

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«Підвищення енергоефективності в тепловій схемі котельні
Дзвиняцького лісокомбінату»

08-15.МКР.011.00.00.000 ПЗ

Виконав: студент 2 курсу групи ТЕ-23м
спеціальності 144 - теплоенергетика
(шифр і назва спеціальності)

Хмара С. В.
(прізвище та ініціали студента)

Керівник Остапенко О. П.
(прізвище та ініціали)

« 09 » 12 2024 р.

Опонент Андрухов В. М.
(прізвище та ініціали)

« 24 » 12 2024 р.

Допущено до захисту
Завідувач кафедри ТЕ

к.т.н., доц. Дмитро СТЕПАНОВ
(прізвище та ініціали)

« 24 » 12 2024 р.

Вінниця ВНТУ - 2024 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії
Кафедра теплоенергетики
Рівень вищої освіти II (магістерський)
Галузь знань 14 – електрична інженерія
Спеціальність 144 – теплоенергетика
Освітньо-професійна програма Теплоенергетика

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ТЕ
Дмитро СТЕПАНОВ
“ 09 ” 2024 р.

З А В Д А Н Н Я НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

ХМАРІ СЕРГІЮ ВАЛЕРІЙОВИЧУ

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Підвищення енергоефективності в тепловій схемі котельні Дзвиняцького лісокомбінату»

керівник роботи Остапенко О.П., к.т.н., доцент,

(прізвище, ініціали, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від 17.09.2024 р. № 310.

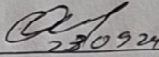
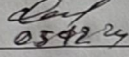
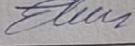
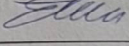
2. Строк подання студентом роботи 5 грудня 2024 року.

3. Вихідні дані до роботи: відпуск пари на теплофікацію 0,13 кг/с; на перший промисловий споживач 0,19 кг/с; відпуск пари на другий промисловий споживач 0,4 кг/с; повернення конденсату від теплофікації 95 %; повернення конденсату від першого промислового споживача 90 %; конденсат від другого промислового споживача не повертається; температура повернення конденсату від теплофікації 73 °С; температура повернення конденсату від першого промислового споживача 83 °С; температура додаткової води 5-20 °С; витрата пари на власні потреби 6,5 %.

4. Зміст текстової частини: аналітичний літературний огляд; методичні основи для моделювання теплових схем з тепловими насосами; моделювання роботи теплонасосної установки в тепловій схемі парової котельні; моделювання екологічного впливу варіантів модернізації теплової схеми промислово-опалювальної парової котельні; техніко - економічні показники проектних рішень

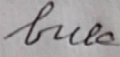
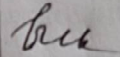
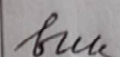
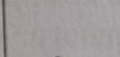
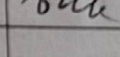
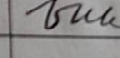
5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
теплова схема котельні фанерного виробництва відкритого акціонерного товариства «Дзвиняцький лісокомбінат» з теплонасосною установкою, схема монтажна аксонометрична; план розташування обладнання та трубопроводів; календарний план; результати математичного моделювання (2 листи); результати дослідження варіантів застосування теплонасосних установок в тепловій схемі котельні (4 листи)

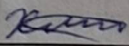
6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділи 1 - 4	Остапенко О. П., доц. каф. ТЕ	 23.09.24	 03.12.24
Розділ 5	Лялюк О.Г., доц. каф. БМГА		

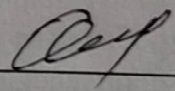
7. Дата видачі завдання 23.09.24

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів МКР	Строк виконання етапів МКР	Примітка
1	Аналітичний літературний огляд	25.09.2024 – 05.10.2024	
2	Методичні основи для моделювання теплових схем з тепловими насосами	06.10.2024 – 18.10.2024	
3	Моделювання роботи теплонасосної установки в тепловій схемі парової котельні	19.10.2024 – 02.11.2024	
4	Моделювання екологічного впливу варіантів модернізації теплової схеми промислово-опалювальної парової котельні	03.11.2024 – 19.11.2024	
5	Техніко - економічні показники проєктних рішень	20.11.2024 – 29.11.2024	
6	Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу	30.11.2024 – 05.12.2024	

Студент 
(підпис)

Хмара С. В.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи 
(підпис)

Остапенко О.П.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

УДК 621.577

Хмара С. В. Підвищення енергоефективності в тепловій схемі котельні Дзвиняцького лісокомбінату. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 144 – Теплоенергетика, освітня програма - Теплоенергетика. Вінниця: ВНТУ, 2024. 95 с. На укр. мові. Бібліогр.: 55 назв; рис.: 76; табл. 33.

