

УДК 621.331

**ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ
НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ**

Д-р техн. наук О. М. Ананьєва, магістри С. О. Довгаль, Є. С. Терехов

EFFICIENCY OF HEAT PUMPS USE ON RAILWAY TRANSPORT

Dr. Sc. (Tech.) O. Ananieva, master's S. Dovhal, master's Ye. Terekhov

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.210.2024.320832>



***Анотація.** У статті розглянуто історію винаходу теплових насосів, фізичні процеси, що відбуваються при функціонуванні теплового насоса. Було порушено питання ефективності використання теплової енергії для опалення приміщень, підігріву технічної води у холодний період року та кондиціонування в теплий. Основну увагу зосереджено на ефективності використання сучасного обладнання, зокрема систем, що побудовані на основі теплового насоса, і необхідності переоснащення рухомого складу та будівель, які знаходяться в підпорядкуванні АТ «Укрзалізниця». Також проведено розрахунок витрат у разі використання застарілого електричного та котельного обладнання і з упровадженням систем, побудованих на основі теплового насоса. Розглянуто приклад ефективного використання теплового насоса на станції в Харківській області.*

***Ключові слова:** енергоефективність, економія, коефіцієнт COP, Coefficient of Performance, енергозберігаючі технології, тепловий насос, альтернативні джерела енергії.*

***Abstract.** The article reviews the history of invention of heat pumps, as well as the physical processes occurring during their operation. The main attention is paid to the efficiency of thermal energy utilization for space heating, heating of process water in the cold season and air conditioning*

in the warm season. In particular, the article considers modern systems based on heat pumps and the need to modernize rolling stock and buildings subordinated to Ukrzaliznytsia.

Heat pumps are devices that allow the efficient transfer of heat from the environment (air, water or ground) into a room, which makes them highly demanded for heating and air conditioning. The benefits of heat pumps are obvious, as they can significantly reduce energy consumption compared to traditional heating methods such as gas boilers or electric heaters. In contrast, a heat pump can utilize the environment as a source of energy, converting it into heat with high efficiency. Heat pumps can significantly reduce running costs as their coefficient of energy conversion (COP) can exceed 4, meaning that it takes less energy to generate one kilowatt of heat from a heat pump than a traditional electric heater or boiler. Thus, switching to such systems is cost-effective and allows for a more stable and efficient supply of heat and hot water in buildings and facilities.

In addition, the article addresses the important issue of how the use of outdated electrical and boiler equipment incurs significant maintenance and operating costs and negatively affects energy efficiency. Unlike traditional systems, heat pumps can significantly reduce these costs by providing a higher degree of energy conversion and minimizing energy use losses.

Thus, the transition to modern systems based on heat pumps not only helps to reduce energy costs, but also meets environmental requirements by reducing emissions of carbon dioxide and other pollutants.

Keywords: *energy efficiency, savings, COP, Coefficient of Performance, energy saving technologies, heat pump, alternative energy sources.*

Вступ. На сучасному етапі розвитку залізничного транспорту виникла необхідність покращення ефективності систем автоматизації. Надійні та захищені релейні системи автоматизації відходять на задній план, поступаються новітнім і швидкісним мікропроцесорним системам. Однак такі системи потребують більш якісної підготовки середовища, включаючи приміщення для їх розташування, методи розміщення кабелів, заводозахисеність тощо.

Великий вплив на функціонування мікропроцесорних систем централізації, особливо в холодний період року, має температурний режим їх використання. Забезпечити нормальний температурний режим стає дедалі важче, особливо у воєнний час:

- енергоносії дорожчають;
- відбувається помітний дефіцит енергоносіїв.

Економія в опаленні приміщень, рухомого складу, підігріві води стає все більш актуальною. Використання альтернативних джерел енергії, у тому числі і теплових насосів, може змінити ситуацію на краще.

