

**С. О. СЕМЕНОВ**

кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри автомобільного транспорту  
Приазовський державний технічний університет  
ORCID: 0000-0002-5236-4557

**А. В. САРАХМАН**

магістрант  
Приазовський державний технічний університет  
ORCID: 0009-0005-7935-4251

## АНАЛІЗ ВПЛИВУ КЛІМАТИЧНИХ УМОВ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ ТА РІВЕНЬ ВИКИДІВ РЕФРИЖЕРАТОРНИХ УСТАНОВОК ВЕЛИКОТОННАЖНОГО ТРАНСПОРТУ

*Стаття присвячена вивченню впливу кліматичних умов на особливості експлуатації автомобільних транспортних засобів, які призначені для транспортування швидкопсувних та інших категорій вантажів, з урахуванням роботи рефрижераторних установок. Доставка вантажів даним видом транспорту обумовлена збільшенням його присутності на транспортному ринку Європи та багатьох частин світу. Крім цього, проблеми з авіасполученням та скорочення об'ємів перевезень водними видами, відсутність технічної сумісності вітчизняних залізниць із залізницями країн Євросоюзу дають перевагу доставці вантажів у міжнародному сполученні саме з використанням автомобільного транспорту.*

*Основну увагу при виборі відповідних автотранспортних засобів приділено напівприцепам з рефрижераторним обладнанням з функцією підтримки температурного режиму. З'ясовано, що вплив температури навколишнього середовища прямо впливає на ефективність роботи такого виду транспортного обладнання, постійне збільшення глобальної температури призводить до пропорційного збільшення рівня споживання палива і, як наслідок, впливу на екологію.*

*Вихідними даними для проведення дослідження є показники приладів рефрижераторних установок, вбудованих у бортові системи фіксації температури. Результати вимірювань зчитувались з транспортної одиниці, що виконувала перевезення за заданим маршрутом у певні періоди часу. Зазначено, що всі перевезення виконувались автомобілями з однаковим устаткуванням. Маршрут перевезення був однаковим для всіх поїздок і не включав зміну кліматичних зон чи різкий перепад висоти над рівнем моря, що дозволяло забезпечити найбільшу однорідність даних. Це знижувало можливі похибки, пов'язані з зовнішніми факторами, такими як різка зміна погодних умов або атмосферний тиск. Розглянуто широкий спектр температурних умов навколишнього середовища, від негативних до позитивних значень. Для кожного рейсу фіксували середньодобову температуру на основі показників.*

*У результаті проведеного дослідження було виявлено, що зміна температури навколишнього середовища безпосередньо впливає на ефективність роботи рефрижераторних установок великотоннажного транспорту.*

**Ключові слова:** автотранспортний засіб, аналіз, перевезення, рефрижераторна установка, температура, технічні характеристики.

**S. O. SEMENOV**

Candidate of Technical Sciences,  
Associate Professor at the Department of Road Transport  
Pryazovsky State Technical University  
ORCID: 0000-0002-5236-4557

**A. V. SARAKHMAN**

Master  
Pryazovsky State Technical University  
ORCID: 0009-0005-7935-4251

## ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF CLIMATIC CONDITIONS ON THE OPERATING EFFICIENCY AND EMISSION VALUES OF REFRIGERATION UNITS IN LARGE-CAPACITY TRANSPORT

*The article deals with the study of the influence of climatic conditions on the operation of motor vehicles intended for the transport of perishable and other goods, taking into account the operation of refrigeration systems. The delivery of goods using this type of transport is due to its increasing presence on the transport market in Europe and many parts of the world. In addition, the problems in air transport and the decline in water transport, as well as the lack of technical*

compatibility between the domestic railways and the railways of the countries of the European Union, mean that the delivery of goods in international transport by road is favoured.

The main focus in the selection of suitable vehicles was on semi-trailers with cooling systems that are responsible for maintaining the temperature regime. It was found that the influence of the ambient temperature has a direct impact on the efficiency of this type of transport. The steady rise in global temperature leads to a proportional increase in fuel consumption and thus environmental pollution.

The initial data for the study are the indicators of refrigeration units that are installed in on-board temperature recording systems. The measured values originate from a transport unit that has carried out transports on a specific route at specific times. It should be noted that all transports were carried out by vehicles with the same equipment. The transport route was the same for all journeys and did not include a change of climate zones or a large difference in altitude above sea level, so that the greatest possible uniformity of the data was ensured. This reduced possible errors due to external factors, such as a sharp change in weather conditions or air pressure. A wide range of ambient temperatures was taken into account, from negative to positive values. For each journey, the average daily temperature was recorded using the indicators.

