P. B150-B157. DOI: <https://doi.org/10.26552/com.C.2021.2.B150-B157>. (Входить до переліку міжнародної наукометричної бази даних Scopus).

Наукові праці апробаційного характеру:

9. Чуйко С.П. Оцінка факторів, що впливають на витрату палива міських маршрутних автобусів в умовах експлуатації. *Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту* : матеріали X Міжнарод. наук.-практ. конф. 23–25 жовтня., 2017 р. Вінниця : ВНТУ, 2017. С. 159–161.

10. Кравченко О.П., Чуйко С.П. Щодо факторів, які впливають на зниження швидкісних режимів руху міського автобусу в умовах роботи на постійному маршруті. *LXXIV Наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету* : тези доповідей. Київ : НТУ, 2018. С. 257.

11. Чуйко С.П. Аналіз факторів впливу умов експлуатації міського маршрутного автобусу на його технічну швидкість. *5th International conference Science and society*. Canada, Hamilton, 15th June 2018. С. 1459–1477.

12. Кравченко О.П., Чуйко С.П. Аналіз швидкісних якостей і паливна економічність автобусу при циклічних режимах руху. *Новітні шляхи створення, експлуатації, ремонту і сервісу автомобілів* : зб. наук. праць IV Всеукр. наук.-практ. конф., 20–22 верес. 2018 р. Миколаїв-Коблеве. С. 35–37.

13. Кравченко О.П., Чуйко С.П. Особливості оцінки витрати палива міськими маршрутними автобусами оснащеними «Клімат-контролем». *Новітні технології розвитку автомобільного транспорту* : наук. праці Міжнарод. наук.-практич. конф., 16–19 жовт. 2018 р. Харків : ХНАДУ. С. 124–126.

14. Кравченко О.П., Чуйко С.П. Вплив експлуатаційних факторів на витрати палива міським автобусом оснащеним установкою «Клімат-контроль». *Сучасні тенденції розвитку машинобудування та транспорту* : VI Міжнарод. наук.-тех. конф., 14–16 листоп. 2018 р. Кременчуцький НУ ім. М.Остроградського. С. 63–68.

15. Кравченко О.П., Чуйко С.П. Визначення та аналіз факторів що впливають на зміну витрати палива міського автобуса оснащеного кліматичною установкою. *LXXV Наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету* : тези доповідей. Київ, НТУ. 2019. С. 92.

16. Чуйко С.П., Кравченко О.П. Фактори впливу на мікроклімат пасажирського салону міського маршрутного автобусу. *Тези Всеукр. наук.-практич. on-line конф. здобувачів вищої освіти і молодих учених, присвяченої Дню науки*, 15–17 трав. 2019 р. Житомир : ЖДТУ. С. 239.

17. Кравченко О.П., Чуйко С.П. Дослідження параметрів повітря в салоні міського автобусу. *Транспорт і логістика: проблеми та рішення* : зб. наук. праць за м-ми IX Міжнарод. наук.-практич. конф., 22–24 трав. 2019 р. Северодонецьк–Одеса–Вільнюс–Київ. Східноукраїнський національний університет ім. В.Даля, Одеський національний морський університет. Одеса : КУПРІЄНКО СВ, 2019. С. 154–156.

18. Кравченко О., Чуйко С. Визначення факторів теплових навантажень салону міського автобусу. *Перспективи розвитку машинобудування та*

транспорту-2019 : зб. тез I Міжнарод. наук.-тех. конф., 13–15 трав. 2019 р. Вінниця : ВНТУ, 2019. С. 168–170.

19. Кравченко О., Чуйко С. Визначення конвективного теплообміну у салоні міського автобуса на зупинках при відкритих дверях. *Інноваційні технології розвитку машинобудування та ефективного функціонування транспортних систем* : зб. тез I Міжнарод. наук.-тех. інтернет-конф., 21–23 трав. 2019 р. Рівне : НУВГП, 2019. С. 150–151.

20. Чуйко С.П., Кравченко О.П. Удосконалення системи управління витратою палива міськими маршрутними автобусами, обладнаними кондиціонером. «Сучасні технології на автомобільному транспорті та машинобудуванні» : наукові праці Міжнародної науко.-практ. конф., 15–18 жовт. Харків : ХНАДУ, 2019. С. 158–160.