В магістерській кваліфікаційній роботі (МКР) оцінюється підвищення енергоефективності в тепловій схемі промислово-опалювальної парової Дзвиняцького лісокомбінату, що забезпечується шляхом застосування когенераційної теплонасосної установки з використанням теплоти вторинних енергоресурсів. В МКР виконано аналітичний огляд літературної інформації, оцінено особливості застосування теплових насосів, враховано напрацювання на основі європейського та світового досвіду їх впровадження. За результатами проведених досліджень та оцінки одержаних наукових результатів визначено енергетичні та екологічні переваги застосування теплонасосних установок з використанням теплоти вторинних енергоресурсів для підвищення енергоефективності у тепловій схемі промислово-опалювальної котельні. Обрано до проектування варіант модернізації теплової схеми промислово-опалювальної котельні з теплонасосною установкою на теплоті вторинних енергоресурсів. Розроблено технологію монтажу когенераційної теплонасосної установки в тепловій схемі котельні, виконано розробку кошторису та економічних показників впровадження когенераційної теплонасосної установки в котельні.

Графічна частина складається з 10 аркушів.

Ключові слова: енергоефективність, теплонасосна установка, когенераційна установка, парова промислова котельня, витрата палива.

ABSTRACT

Khmara S. V. Increasing of energy efficiency in the thermal scheme of the boiler house of the Dzvinysky timber mill. Master's qualification work in the specialty 144 - Heat and power engineering, educational program - Heat and power engineering. Vinnytsia: VNTU, 2024. 95 p. In Ukrainian. Bibliography: 55 titles; fig.: 76; table. 33.

The master's qualification thesis (MQT) assesses the increase in energy efficiency in the thermal scheme of the industrial heating steam boiler house of the Dzvinysky timber mill, which is provided by the use of a cogeneration heat pump installation using the heat of secondary energy resources. The MQT includes an analytical review of the literature, assesses the features of the use of heat pumps, and takes into account developments based on European and world experience in their implementation. Based on the results of the conducted research and the evaluation of the obtained scientific results, the energy and environmental advantages of using heat pump installations using the heat of secondary energy resources to increase energy efficiency in the thermal scheme of an industrial heating boiler house were determined. A variant of modernization of the thermal scheme of an industrial heating boiler house with a heat pump installation using the heat of secondary energy resources was selected for design. The technology for installing a cogeneration heat pump installation in the thermal scheme of a boiler house was developed, and an estimate and economic indicators for the implementation of a cogeneration heat pump installation in a boiler house were developed.

The graphic part consists of 10 sheets.

Keywords: energy efficiency, heat pump installation, cogeneration installation, steam industrial boiler house, fuel consumption.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 АНАЛІТИЧНИЙ ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД	10
1.1 Теплові насоси для забезпечення переходу на чисту енергію	10
1.2 Розгортання теплових насосів в ЄС.....	10
1.3 Платформа прискорювача впровадження теплових насосів.....	11
1.4 Висновки до розділу 1.....	32
2 МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОВИХ СХЕМ	
3 ТЕПЛОВИМИ НАСОСАМИ	34
2.1 Аналіз факторів та показників ефективності схем з тепловими насосами, аналіз структури системи	34
2.2 Методика досліджень систем з тепловими насосами.....	38
2.3 Опис математичної моделі теплової схеми досліджуваної парової котельні з теплонасосною установкою	51
2.4 Математичне програмне забезпечення розрахунків	51
2.5 Висновки до розділу 2	53
3 МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ТЕПЛОНАСОСНОЇ УСТАНОВКИ В	
ТЕПЛОВІЙ СХЕМІ ПАРОВОЇ КОТЕЛЬНІ.....	54
3.1 Показники роботи теплової схеми котельні	54
3.2 Висновки до розділу 3.....	63
4 МОДЕЛЮВАННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО ВПЛИВУ ВАРІАНТІВ	
МОДЕРНІЗАЦІЇ ТЕПЛОВОЇ СХЕМИ ПРОМИСЛОВО-	
ОПАЛЮВАЛЬНОЇ ПАРОВОЇ КОТЕЛЬНІ	64
5 ТЕХНІКО - ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ПРОЄКТНИХ РІШЕНЬ.....	75
ВИСНОВКИ.....	86
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	89

Додаток А (обов'язковий). ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ.....	97
Додаток Б (обов'язковий). ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ.....	98
Додаток В (довідковий). РЕЗУЛЬТАТИ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ.....	103
Додаток Г (довідковий). МОНТАЖ ОБЛАДНАННЯ КОГЕНЕРАЦІЙНОЇ ТЕПЛОНАСОСНОЇ УСТАНОВКИ.....	135
Додаток Д. ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА.....	148