As a result of the study, it was found that changes in ambient temperature have a direct influence on the efficiency of refrigeration units in heavy commercial vehicles.

**Key words:** vehicle, analysis, transportation, refrigeration unit, temperature, technical data.

### Постановка проблеми

Відомо, що транспорт – найважливіша інфраструктурна галузь народного господарства будь-якої держави, яка забезпечує виробничі й невиробничі потреби виробництв і населення в усіх видах перевезень та переміщень. Швидке та неспинне економічне та соціальне зростання життя сучасних країн призводить до збільшення популяції планети, що в свою чергу призводить до все більшої необхідності забезпечення надійних і постійних вантажопотоків між державами. Особливу увагу варто звернути на автотранспорт, що останнім часом тільки збільшує свою присутність на транспортному ринку Європи та багатьох частин світу. Відомі події в державі змусили транспортний ринок адаптуватися до нових умов, що призвело до повного зупинення авіасполучення, значного скорочення морського сполучення, а відсутність інтегрованості між українською та Європейською залізничними інфраструктурами так і не дозволяє на повну потужність використовувати потенціал залізниці. Тому саме на автотранспорт покладена вагома роль на ринку вантажних перевезень.

Значний вплив транспорту на економічне зростання не залишив по собі тільки позитивні наслідки, оскільки обмеженість можливостей автотранспорту у транспортуванні великої кількості вантажів призвело до подрібнення партій у вантажопотоці, що в свою чергу змусило країни збільшувати об'єми автопарків, що як наслідок призвело до збільшення кількості автопоїздів на наших дорогах.

Відповідно до даних Міністерства інфраструктури України «Статистичні дані по галузі автомобільного транспорту» [1] в Україні зареєстровано понад 3873 одиниць великотоннажних Фургонів. І якщо обсяг перевезень з початку повномасштабного вторгнення все ж скоротився, проте доля перевезень, яка припадала на автотранспорт, набагато збільшилася і перетнула позначку в 40%.

Оскільки одним з головних стовпів транспортної логістики є твердження «Вантаж має бути доставлений у потрібній якості», найважливішою частиною транспортування будь-якого товару є підтримка якісних умов для його перевезення та забезпечення необхідних заходів для підтримки надійності вантажу до завершення транспортування. Особливу роль серед всіх вантажних перевезень займають перевезення, що потребують підтримки певного температурного режиму під час транспортування. Серед таких вантажів варто виокремити продукти харчування, свіжі овочі та фрукти, фармацевтичні товари, хімічні речовини та рослини. Для підтримки постійного температурного режиму напівпричепи обладнують спеціалізованими рефрижераторними пристроями, що у більшості випадків працюють на дизельному паливі і мають великий вуглецевий слід.

У дослідженні звернено увагу саме на особливості транспортування з використанням напівпричепів, що здійснюють доставку вантажу з підтриманням температурного режиму. Оскільки вплив температури навколишнього середовища прямо впливає на ефективність роботи такого виду транспортного обладнання, постійне збільшення глобальної температури призводить до пропорційного збільшення рівня споживання палива і, як наслідок, впливу на екологію.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Детальний огляд наукових праць, які відносяться до напрямку впливу рефрижераторного автотранспорту на клімат показав, що проблематику викидів саме рефрижераторного автотранспорту не було достатньо вивчено сучасною вітчизняною наукою. Тому дана проблема потребує більш глибокого дослідження.

Деякі сучасні вітчизняні науковці все ж вивчали напрямок впливу транспорту на екологію. Так, у роботі професора Лямзіна [2] було чітко виокремлено вплив автотранспорту на вуличну мережу індустріальних зон, що дозволяє зрозуміти особливості забруднення навколишнього середовища у великих містах та транспортних хабах. У роботі Запорожця [3] простежується всеохоплюючий вплив автотранспорту на екологію та навколишнє середовище України.

Більш глибоко питання впливу саме рефрижераторного автотранспорту вивчали іноземні науковці. Зокрема, дослідження Wu та ін. [4] зосереджено на оцінці вуглецевого сліду транспортних рефрижераторних систем, з урахуванням впливу холодоагентів, а також прямих і непрямих емісій протягом усього життєвого циклу систем. Cascini та ін. [5] порівняли вуглецевий слід двох транспортних холодильних систем із використанням трьох альтернативних холодоагентів за різних температурних режимів.

