

Технічні науки

УДК 621.577+697

Фіалко Наталія Михайлівна

доктор технічних наук, професор,

чл.-кор. НАН України, завідувач відділу

Інститут технічної теплофізики НАН України

Fialko Nataliia

Doctor of Technical Sciences, Professor,

Corresponding Member of the NAS of Ukraine, Head of the Department

Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine

Місюра Тимофій Олексійович

доктор філософії, науковий співробітник

Інститут технічної теплофізики НАН України

Misiura Tymofii

PhD, Research Worker

Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine

**РОЗРАХУНКОВИЙ АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ
ТЕПЛОНАСОСНОЇ СПЛІТ-СИСТЕМИ З УТИЛІЗАЦІЄЮ ХОЛОДУ
ВИТЯЖНОГО ПОВІТРЯ**

**CALCULATION ANALYSIS OF A HEAT PUMP SPLIT SYSTEM
EFFICIENCY WITH COLD EXHAUST AIR UTILISATION**

***Анотація.** Досліджено ефективність роботи теплонасосної спліт-системи кондиціювання громадського приміщення, у якій застосовано утилізацію холоду відпрацьованого повітря для підтримання заданих комфортних умов всередині приміщення. Отримано розрахункові величини питомих затрат зовнішньої енергії в даній системі, які характеризують енергетичну ефективність її роботи в залежності від параметрів навколишнього середовища.*

Ключові слова: теплонасосна спліт-система, кондиціювання, рециркуляція, питомі затрати зовнішньої енергії.

Summary. *The heat pump split system efficiency for air conditioning of a public premise, in which the utilization of cold exhaust air is used to maintain the given comfortable conditions inside, has been investigated. Estimated values of the specific consumption of external energy in this system were obtained, which characterize the energy efficiency of its operation depending on the environmental parameters.*

Key words: *heat pump split system, air conditioning, recirculation, specific consumption of external energy.*

Вступ. На сьогодні альтернативним джерелом енергії теплопостачання можуть бути розглянуті системи з тепловими насосами (ТН), що широко використовуються для опалення, гарячого водопостачання, кондиціювання та вентиляції різних об'єктів: від приватних житлових будівель до шкіл та лікарень. Розробки та дослідження технологій утилізації низькопотенційної теплоти за допомогою теплонасосних установок проводяться вже давно в системах з різними джерелами, якими можуть бути ґрунт, водойми, підземні води або вторинна теплота. Проте реалізація даних систем часто гальмується їх високою вартістю і великим терміном окупності в порівнянні з традиційними джерелами теплоти [1, с. 5].

У цьому відношенні повітряні ТН потребують менших капітальних затрат, а джерело теплоти є завжди доступним, що в деяких випадках робить їх безальтернативним тепло- або холодогенеруючим обладнанням [2, с. 78]. До повітряних ТН відносяться спліт-системи, які можуть працювати в режимах охолодження та нагрівання повітря в приміщенні. Через поєднання даних режимів роботи в одному агрегаті цей тип ТН найчастіше встановлюється в житлових будинках, офісних приміщеннях та

навчально-освітніх закладах [3, с. 56]. У зв'язку з цим виникає питання раціональності та енергетичної ефективності використання спліт-систем для опалення та кондиціювання приміщень як індивідуального, так і соціального характеру.

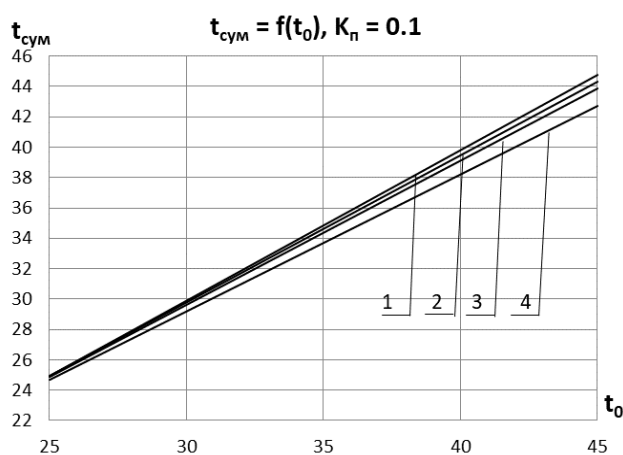
У даній статті авторами проведено розрахунковий аналіз ефективності роботи принципової теплонасосної спліт-системи в режимі кондиціювання з додатковою утилізацією холоду витяжного повітря. Як критерій термодинамічної ефективності вибрано величину сумарних питомих затрат зовнішньої енергії на спліт-систему, яка являє собою відношення затраченої зовнішньої енергії на одиницю отриманого холоду для задоволення потреб кондиціювання.