ВСТУП

Актуальність теми. Електрична та теплова генерація в Україні, що забезпечує балансування та маневреність енергосистеми, особливо постраждала останнім часом. Теплова генерація зазнала значної шкоди і країні потрібно відновити її за допомогою сучасних високоефективних технологій з широким впровадженням відновлюваних джерел енергії. Це забезпечить децентралізацію енергетичної системи України, що зробить її більш гнучкою та підвищить енергетичну безпеку та автономність окремих регіонів. Застосування відновлюваних джерел енергії дозволить уникнути залежності від імпорتنих енергоносіїв. З огляду на вищезазначені факти, теплові насоси слід розглядати як одну з найбільш перспективних енергетичних технологій теплопостачання та використання відновлюваних джерел енергії.

Отже, тема МКР є актуальною.

Зв'язок МКР з науковими програмами, планами, темами. МКР виконана за темою у відповідності з тематикою досліджень наукового напрямку кафедри теплоенергетики ВНТУ.

Метою МКР є підвищення енергоефективності теплової схеми промислово-опалювальної котельні Дзвиняцького лісокомбінату шляхом застосування когенераційної теплонасосної установки.

У відповідності до мети МКР сформульовані та розв'язані такі основні **завдання:**

1. Виконати аналітичний огляд літературної інформації з підвищення енергоефективності шляхом застосування теплонасосних установок.
2. Оцінити фактори, що впливають на ефективність систем з тепловими насосами, оцінити критерії ефективності, математичну модель та визначитись із програмним забезпеченням для проведення досліджень з варіантного аналізу проектів для забезпечення підвищення енергоефективності в тепловій схемі парової промислово-опалювальної котельні.

3. Розробити рішення з технології монтажу ефективних когенераційних теплонасосних установок в тепловій схемі парової промислово-опалювальної котельні.

4. Виконати оцінку економічних показників варіанту модернізації у разі використання когенераційної теплонасосної установки в схемі котельні.

Об'єктом дослідження є теплова схема парової котельні Дзвиняцького лісокомбінату, що відпускає теплоту на технологію, опалення та гаряче водопостачання.

Предметом дослідження є способи та засоби з підвищення енергоефективності в тепловій схемі парової котельні підприємства.

Методи дослідження. При виконанні МКР використано методи математичного моделювання, а також, методи аналізу та синтезу складних енергетичних систем.

Новизна отриманих результатів

Здобули подальший розвиток методи підвищення енергоефективності та забезпечення економії палива для промислово-опалювальних парових котелень шляхом встановлення когенераційних теплонасосних установок з використанням теплоти вторинних енергоресурсів.

На основі використаного програмного забезпечення досліджено, проаналізовано та оцінено ефективність варіантів проектів із застосування когенераційних теплонасосних установок з використанням теплоти вторинних енергоресурсів.

Апробація роботи

Основні результати досліджень МКР було апробовано на Міжнародній та Всеукраїнській науково-практичних конференціях.

Публікації результатів МКР. Результати представлених в МКР наукових досліджень опубліковані у двох тезах доповідей вищевказаних науково-технічних конференцій [1 - 2].

Структура та обсяг роботи. МКР складається: із вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаної літератури, технічного завдання та додатків. Загальний об'єм роботи становить 95 сторінок. МКР містить ілюстрації, графічні залежності, необхідні креслення.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

1.1 Теплові насоси для забезпечення переходу на чисту енергію

Теплові насоси є ключовою технологією для забезпечення переходу на чисту енергію та досягнення кліматичної цілі ЄС щодо досягнення вуглецевої нейтральності до 2050 року.

Згідно з даними Євростату, близько 50% від усієї енергії, споживаної в ЄС, використовується для потреб опалення та охолодження, а понад 70% енергії все ще надходить з викопного палива (переважно - природного газу). У житловому секторі близько 80% кінцевого споживання енергії використовується для опалення приміщень і нагрівання води. Теплові насоси є зрілою технологією, яка є набагато енергоефективішою, ніж котли. Теплові насоси дозволяють в більшій мірі використовувати відновлювані джерела енергії, енергію навколишнього середовища та відпрацьоване тепло [3].

У будівлях теплові насоси переважно використовуються для опалення, гарячого водопостачання, а в деяких випадках також для охолодження. Замість того, щоб виробляти тепло, вони «витягують» та підвищують енергію навколишнього середовища (тепло чи холод із зовнішнього повітря та поверхневих або стічних вод) або геотермальну енергію (тепло чи холод із землі чи ґрунтових вод). Цикл охолодження в більшості випадків є циклом стиснення пари холодоагента, споживає електричну енергію, але існують також сорбційні цикли, які приводяться в дію теплом.