21. Кравченко О.П., Чуйко С.П. Визначення системи управління витратою палива для пасажирських підприємств, які експлуатують автобуси, обладнані кондиціонерами. «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту» : матеріали XII Міжнародної наук.-практ. конф., 21–23 жовт. 2019 р. Вінниця : ВНТУ, 2019. С.100–102.

22. Чуйко С.П., Ткаченко Г.М. Тепловий режим салону міського автобуса в умовах літньої експлуатації. *Тези Всеукр. наук.-практич. on-line конф. здобувачів вищої освіти і молодих учених, присвяч. Дню науки м. Житомир*, 11–15 трав. 2020 р. Житомир : Державний університет «Житомирська політехніка, 2020. С. 105.

23. Кравченко О.П., Чуйко С.П., Кривошапов С.І. Удосконалення індивідуальних маршрутних норм витрати палива міським автобусом, оснащеним кондиціонером. *LXXVI Наук. конф. проф.-викл. складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету* : тези доповідей. Київ : НТУ, 2020. С .63.

24. Кравченко О.П., Чуйко С.П. Стохастична залежність комфорту салону міського автобуса у транспортному процесі. *Матеріали VI Міжнар. наук.-*

технічної конф. *«Науково-прикладні аспекти автомобільної і транспортно-дорожньої галузей»*, 26–27 черв. 2020 р. Луцьк : ЛНТУ, 2020. С.78–82.

25. Чуйко С.П. Критерії управління витратою палива міських автобусів із застосуванням сучасних інформаційних технологій. *«Сучасні тенденції розвитку автомобільного транспорту та галузевого машинобудування»* : наукові праці Міжнародної наук.-практ. конф. присв. 90-річчю Харківського автомобільно-дорожнього університету та 90-річчю автомобільного факультету, 16–18 вер. 2020 р. Харків : ХНАДУ, 2020. С. 143–144.

26. Кравченко О.П., Чуйко С.П. Аналіз комфорту в салоні міського автобусу щодо нормування витрати палива. *«Сучасні технології на перспективи розвитку автомобільного транспорту»* : тези XIII міжнар. наук.-практ. конф., присвячена сторіччю Державного університету «Житомирська політехніка», 26–28 жовт. 2020 р. Житомир. С. 44–45.

Додатково відображають результати дисертації:

27. Кравченко О.П., Чуйко С.П. Еко-водіння-алгоритм паливної економічності та безпеки перевезень міським маршрутним автобусом. *«Безпека на транспорті – основа ефективної інфраструктури: проблеми та перспективи»* : наукові праці IV Міжнародної наук.-практ. конф., 26–27 листоп. 2019 р. Харків : ХНАДУ, 2019. С. 42–44.

28. Чуйко С.П., Кравченко О.П. Інтегрований метод оцінки екологічної направленості на витрату палива міським автобусом з системою нейтралізації відпрацьованих газів. *«Підвищення надійності машин і обладнання»* : матеріали Міжнародної наук.-практ. конф., 15–17 квіт. 2020 р. Кропивницький : ЦНТУ, 2020. С. 187–189.

29. Кравченко О.П., Чуйко С.П. Вдосконалення руху маршрутного автобуса у міських транспортних системах. *«Проблеми з транспортними потоками і напрямки їх розв'язання»* : тези III Всеукраїнської наук.-теорет. конф., 28–30 бер. 2019 р. Львів : НУ «Львівська політехніка», 2019. С. 7–9.

30. Чуйко С.П. Ключові фактори, які впливають на транспортну привабливість автобусів міських маршрутів. *«Актуальні питання підготовки фахівців*

транспортної галузі» : матеріали V наук.-практ. конф., 19 листоп. 2020 р. Одеса : ОАДФК ДУ «Одеська політехніка», 2020. С. 30–32

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Директор ДП «ДержавтотрансНДІпроект»,
доктор технічних наук, професор

В.М. Горицький

« 23 » 02. 2021 р.