Дослідження Li [6] розглядало викиди парникових газів у контексті кліматичної ефективності життєвого циклу. У ньому враховано кліматичні умови, ефективність систем і витoki холодоагентів.

Yang та ін. [7] досліджували реальні викиди CO<sub>2</sub> і NO<sub>x</sub> із рефрижераторних фургонів, використовуючи миттєву модель викидів транспортного засобу.

Також важливо зазначити, що за даними Adekoma та ін. [8], рефрижераторні фури споживають до 15% світових викопних палив, причому 86% загальних викидів парникових газів у їхній діяльності пов'язані з використанням пального.

Таким чином, існуючі дослідження чітко свідчать про необхідність подальшого аналізу впливу рефрижераторного автотранспорту на екологію, зокрема у вітчизняному контексті.

#### Формулювання мети дослідження

Аналіз впливу викидів автотранспорту на навколишнє середовище є складним процесом, що враховує безліч факторів [9, 10]. Метою цієї статті є дослідження залежності між температурою навколишнього середовища та мотогодинами роботи рефрижераторної установки, яка перевозила однаковий вантаж з одними й тими ж вимогами до транспортування протягом різних сезонів року. Результати дослідження мотогодин роботи рефрижераторної установки будуть зіставлені з технічними характеристиками, зокрема рівнем витрати палива, для розрахунку впливу транспортної одиниці на навколишнє середовище.

Об'єктом дослідження є робота рефрижераторної установки Carrier Vector 1550 з ізотермічним напівприцепом Schmitz Cargobull за різних умов температури навколишнього середовища. Метою статті є визначення залежності між мотогодинами роботи рефрижераторної установки вантажівок і температурою навколишнього середовища.

Для отримання даних, безпосередньо відносних до предмета дослідження, авторами було проведено огляд наукової та технічної літератури з цієї теми.

#### Викладення основного матеріалу дослідження

У межах дослідження було проаналізовано роботу автопарку з рефрижераторними установками Carrier Vector 1550, які використовуються для міжнародних перевезень великотоннажним автотранспортом. Carrier Vector 1550 забезпечує підтримання замороженої температури -20°C з потужністю охолодження до 8 200 Вт при високих обертах двигуна [9]. Дана модель оснащена дизельним двигуном моделі CT4-91TV з робочим об'ємом 1498 см<sup>3</sup> і чотирициліндровою конструкцією, що сприяє стабільній роботі установки протягом тривалих перевезень. Двигун забезпечує оптимальний повітряний потік – 5 700 м<sup>3</sup>/год на високих обертах, рівномірно розподіляючи холодне повітря по всьому об'єму напівприцепа та підтримуючи сталі температурні умови для заморожених вантажів.

Всі перевезення виконувались автомобілями з однаковим устаткуванням. Зокрема, сам напівпричіп був від виробника Schmitz Cargobull із ізотермічною будовою і сертифікацією FRC, яка підтверджує відповідність міжнародним нормам. Напівпричіп вміщав у себе 33 стандартні європалети і мав внутрішній об'єм 86 м<sup>3</sup>.

Для збору даних про мотогодини роботи напівпричепів використовувалися показники приладів рефрижераторних установок, вбудованих у бортові системи фіксації температури. Результати вимірювань зчитувались з транспортної одиниці, що виконувала перевезення за заданим маршрутом у певні періоди часу, зазвичай кожні 7–10 днів.

Маршрут перевезення був однаковим для всіх поїздок і не включав зміну кліматичних зон чи різкий перепад висоти над рівнем моря, що дозволяло забезпечити найбільшу однорідність даних. Це знижувало можливі похибки, пов'язані з зовнішніми факторами, такими як різка зміна погодних умов або атмосферний тиск.

Кожне завантаження включало однаково підготовлений вантаж – продукти харчування з однаковим об'ємом і вагою. Вантаж перевозився при стабільній температурі в межах від -18°C до -24°C у режимі «старт-стоп» [10].

Режим «старт-стоп», або «автоматичний», є стандартним заводським налаштуванням рефрижераторної установки. Він підтримує внутрішню температуру в напівпричепі з різницею не більше 3°C від заданої температури, що дозволяє забезпечити необхідні умови для зберігання заморожених продуктів. Особливістю цього режиму є не постійний обдув вантажу, а періодичне включення і вимикання рефрижераторної установки залежно від коливань температури всередині рефрижератора.