Розрахунковий аналіз схеми Чисельний аналіз із використанням співвідношень, що наведені в роботі [4, с. 74-75] (6), (10), (14) – (17) і (19) методом послідовних наближень дає змогу оцінити вплив зміни температури навколишнього середовища, відношення потоку теплоти на охолодження інфільтраційного повітря до потоку теплоти на кондиціювання та коефіцієнта інтенсивності надходження теплоти через огорожуючі конструкції як на параметри системи (температури суміші повітря на вході до конденсатора ТН (рис. 1) та на виході з нього (рис. 2), температури повітря на виході з випарника ТН до приміщення (рис. 3)), так і на термодинамічну ефективність застосування теплонасосної спліт-системи в режимі кондиціювання з використанням холоду витяжного повітря (рис. 4).

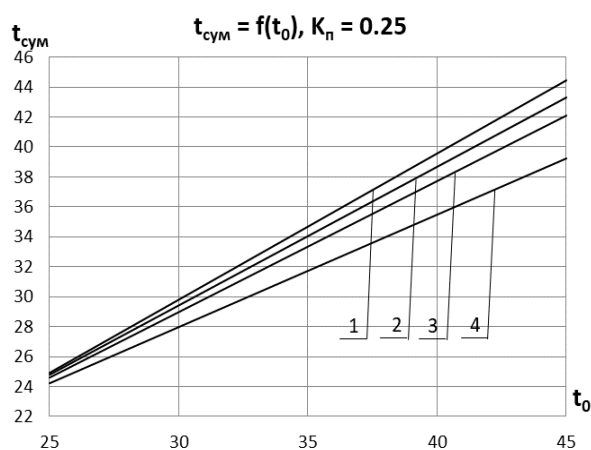
При виборі величини m врахована така обставина. Відомо, що відносні витрати теплоти на охолодження інфільтраційного повітря в житлових будівлях становлять близько 10-30 % від витрат теплоти на кондиціювання [5, с. 244]. У зв'язку з цим в наведеному нижче аналізі взято наступні значення величини $m = 0,1; 0,3; 0,5; 1$. Розрахунки також проводились відносно наступних значень коефіцієнта інтенсивності надходження теплоти через огорожуючі конструкції $K_n = 0,1; 0,25; 0,5$.

Було також проведено порівняння отриманих результатів за умови, коли використовується лише теплота атмосферного повітря.

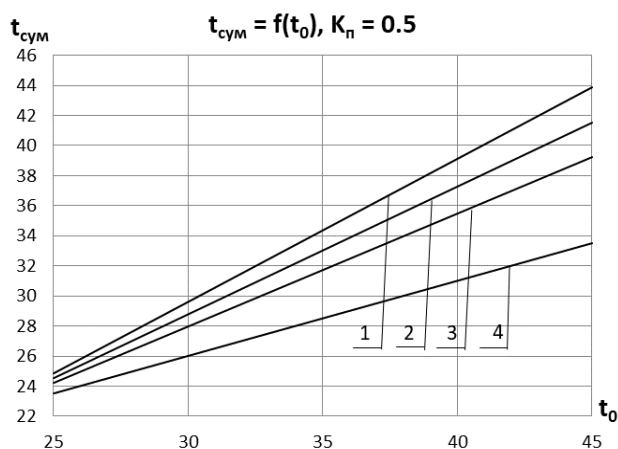
На рис. 1, а-в наведено графічні залежності температури суміші повітря на вході до конденсатора ТН від температури атмосферного повітря $t_{\text{сум}} = f(t_0)$, з яких видно, що температура $t_{\text{сум}}$ знижується зі збільшенням коефіцієнта m через зменшення складової зовнішнього повітря. Також слід відзначити, що температури $t_{\text{сум}}$ є нижчими за відповідні значення температур зовнішнього атмосферного повітря, що забезпечує більш надійну роботу ТН порівняно з використанням лише теплоти атмосферного повітря (із зростанням $K_{\text{п}}$ даний ефект збільшується).