Постановка проблеми. Оптимізація витрат і енергоефективність продовжують бути важливими питаннями функціонування залізниць України. Споживання електричної енергії займає високе місце в рангу витрат, а використання застарілого обладнання ще більше загострює це питання. Без залучення новітніх та енергоефективних технологій неможливий розвиток будь-якого підприємства. Не є виключенням і АТ «Укрзалізниця». Саме залучення альтернативних джерел енергії та відновлювальних джерел енергії може допомогти залізниці вийти на самоокупність і енергонезалежність. Існує глобальна необхідність переоснащення існуючих активів і створення нових із використанням енергозберігаючих технологій, оскільки залізничний транспорт є ключовим для економіки держави, особливо у воєнний період.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасні підприємства працюють в умовах серйозного дефіциту енергоресурсів. Кожне підприємство, метою якого є стабільне функціонування та конкурентоспроможність, прагне розробити

енергетичну стратегію для системного підходу у використанні енергоресурсів.

Енергетична політика – це напрям діяльності підприємства, пов'язаний з її енергетичним функціонуванням. Це документ, який офіційно затверджено керівництвом підприємства. Завдяки енергетичній політиці закладають основу для заходів, які мають бути здійснені для досягнення енергетичних цілей та енергетичних завдань розвитку [8]. У результаті якісного енергоменеджменту відбувається оптимізація витрат на енергоносії на підприємстві. Важливим інструментом енергоменеджменту є використання систем альтернативної енергетики, таких як сонячні батареї, теплові насоси, сонячні колектори тощо.

Основними перевагами теплових насосів є їхні економічність, екологічність, універсальність (можливість використання як для опалення, так і кондиціонування повітря), а також безпечність [2]. Теплові насоси застосовуювані в різних сферах, таких як промисловість, житлові та громадські будівлі. Щороку кількість теплових насосів збільшується приблизно на 1 млн од. Зростаюча популярність цього екологічного джерела енергії сприяла появі великої кількості літератури, що охоплює загальний

опис принципу роботи і конструкції теплових насосів і детальні розрахунки для вибору їхньої потужності для різних об'єктів теплопостачання [4-7]. Однією з важливих характеристик теплових насосів є коефіцієнт потужності, який залежить від температури зовнішнього джерела тепла і температури, на яку налаштована система опалення. Однак досліджень, які аналізують ці залежності, у сучасній науковій літературі досить мало.

Мета. Метою роботи є аналіз ефективності використання теплових насосів і систем, створених на їхній основі, у функціонуванні підприємств залізниці України.

Викладення основного матеріалу дослідження. Історія теплових насосів сягає своєї давнини. Цей період набагато довший, ніж прийнято вважати. Перші передумови були закладені ще 200 років тому. Спочатку це були теплові машини, які заклали основу виробництва холодильного обладнання та послужили прототипами сучасних теплових насосів.

Парову машину людство використовувало протягом багатьох десятиліть. І це з часом стало основою для винаходу перетворень енергії з одного виду на інший. Механічну енергію стали перетворювати на електричну.

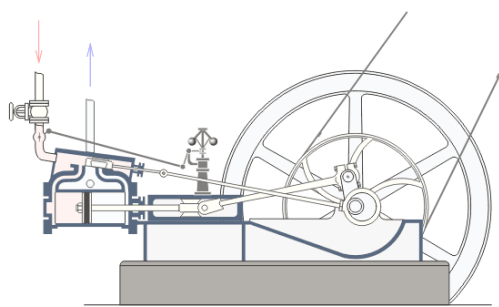


Рис. 1. Схема роботи парової машини подвійної дії [9]

Перша установка, яка могла не тільки виділяти тепло, а і поглинати його, була винайдена в 1835 році американцем Якобом

Перкінсем [10]. Він створив і запатентував першу холодильну установку. Установка складалася з компресора, обладнання для

поглинання тепла і випромінювання тепла. Такі самі елементи присутні в сучасних холодильних установках і теплових насосах.

Ще в 1852 році Уільямом Томсоном Кельвіном [10] було висунуто ідею, що теплові машини можна буде використовувати для обігріву житла. Але поширення теплових насосів відбулося лише через сто років. Справжній бум їх використання відбувся в 70-ті роки минулого століття в Німеччині. Сталося це внаслідок паливної кризи. Але вже у 1980-х роках кількість використовуваних теплових насосів стала знижуватися.