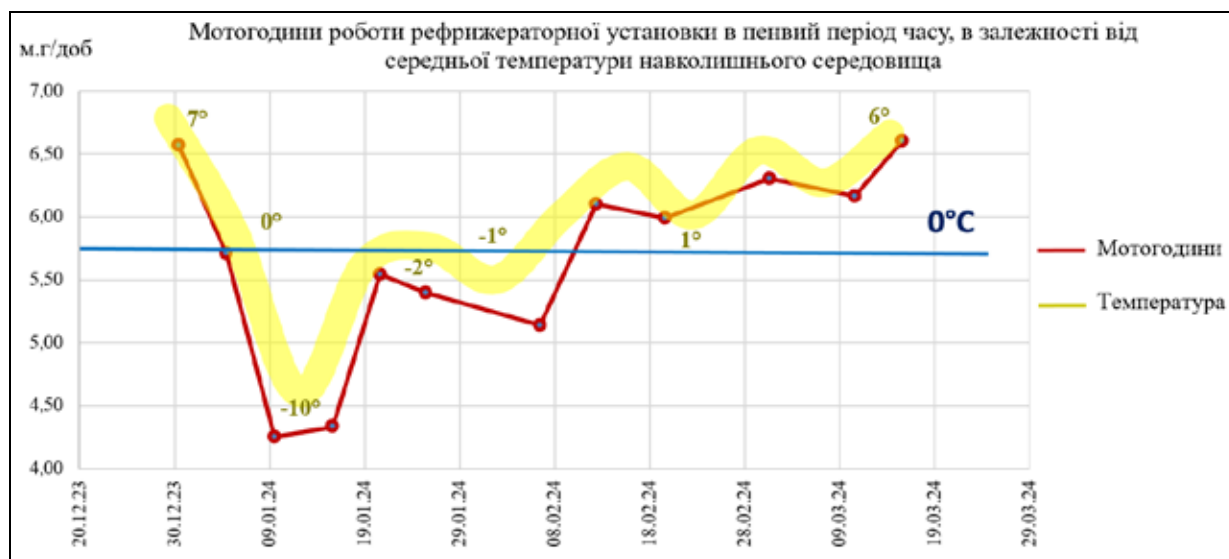
Всі цикли ввімкнення рефрижератора для підтримки температури фіксувалися бортовими приладами, а дані зчитувались у таблиці із загальним часом роботи установки за добу під час кожного рейсу.

Дослідження охоплювало широкий спектр температурних умов навколишнього середовища, від негативних до позитивних значень. Для кожного рейсу фіксували середньодобову температуру на основі показників Української метеорологічної служби, а потім аналізували залежність часу роботи установок від зовнішньої температури. Заміри тривали протягом 4 місяців (2023–2024 рр.).

Хоч заміри і проводились у холодні пори року з грудня 2023 р. по березень 2024 р. це дозволило отримати найбільшу різницю у середньодобовій температурі впродовж року. Екстремуми температури навколишнього середовища фіксувалися з різницею у  $17^{\circ}\text{C}$  від  $-10^{\circ}\text{C}$  до  $+7^{\circ}\text{C}$ .

Отримані результати продемонстрували, як підвищення температури впливає на тривалість роботи рефрижераторів і загальну ефективність перевезень у контексті температурних коливань. Було зафіксовано витрату палива на рівні 6,6 мотогодин на добу (далі м.г/добу) під час середньодобової температури під час рейсу  $+6/+7^{\circ}\text{C}$  та 4,25 м.г/добу за температури  $-9/-10^{\circ}\text{C}$ .

Такий вплив середньодобової температури на час роботи рефрижератора підтверджує факт того, що час роботи рефрижераторної установки знаходиться у пропорційній залежності від середньодобової температури навколишнього середовища. Авторами дослідження було побудовано графік залежності середньодобової температури від часу роботи рефрижераторної установки (див. рис. 1).



**Рис. 1. Графік залежності середньодобової температури від часу роботи рефрижераторної установки виражений в мотогодинах/добу**

На основі наведених даних залежності між температурою навколишнього середовища і мотогодинами можна стверджувати, що в холодний період (до  $-10^{\circ}\text{C}$ ) середній час роботи рефрижератора становив близько 4–5 мотогодин на добу. При підвищенні температури до  $0^{\circ}\text{C}$  цей показник зростає до 5–6 мотогодин, а у найбільш теплі дні ( $+7^{\circ}\text{C}$ ) час роботи рефрижераторної установки досягав понад 6–7 мотогодин на добу.