Акт впровадження**результатів дисертаційної роботи Чуйка С.П. на тему «Зменшення енергоємності автобусів категорії МЗ на міських маршрутах»**

Передані до ДП «ДержавтотрансНДІпроект» результати дисертаційної роботи Сергія Петровича Чуйка на тему «Зменшення енергоємності автобусів категорії МЗ на міських маршрутах», зокрема, опубліковані у статтях Кравченко О.П., Чуйко С.П. Дослідження теплового балансу салону автобуса у теплий період (Вісник східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля № 3 (251) 2019), Чуйко С.П., Кравченко О.П. Критерии тепловой нагрузки кабины водителя автобуса МАЗ-206 в летний период эксплуатации (Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe (East European Scientific Journal) #10(62), 2020), Chuiko S. Stochastic dependence of the comfort in the passenger compartment of public transport bus for the fuel consumption rate (Slovak international scientific journal, №48, 2020 vol.1), Кравченко О.П., Кривошапов С.І., Чуйко С.П. Вдосконалення алгоритму нормування витрати палива міським автобусом обладнаним кондиціонером (Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. Науковий журнал. – Луцьк: Луцький НТУ, 2019.– №2(13)), Мельничук С.В., Чуйко С.П., Рафальський О.І. Підвищення паливної економічності та екологічних показників міського автобуса шляхом оптимізації параметрів і режимів руху. Постановка проблеми (Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. Науковий журнал. – Луцьк: Луцький НТУ, 2017.– №1(8)), впроваджено Науково-виробничою лабораторією енергетики та екології транспорту ДП «ДержавтотрансНДІпроект» у роботах з нормування в Україні експлуатаційних витрат моторних палив міськими автобусами.

В.о. заступника директора
з наукової роботи, к.т.н., доцент

О.А. Клименко

Завідувач науково-виробничої
лабораторії енергетики
та екології транспорту, к.т.н.

К.С. Колобов



УКРАЇНА
КОМУНАЛЬНЕ ПІДПРИЄМСТВО
«ЖИТОМИРСЬКЕ ТРАМВАЙНО-ТРОЛЕЙБУСНЕ УПРАВЛІННЯ»
ЖИТОМИРСЬКОЇ МІСЬКОЇ РАДИ

вул. Вітрука, 11, м. Житомир, 10025

Код ЄДРПОУ 03328310, тел./факс (0412) 33-40-32, E-mail: zt-tty-sekr@ukr.net

22.02.2021 № 01/152

ДОВІДКА

про використання в автобусному парку КП «Житомирське трамвайно-тролейбусного управління» Житомирської міської ради результатів дисертаційної роботи Чуйка Сергія Петровича на тему «Зменшення енергоємності автобусів категорії МЗ на міських маршрутах»

Отримані Чуйком Сергієм Петровичем результати теоретичних і експериментальних досліджень по кандидатській дисертації розглянуті і використовуються в практичній діяльності комунального підприємства «Житомирське трамвайно-тролейбусного управління» Житомирської міської ради при розробці маршрутної норми витрати палива автобусами МАЗ-206086, які оснащенні кондиціонером.

Визначення оптимальних рішень по зниженню витрати палива автобусів з кондиціонером, є важливим практичним направлення пасажирських перевізників при організації перевізного процесу. З цією метою запроваджено новий підхід до технології аналізу даних GPS моніторингу роботи автобусів на лінії в частині оперативного управління витратою палива, згідно звітів ТОВ «Дозор Україна», забезпечення енергозбереження при виконанні транспортного процесу за рахунок взаємозв'язку температурного середовища в салоні і кількістю пасажирів. Запровадження у теплий період експлуатації процесу попереднього охолодження салону кондиціонером перед виконанням рейсу дає позитивні результати по зниженню енергоємності автобусів.

Начальник управління



А. В. Нечуйвітер

ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ
«АВТОГАЗСЕРВІС МВС»

10007 м. Житомир вул. Саєнко 21

р/р UA89325365000002600001902163 АТ „Кредобанк” в м. Житомирі, МФО 325365
код 20412746 , свідоцтво № 100225364, ППН № 204127406254
тел (0412) 427928, 427902

№ 12 від 23 грудня 2020 року

ДОВІДКА

про використання результатів дисертаційної роботи аспіранта кафедри
автомобілів і транспортних технологій Державного університету
«Житомирська політехніка» Чуйка С.П.

Проблема енергозбереження є глобальною, транспортні процеси – одні
із самих енергоємних, через це питання про скорочення енергоємності при
перевезеннях пасажирів автомобільним транспортом є актуальним.

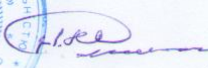
Зазначені розробки у дисертації Чуйка С.П. дозволили ціленаправити
роботу підприємства по технічному обслуговуванню автобусів і його систем
на проведення додаткових робіт по системам вентиляції і кондиціонування,
що дало свої наслідки по зниженню енергоємності автобусів при перевізному
процесі у літній період експлуатації.