В Україні використання теплових насосів тільки зараз набуває своєї популярності. На це впливає і зростання цін на енергоносії, і постійні зміни в політичній сфері. Великою перешкодою у процесі популяризації використання альтернативних джерел енергії стала, звісно, агресія росії проти України.

Фізичні процеси, які протікають у теплових насосах. Тепло є однією з

внутрішніх енергій матерії. Якщо під дією певних факторів з'являється можливість передати цю енергію якомусь іншому матеріалу (об'єкту), то фазовий перехід відбувається до об'єкта з більш низькою температурою. Коли якийсь нагрітий предмет буде остигати на відкритому просторі, то його температура буде знижуватися до температури навколишнього середовища. Теплові насоси використовують у своїй роботі дещо інший процес. Так, з дією відносно предмета зовнішньої сили температура об'єкта перестає змінюватися, і відбувається зміна його стану. Як приклад, ми бачимо такий процес у себе на кухні кожного дня в разі кипіння чайника. Вода за 100 °С перетворюється на пару (рис. 2).

Принцип дії теплових насосів побудовано на двох фізичних процесах – випарювання та конденсація. З випарюванням насос акумулює низькотемпературне тепло далі передає тепло за конденсації.

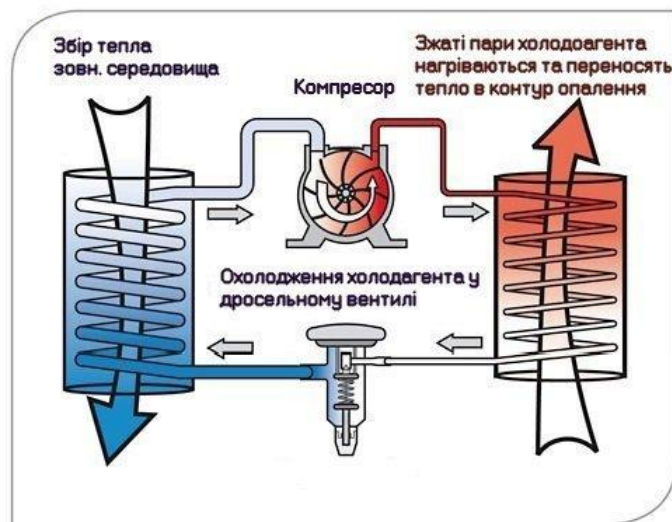


Рис. 2. Схема фізичних процесів, які протікають у тепловому насосі [12]

Ефективність використання теплових насосів. Для розуміння економічного ефекту використання теплових насосів використовують термін

«коефіцієнт перетворення електричної енергії в теплову» (COP, Coefficient of Performance). Тобто для передавання тепла від джерела до споживача відбувається

прикладення певної зовнішньої сили, у цьому випадку електричної енергії [11].

Типові значення коефіцієнта COP для різних видів теплових насосів:

- повітряні теплові насоси: 2,5-4,0;
- геотермальні, або ґрунтові, теплові насоси: 3,5-5,0;

- водяні теплові насоси: 4,0-6,0.

Залежність коефіцієнта перетворення енергії μ від температури низькопотенційного джерела теплоти $t_{дж}$ і температури теплоносія $t_{нос}$, який був нагрітий у тепловому насосі [1] зображено на рис. 3.