Детальний аналіз технічних характеристик Carrier Vector 1550 дозволив провести розрахунок витрати палива і рівня вуглецевих викидів. Зокрема, при середній витраті 2,5 л дизельного палива на годину (мотогодину) рефрижераторна установка з двигуном ZF19VE-164 виробляє близько 6,7 кг  $\text{CO}_2$  на годину роботи або 2,64 кг  $\text{CO}_2$  на літр пального.

Розрахунки показали, що при найнижчій середньодобовій температурі рівень емісії складає  $\approx 30$  кг  $\text{CO}_2$  на добу, тоді як у дні з максимальною середньою температурою він збільшувався до  $\approx 40$  кг  $\text{CO}_2$  на добу. Це підтверджує, що підвищення температури навколишнього середовища на  $15\text{--}20^{\circ}\text{C}$  призводить до збільшення часу роботи рефрижераторної установки і відповідно до збільшення викидів на 30%.

Окрім викидів вуглекислого газу було розраховано рівень викидів твердих частинок (PM) та оксиду азоту ( $\text{NO}_x$ ). Оскільки рефрижераторні установки не підпадають під специфікацію Європейського стандарту викиду вихлопних газів, на установках зазвичай не встановлюються технології фільтрів  $\text{NO}_x$  або системи SCR (Selective Catalytic Reduction або Система вибіркового каталітичного відновлення). Це призводить до суттєвого рівня викидів твердих частинок і  $\text{NO}_x$ . Якщо порівнювати рівень викидів тягача класу Євро-6 і рефрижераторного напівпричепа, який до нього приєднаний, можна побачити чітку картину, що рефрижератор має майже такі самі викиди твердих частинок на рівні 0,096 г PM на літр, а викиди оксид азоту у рефрижератора Carrier Vector 1550 перевищують рівень двигунів Євро-6 у майже 7 разів і доходять до 42 г  $\text{NO}_x/\text{л}$ .

Однак, наведені дані є приблизними і розраховані на основі статистичних показників і технічних характеристик розглянутої рефрижераторної установки.

Цей аналіз є важливим для розробки стратегій зниження викидів і адаптації транспортної інфраструктури до кліматичних змін. Оскільки рефрижератори (наприклад Carrier Vector 1550) не мають систем очищення викидів, їхній вуглецевий слід суттєво вищий порівняно із транспортом, що відповідає стандартам Євро-1 чи Євро-6.

### Висновки

У результаті проведеного дослідження було виявлено, що зміна температури навколишнього середовища безпосередньо впливає на ефективність роботи рефрижераторних установок великотоннажного транспорту. Аналіз показав, що зі зростанням температури на зовнішньому середовищі збільшується час роботи рефрижераторів, що, своєю чергою, впливає на рівень викидів вихлопних газів.

Рефрижератори, які використовуються для перевезення товарів при низьких температурах (наприклад, м'ясо, заморожені продукти та ін.), споживають більше палива при підвищених температурах навколишнього середовища. Це призводить до збільшення кількості викидів CO<sub>2</sub>, а також інших забруднюючих речовин, таких як оксиди азоту (NO<sub>x</sub>) та тверді частинки (PM), які є результатом роботи двигуна рефрижератора.

Під час аналізу було виявлено, що при підвищенні температури навколишнього середовища на 15–20°C середньодобові викиди CO<sub>2</sub> можуть збільшуватися на 30%, що корелює зі збільшенням мотогодин роботи рефрижераторної установки. Також виявлено, що на рівень викидів суттєво впливає не тільки температура, а й технічні характеристики самого двигуна, зокрема його клас екологічності (Євро 6).

Ці результати дозволяють краще зрозуміти вплив змін клімату на ефективність роботи рефрижераторних установок, а також на екологічну безпеку транспортування. Такі дані можуть бути корисними для розробки заходів з оптимізації роботи рефрижераторів в умовах змінної температури, а також для зниження їхнього екологічного сліду.