а)



б)



в)

Рис. 1. Залежності температури суміші повітря на вході до конденсатора ТН від температури зовнішнього атмосферного повітря: а), б), в) – $K_{\text{п}} = 0,1; 0,25; 0,5$ відповідно; 1-4 – $m = 0,1; 0,3; 0,5; 1,0$.

З наведених на рис. 2, а-в графіків видно, що температура відпрацьованої суміші повітря на виході з конденсатора ТН зростає зі збільшенням коефіцієнта m , оскільки відбувається ріст потреби в охолодженні більшої кількості інфільтраційного повітря до приміщення. Зростання коефіцієнта K_n призводить також до зростання температури відпрацьованої суміші повітря на виході з конденсатора ТН, що відбувається внаслідок необхідності зменшення температури повітря на виході з випарника ТН через зростання надходжень теплоти з навколишнього середовища.

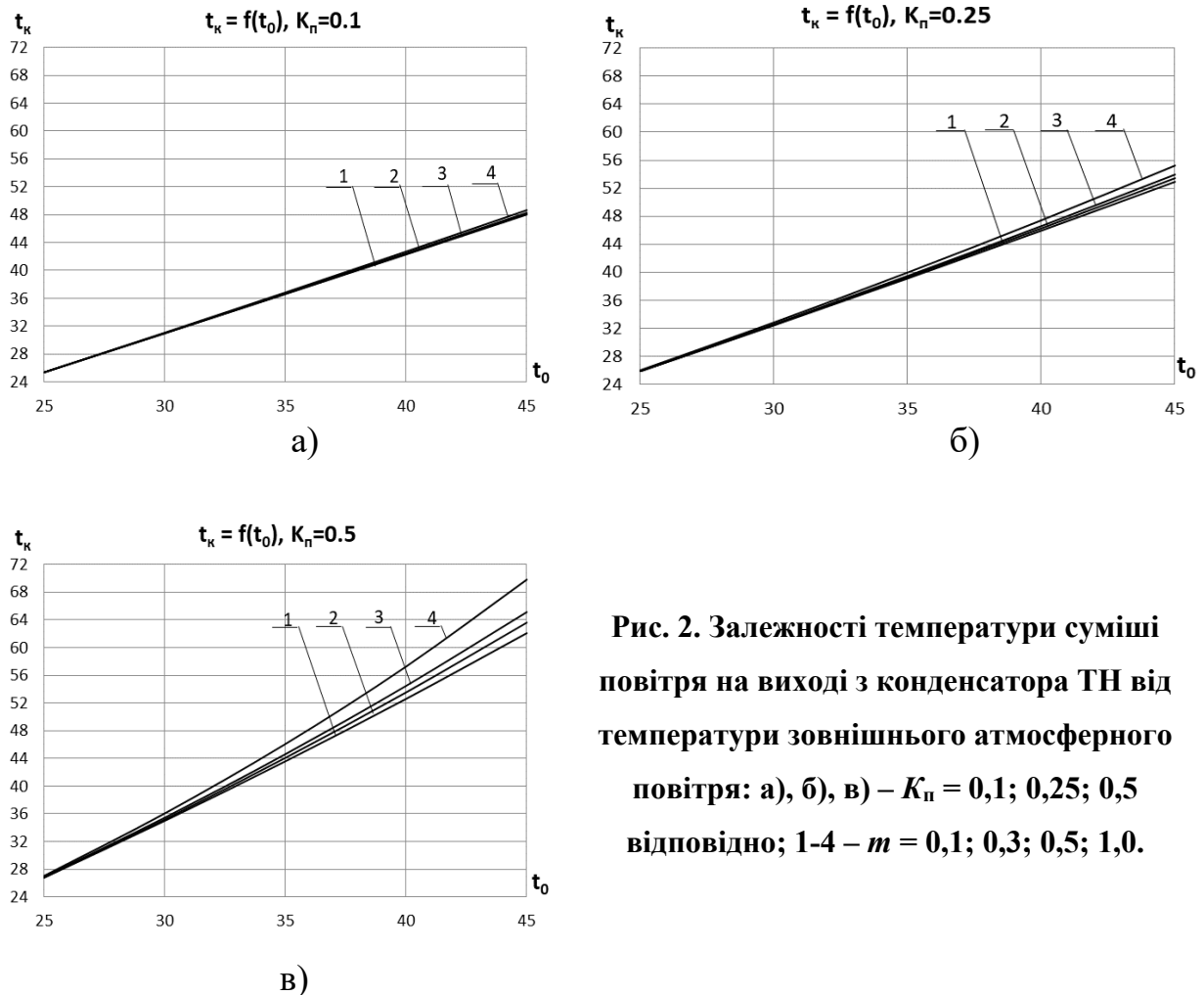


Рис. 2. Залежності температури суміші повітря на виході з конденсатора ТН від температури зовнішнього атмосферного повітря: а), б), в) – $K_n = 0,1; 0,25; 0,5$ відповідно; 1-4 – $m = 0,1; 0,3; 0,5; 1,0$.

На рис. 3, а-в наведено графічні залежності температури повітря на виході з випарника ТН до приміщення від температури атмосферного повітря $t_b = f(t_0)$, з якої видно, що температура t_b зменшується зі збільшенням коефіцієнта m через зростання потреби в охолодженні

інфільтраційного повітря. Зростання коефіцієнта K_n призводить також до зниження температури повітря на виході з випарника ТН, що відбувається внаслідок зростання надходжень теплоти з навколишнього середовища.