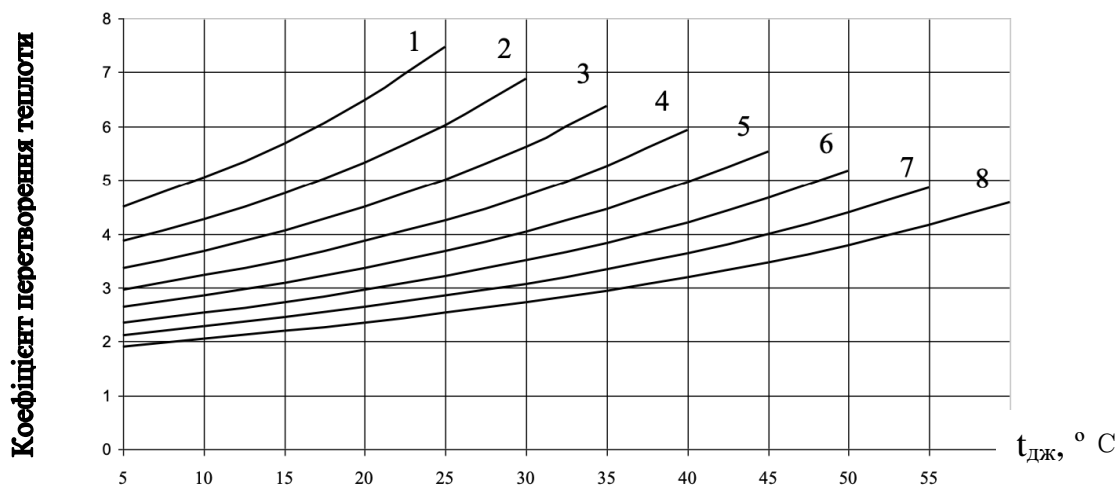


Рис. 3. Залежність коефіцієнта перетворення енергії μ від температури низькопотенційного джерела теплоти $t_{дж}$ і температури теплоносія $t_{нос}$, який був нагрітий у тепловому насосі [1].
Температура теплоносія після теплового насоса [1]:

1 – 35 °C, 2 – 40 °C, 3 – 45 °C, 4 – 50 °C, 5 – 55 °C, 6 – 60 °C, 7 – 65 °C, 8 – 70 °C

Опалення залізничних вагонів. Для отримання тепла в рухомому складі на залізниці використовують такі системи опалення:

- вугільно-водяну;
- комбіновану;
- електричну.

Для перших двох систем опалення використовують воду, яку розігрівають у котлі завдяки спаленню вугілля чи комбінуючи тверде паливо та електроенергію.

Принцип водяного опалення нічим не відрізняється від звичайної системи опалення в будинках. Вода циркулює по трубах, зведених у єдину систему та прокладених через вагон (рис. 4).

За електричної системи опалення у вагоні відбувається за рахунок електричних

пічок. Розташовують їх на підлозі у пасажирських приміщеннях, коридорах і службових відділеннях, туалетах. Також для обігріву використовують калорифери (рис. 5).

Залежно від типу вагона встановлюють від 30 до 52 пічок. Їхня загальна потужність сягає до 26 кВт. Потужність калорифера в разі його використання складає 22 кВт, тобто загальна потужність, яку споживає електрообладнання для обігріву, складає 48 кВт.

Виходячи з середнього коефіцієнта COP, який ми розглянули раніше, зі встановленням теплового насоса «повітря-повітря» можна обігріти салон вагона з витратами електроенергії $48/3 = 16$ кВт, тобто в середньому витрати електроенергії на опалення будуть у три рази менше.

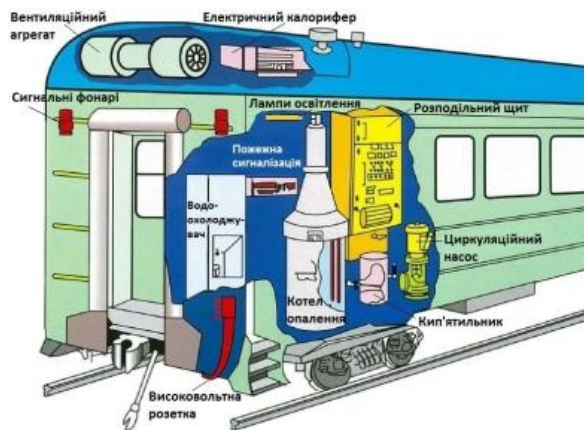


Рис. 4. Внутрішнє електрообладнання пасажирського вагона [14]