### Список використаної літератури

1. Міністерство інфраструктури України. Статистичні дані по галузі автомобільного транспорту [Електронний ресурс]. URL: <https://mtu.gov.ua/content/statistichni-dani-po-galuzi-avtomobilnogo-transportu.html> (дата звернення 25.11.2024).
2. Лямзін, А. О. Науково-методологічні основи управління екологічною безпекою транспортних потоків у середовищі вулично-дорожньої мережі промислових зон: дис. д-ра техн. наук: 05.22.01. Київ, 2021. 372 с.
3. Запорожець О.І., Бойченко С.В., Матвєєва О.Л., Шаманський С.Й., Дмитруха Т.І., Маджд С.М. Транспортна екологія: навчальний посібник. Київ: НАУ, 2017. – 507 с.
4. Wu, J. (2022). Evaluating the impact of refrigerated transport trucks in China on climate change from the life cycle perspective. *Environmental Impact Assessment Review*, 97, 106866.
5. Cascini, A., Saraceni, M., & Tornese, F. (2016). Comparative carbon footprint assessment of commercial walk-in refrigeration systems under different use configurations. *Journal of Cleaner Production*, 112, 4016–4026.
6. Li, G. (2017). Comprehensive investigation of transport refrigeration life cycle climate performance. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 22, 97–107.
7. Yang, Z., Zhai, H., Zhou, J., & Yang, Y. (2021). Real-world CO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> emissions from refrigerated vans. *Science of the Total Environment*, 780, 146542.
8. Adekomaya, O., Jamiru, T., Sadiku, R., & Huan, Z. (2016). Sustaining the shelf life of fresh food in cold chain – a burden on the environment. *Alexandria Engineering Journal*, 55(2), 1357–1365.
9. Carrier. (n.d.). Vector 1550 Trailer Refrigeration Units. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.carrier.com/truck-trailer/en/eu/products/eu-truck-trailer/trailer/vector-1550/> (дата звернення 25.11.2024).
10. OPERATION & SERVICE MANUAL for VECTOR 1550 & 1550 CITY Trailer Refrigeration Units. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.manualslib.com/manual/1880044/Carrier-Vector-1550-Series.html?page=262#manual> (дата звернення 25.11.2024).

### References

1. Ministry of Infrastructure of Ukraine. Statistical data on the road transport sector [Electronic resource]. URL: <https://mtu.gov.ua/content/statistichni-dani-po-galuzi-avtomobilnogo-transportu.html> (date of application 25.11.2024).
2. Lyamzin, A. O. (2021) *Naukovo-metodolohichni osnovy upravlinnya ekolohichnoyu bezpekoyu transportnykh potokiv u seredovyshechi vulychno-dorozhn'oyi merezhi promyslovykh zon* [Scientific and methodological foundations of the management of environmental safety of traffic flows in the environment of the road and highway network of industrial areas]: dys. d-ra tekhn. nauk: 05.22.01. Kyiv. 372 p. [in Ukrainian]
3. Zaporozhets' O.I., Boychenko S.V., Matvyeyeva O.L., Shamans'kyi S.Y., Dmytrukha T.I., Madzhd S.M. (2017) *Transportna ekolohiya: navchal'nyu posibnyk* [Transport Ecology: A Study Guide]. Kyiv: NAU. [in Ukrainian]
4. Wu, J. (2022). Evaluating the impact of refrigerated transport trucks in China on climate change from the life cycle perspective. *Environmental Impact Assessment Review*, 97, 106866.
5. Cascini, A., Saraceni, M., & Tornese, F. (2016). Comparative carbon footprint assessment of commercial walk-in refrigeration systems under different use configurations. *Journal of Cleaner Production*, 112, 4016–4026.
6. Li, G. (2017). Comprehensive investigation of transport refrigeration life cycle climate performance. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 22, 97–107.

7. Yang, Z., Zhai, H., Zhou, J., & Yang, Y. (2021). Real-world CO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> emissions from refrigerated vans. *Science of the Total Environment*, 780, 146542.
8. Adekomaya, O., Jamiru, T., Sadiku, R., & Huan, Z. (2016). Sustaining the shelf life of fresh food in cold chain – a burden on the environment. *Alexandria Engineering Journal*, 55(2), 1357–1365.
9. Carrier. (n.d.). *Vector 1550 Trailer Refrigeration Units*. [Electronic resource]. URL: <https://www.carrier.com/truck-trailer/en/eu/products/eu-truck-trailer/trailer/vector-1550/>
10. OPERATION & SERVICE MANUAL for VECTOR 1550 & 1550 CITY Trailer Refrigeration Units. [Electronic resource]. URL: <https://www.manualslib.com/manual/1880044/Carrier-Vector-1550-Series.html?page=262#manual> (date of application 25.11.2024).