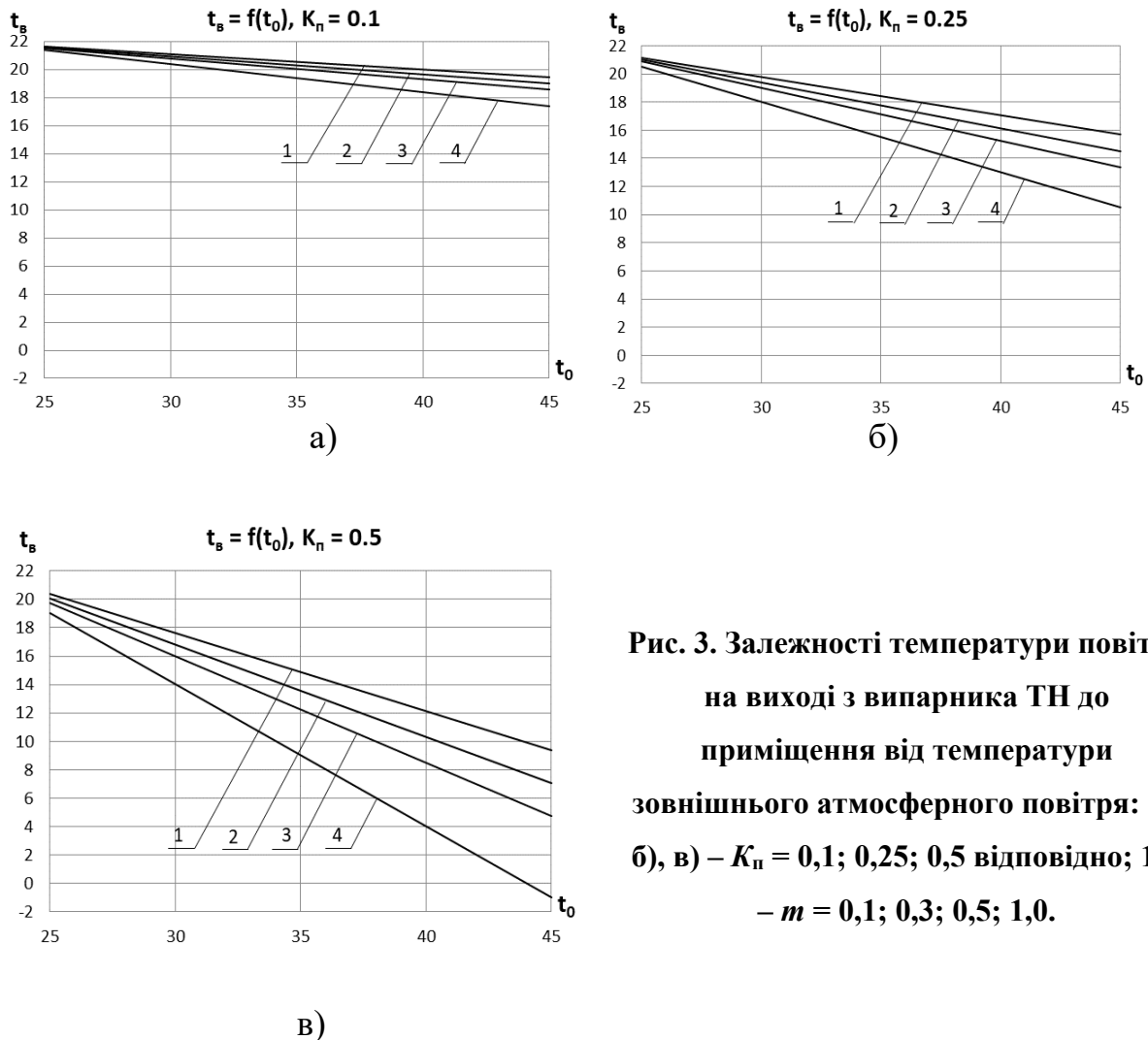


Рис. 3. Залежності температури повітря на виході з випарника ТН до приміщення від температури зовнішнього атмосферного повітря: а), б), в) – $K_n = 0,1; 0,25; 0,5$ відповідно; 1-4 – $m = 0,1; 0,3; 0,5; 1,0$.

На основі числового аналізу співвідношення (19) з роботи [4, с. 75] з урахуванням отриманих значень таких параметрів, як коефіцієнт K_b , температури суміші повітря на вході $t_{\text{сум}}$ та виході t_b з конденсатора ТН та холодильний коефіцієнт ТН ε , побудовано графічні залежності питомих затрат зовнішньої енергії від температури навколишнього середовища (рис. 4, а-в). Із рис. 4 видно, що питомі затрати зовнішньої енергії збільшуються з підвищенням температури навколишнього середовища та збільшуються зі зростанням коефіцієнта m , тобто з підвищенням затрат теплоти на охолодження інфільтраційного повітря. Зі зростанням

коефіцієнта K_n питомі затрати також зростають. Переваги використання досліджуваної схеми порівняно з вихідною (без утилізації холоду вентиляційних викидів) зростають зі збільшенням відносних витрат теплоти на охолодження інфільтраційного повітря m та зі збільшенням коефіцієнта K_n .