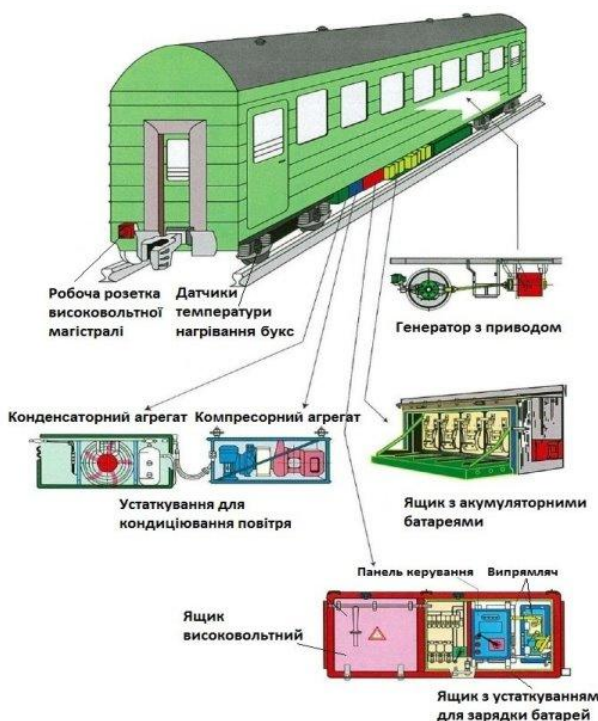


Рис. 5. Зовнішнє електрообладнання пасажирського вагона [14]

Використання теплових насосів для обігріву приміщення станції та підігріву води. Станція Залютине – це вантажно-пасажирська проміжна залізнична станція. Клас станції – 3. Опалення диспетчерського, господарських приміщень і приміщення вокзалу до втілення змін відбувалося за рахунок двох вугільних котлів. Підігріву води не існувало. Незважаючи на це, витрати вугілля сягали близько 75 т/р. [15].

На станції було проведено енергетичний аудит. За його результатами було ухвалено рішення про встановлення геотермального теплового насоса потужністю 40 кВт та електричного котла потужністю 10 кВт на період опалення в зимовий період. З'явилася можливість користуватися теплою санітарною водою впродовж усього року, а також кондиціонування в теплий період року.

Тепловий насос являє собою основу системи опалення та бере на себе більшу частину теплової потужності. З суттєвим зниженням температури зовнішнього середовища відбувається підключення електричного котла. Завдяки його роботі відбувається підтримання необхідної потужності.

Витрати електроенергії на опалення приміщень взимку та кондиціонування

влітку в середньому складають 52 тис. кВт/год за рік. За нинішніх цін на електроенергію для підприємств із 1 січня 2024 року складає 8 600 за 1 мВт електроенергії, тобто $52 * 8\,600 = 447\,200$ грн/р. За старої системи опалення з використанням твердопаливних котлів і сучасних мінімальних цін на вугілля витрати склали $6\,8500 * 75 = 637\,500$ грн/р.

Висновки

Основні переваги використання теплових насосів на залізниці

Зменшення енерговитрат

ТН може забезпечувати високий коефіцієнт продуктивності, який значно перевищує ефективність традиційних систем

Екологічність

ТН знижують залежність від викопного палива, особливо якщо живлення забезпечують від електромережі, яка використовує відновлювані джерела енергії

Зменшення експлуатаційних витрат

ТН може зменшити експлуатаційні витрати на системи опалення через порівняно невелику кількість рухомих частин, відсутність потреби у зберіганні палива для системи опалення

Використання теплового насоса в рухомому складі залізниці є перспективним рішенням для підвищення енергоефективності та зменшення викидів парникових газів. Теплові насоси ефективно використовують енергію навколишнього

середовища (наприклад повітря або ґрунту) для обігріву чи охолодження приміщень, що особливо важливо для комфорту пасажирів у вагонах, а також забезпечення температурного режиму в спеціальних технічних відсіках.

Список використаних джерел

1. Дослідження ефективності застосування теплонасосних установок для потреб теплопостачання в умовах України / С. Р. Бікмасєв, М. В. Губинський, А. Ю. Усенко та ін. *Енергетика теплотехнології та енергозбереження. Інтегровані технології та енергозбереження*. 2010. № 4. С. 15-18.

2. Енергетична стратегія України на період до 2035 року. URL: <https://ips.ligazakon.net/document/NT1513>.

3. Дешко В. І., Шовкалюк М. М., Шевченко О. М., Шовкалюк Ю. В. Аналіз нормативів споживання теплоти в Україні та світі. *Нова тема*. 2018. № 2. С. 6-10.