Оптимізація параметрів технічних обслуговувань кондиціонера,
поточних кузовних робіт на автобусах, саме той додатковий резерв
зменшення теплонадходження в салон автобуса за рахунок пофарбування
кузовних складників у світлі кольори, заміна ущільнювальних елементів
салону на більш якісні, встановлення прозорих елементів кузова із
теплозахисними властивостями. Своєчасне і якісне обслуговування елементів
кондиціонера сприяє зменшенню витрати палива при роботі на маршруті.

ДИРЕКТОР

ТОВ "АВТОГАЗСЕРВІС МВС"



 М.М.МЕЛЬНИЧЕНКО

Продовження додатка Н

ЗАТВЕРДЖУЮ

Перший проректор Державного університету
«Житомирська політехніка»

д.т.н., проф. О.В. Олійник

« 05 » _____ 2021 р.

АКТ

про провадження результатів дисертаційної роботи

*Чуйка Сергія Петровича*на тему «ЗМЕНШЕННЯ ЕНЕРГОСМНОСТІ АВТОБУСІВ КАТЕГОРІЇ
МЗ НА МІСЬКИХ МАРШРУТАХ»
у навчальний процес

Комісія у складі завідувача кафедрою автомобілів і транспортних технологій к.т.н., Бегерського Д.Б, д.т.н., проф. Кравченка О.П., к.т.н., доц. Ільченко А.В, к.т.н., Шумляківського В.П. склали цей акт про те, що у Державному університеті «Житомирська політехніка» результати дослідження по кандидатській дисертації Чуйка С.П. на тему «Зменшення енергоємності автобусів категорії МЗ на міських маршрутах» впроваджені у навчальний процес при підготовці бакалаврів за спеціальністю 274 «Автомобільний транспорт» при викладанні дисципліни «Технічна експлуатація автомобілів», «Технологічне проектування АТП і СТО та сервіс автомобілів», «Організація автомобільних перевезень», «Моделювання технологічних процесів підприємств автомобільного транспорту».

Впровадження матеріалів дисертаційної роботи Чуйка С.П., в навчальний процес, дозволяє поглибити знання в підходах енергозбереження при транспортних процесах і ефективного технічного супроводу з використанням GPS моніторингу витрати палива автобусами міських маршрутів.

Зав. кафедрою АіТТ к.т.н.,

Професор кафедри АіТТ, д.т.н.

Доцент кафедри Аі ТТ , к.т.н.

Доцент кафедри Аі ТТ , к.т.н.

Д.Б. Бегерський

О.П. Кравченко

А.В. Ільченко

В.П. Шумляківський



**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВІДОКРЕМЛЕНИЙ СТРУКТУРНИЙ ПІДРОЗДІЛ
«ЖИТОМИРСЬКИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНІЙ ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ
НАЦІОНАЛЬНОГО ТРАНСПОРТНОГО УНІВЕРСИТЕТУ»**

10014, м. Житомир, вул. Велика Бердичівська, 2. Телефони: (0412) 47-18-10, 47-19-86,
тел/факс (0412) 47-18-10, e-mail zadfk_ntu@ukr.net.

28.12.2020 № 2/155
на № _____ від _____

ДОВІДКА

про впровадження результатів дослідження Чуйка Сергія Петровича
в освітній процес Відокремленого структурного підрозділу «Житомирський
автомобільно- дорожній фаховий коледж Національного транспортного
університету»

Результати дисертаційної роботи Чуйка С.П. «Зменшення енергоємності автобусів категорії МЗ на міських маршрутах» впроваджені в освітній процес Відокремленого структурного підрозділу «Житомирський автомобільно-дорожній фаховий коледж Національного транспортного університету» при вивченні дисципліни «Технічна експлуатація автомобілів», «Перевезення», «Організація контролю за транспортним процесом» для студентів 3-х та 4-х курсів.

Теоретична цінність дисертаційної роботи полягає у поглибленні знань майбутніх фахівців автомобільної галузі по зниженню енергоємності автобусів при пасажирських міських перевезень, що забезпечується найбільш раціональним використання паливних ресурсів.

Теоретичні і практичні напрацювання в дисертаційній роботі С.П. Чуйка є оптимальним рішенням по зниженню витрат палива автобусами з кондиціонером на міських маршрутах, важливим науково-виробничим направленням і слугують спрямуванням на європейський підхід до вирішення глобальних транспортних проблем.

Директор



О.В. Ніколенко