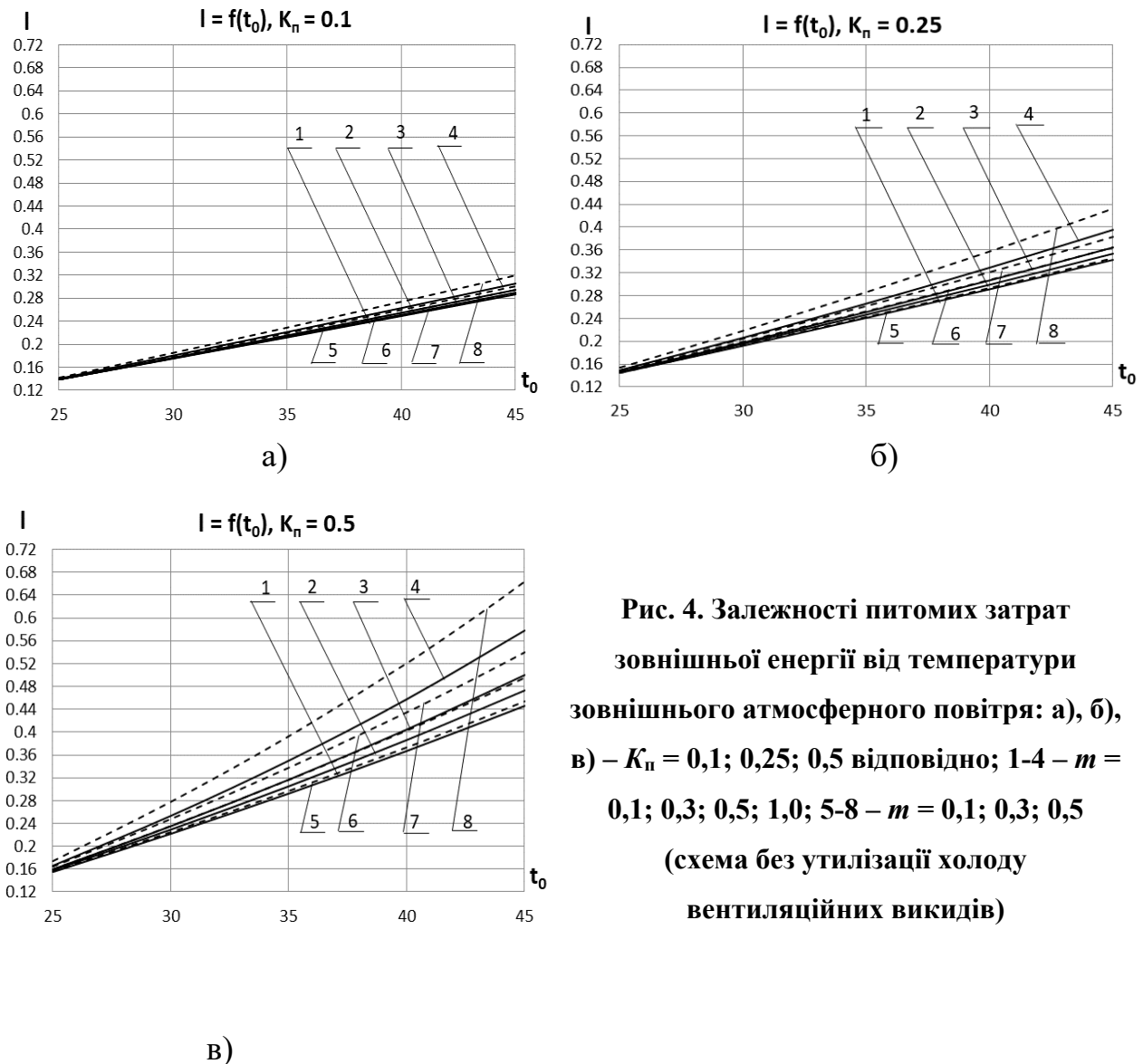


Рис. 4. Залежності питомих затрат зовнішньої енергії від температури зовнішнього атмосферного повітря: а), б), в) – $K_n = 0,1$; $0,25$; $0,5$ відповідно; 1-4 – $m = 0,1$; $0,3$; $0,5$; $1,0$; 5-8 – $m = 0,1$; $0,3$; $0,5$ (схема без утилізації холоду вентиляційних викидів)

Висновки.

1. Температури повітря після камери змішування є нижчими за відповідні значення температур зовнішнього атмосферного повітря, що забезпечує більш надійну роботу ТН порівняно з використанням лише теплоти атмосферного повітря.

2. Температури повітря після конденсатора мають низькі значення практично в усьому діапазоні роботи схеми, що дозволяє використовувати цю систему в теплий період за розрахункових температур.

3. Питомі затрати зовнішньої енергії збільшуються з підвищенням затрат теплоти на охолодження інфільтраційного повітря. Переваги утилізації холоду вентиляційних викидів зростають зі збільшенням відносних витрат теплоти на охолодження інфільтраційного повітря та зі збільшенням інтенсивності надходження теплоти через огорожуючі конструкції.

Література

1. Forsen M., Boeswarth R., Dubuisson X., Sandstrom B. Heat Pumps Technology and environmental impact. *Swedish Heat pump Association*, 2005. Part 1. P. 1-35.

2. Carroll P., Chesser M., Lyons P. Air Source Heat Pumps field studies: A systematic literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2020. 134. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110275>.

3. González-Torres M., Pérez-Lombard L. A review on buildings energy information: Trends, end-uses, fuels and drivers. *Energy Reports*. 2022. 8. doi: <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2021.11.280>.

4. Місюра Т. О., Фіалко Н. М. Термодинамічний аналіз ефективності роботи теплонасосної спліт-системи з утилізацією холоду витяжного повітря. *Міжнародний науковий журнал «Інтернаука»*. 2024. № 5 (160). С. 72-75. doi: <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2024-5-9950>

5. Морозюк Т. В. Теорія холодильних машин і теплових насосів. Одеса: Студія «Негоціант», 2006. 712 с.