4. Дешко О. В., Білоус І. Ю., Буяк Н. А., Петрученко О. В. Енергоефективність короткочасних режимів опалення будівель з різними теплофізичними характеристиками огорожувальних конструкцій. *Вісник НТУУ «КПІ»*. Серія: *Машинобудування*. 2021. № 2. С. 32-41.

5. Дешко В. І., Білоус І. Ю., Буяк Н. А., Петрученко О. В. Аналіз впливу енергоефективних режимів опалення на енергоспоживання будівель на основі математичного моделювання. *Енергетика: економіка, технології, екологія: науковий журнал*. 2020. № 4 (62). С. 32-41.
6. Кепко О. І., Кузьмін О. В., Кузьміна О. В., Лисенко О. В. Енергозберігаючі режими роботи систем опалення та вентиляції теплиць. *Науковий вісник НТУУ*. 2021. № 2. С. 15.
7. Беліков А. С., Железняков Є. О. Про питання забезпечення умов мікроклімату та безпеки експлуатації систем теплопостачання при аварійних відключеннях теплопостачання. *Український журнал будівництва та архітектури*. 2018. № 5 (017). С. 96-102.
8. Енергетичний менеджмент та енергоефективність: підруч. для студ. зі спец. електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / І. О. Самойленко, О. Г. Гриб, А. О. Запорожець та ін. Харків: ФОП Бровін О. В., 2020. 348 с.
9. Схема роботи парової машини. Авторство: Panther. Власна робота; Drawn using Corel Draw! & Image Ready, CC BY-SA 3.0. URL: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=268511> (дата звернення: 30.11.2024).
10. Viessmann. Climat of innovation. Керівництво з проектування. Теплові насоси. ТОВ «ВІССМАНН». 2011.
11. Тепловий насос ефективність. URL: <https://ovik.com.ua/ru/teplovoj-nasos-effektivnost/> (дата звернення: 30.11.2024).
12. Принцип роботи теплового насоса. URL: <https://teplotep.com.ua/2018/12/10/pryntsypr-roboty-teplovogo-nasosu/> (дата звернення: 30.11.2024).
13. Матеріал для ефективного вивчення здобувачами освіти ДПТНЗ електрообладнання пасажирських вагонів. URL: <https://naurok.com.ua/elektroobladnannya-pasazhirskih-vagoniv-310528.html> (дата звернення: 05.12.2024).
14. Працює в Харкові з 2006 року. Залізнична станція Залютино, в якій встановлено тепловий насос. URL: <https://nibe.ua/ru/example/zalutino1?srsid=AfmBOoqlkrI32FWxqCiyH2sCHiv7O6Aj5QNXWI6kCtYKSn4GCOdS51fM> (дата звернення: 30.11.2024).
15. Тарифи на розподіл АТ «Хмельницькобленерго». URL: <https://hoe.com.ua/page/tarifi-2> (дата звернення: 01.12.2024).
16. Купити вугілля в Харкові. URL: <https://iskra.kh.ua/ugol.html> (дата звернення: 01.12.2024).

Ананьєва Ольга Михайлівна, доктор технічних наук, професор кафедри автоматизації та комп'ютерного телекерування рухом поїздів, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна. E-mail: ananeva@kart.edu.ua. ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6686-8249>.

Довгаль Сергій Олександрович, студент кафедри автоматизації та комп'ютерного телекерування рухом поїздів, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна. E-mail: sergoy1978@gmail.com. ID ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-0323-0026>.

Терехов Єгор Сергійович, студент кафедри автоматизації та комп'ютерного телекерування рухом поїздів, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна. E-mail: asya.wear@gmail.com. ID ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-5340-9555>.

Ananieva Olha, Dr.Sc (Tech.), Professor of the Department of Automation and computer telecontrol of trains, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine. E-mail: ananeva@kart.edu.ua. ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6686-8249>.

Dovhal Serhii, student of Department of Automation and computer telecontrol of trains, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine. E-mail: sergoy1978@gmail.com. ID ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-0323-0026>.

Terekhov Yehor, student of Department of Automation and computer telecontrol of trains, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine. E-mail: asya.wear@gmail.com. ID ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-5340-9555>.

Статтю прийнято 12.12.2024 р.