1.2 Розгортання теплових насосів в ЄС

У звіті, опублікованому в 2022 році Міжнародним енергетичним агентством (МЕА) [4], прогнозується, що теплові насоси знизять попит на газ в Європі для опалення будівель щонайменше на 21 мільярд кубічних метрів у 2030 році.

Теплові насоси можуть зменшити залежність ЄС від імпорту викопного палива та сприяти електрифікації та декарбонізації попиту на енергію. Їх поширеність на ринку зросла за останнє десятиліття, особливо під час енергетичної кризи. Згідно з цілями Зеленої угоди ЄС, план REPowerEU [5], передбачає першочергові інвестиції у відновлювані джерела енергії та енергоефективність.

REPowerEU має на меті скоротити імпорт викопного палива, подвоїти поточну кількість теплових насосів у будівлях і прискорити впровадження великих теплових насосів у мережах централізованого опалення та охолодження.

Лише у 2022 році було встановлено 3 мільйони теплових насосів, а до 2027 року планується встановити щонайменше 10 мільйонів додаткових теплових насосів.

1.3 Платформа прискорювача впровадження теплових насосів

Щоб прискорити темпи впровадження теплових насосів, Комісія запустила платформу прискорювачів теплових насосів у листопаді 2024 року, що заохочуватиме галузевих експертів, політиків і зацікавлених сторін до співпраці, обміну передовим досвідом та ідеями та спільного обговорення заходів, які сприяють стійким рішенням для опалення [6].

Платформа — це динамічна загальноєвропейська ініціатива, спрямована на прискорення впровадження теплових насосів у будівлях, промисловості та системах централізованого теплопостачання. Розгортання теплових насосів має центральне значення для переходу на чисту енергію та досягнення вуглецевої нейтральності відповідно до цілей, визначених Європейською зеленою угодою та планом REPowerEU.

Платформа створена для того, щоб об'єднати ключових гравців для співпраці, обміну ідеями, досвідом і найкращими практиками для просування екологічних рішень для опалення.

Щоб визначити перешкоди для впровадження теплових насосів у ЄС і запропонувати цільові політичні заходи для їх усунення, платформа прискорювачів

теплових насосів об'єднала спеціалістів із роботи з тепловими насосами з усього ЄС для спільної роботи та прискорення впровадження теплових насосів, створила мережу, присвячену стійким рішенням опалення, відстежує політику, яка впливає на впровадження теплових насосів, особливо на національному рівні, узгоджує стратегії в енергетиці, промисловості, дослідженнях і освіті, щоб усі вони підтримували розгортання теплових насосів для подолання бар'єрів за допомогою досвіду учасників платформи.

Платформа прискорювачів теплових насосів відкрита для національних і регіональних органів влади, енергетичних агенцій, дослідницьких інститутів, організацій громадянського суспільства, установників/підрядників, фінансових установ, освітніх і навчальних закладів, комунальних компаній, регуляторів і мережевих операторів. Її члени займатимуть центральне місце у відстеженні ринкових даних, оцінці політики та точному визначенні потреб у навчанні, дослідженнях та інноваціях. Вони також підтримуватимуть розробку дорожньої карти, яка підвищить ефективність теплового насоса та сталість.

Протягом 3-річного періоду (2024-2027) платформа організує 9 структурованих зустрічей, які пропонуватимуть можливості для обміну досвідом, внеску в стратегію та формування цілей Платформи. Ці зустрічі проходитимуть у Брюсселі в гібридному форматі, що дозволить членам гнучко відвідувати онлайн або особисто. Проте настійно рекомендується 1 особиста зустріч на рік.

14 листопада 2024 року ЕНРА організувала інформаційну веб-сесію, на якій пояснила, що таке «Платформа прискорювача теплового насоса» та як зацікавлені сторони можуть взяти участь і зробити внесок у її впровадження [7].

Ініціатива спільно організована Європейською асоціацією теплових насосів, бельгійською дослідницькою організацією VITO та німецьким дослідницьким інститутом Fraunhofer ISE для Європейської комісії [8].

Місцеві дії для впровадження національних енергетичних планів: декарбонізація опалення та охолодження в Європі [9].

Як європейські регіони та місцеві учасники реалізують свої національні енергетичні та кліматичні плани (NECP)? 3 грудня 2024 року Європейська асоціація

теплових насосів (ЕНРА) провела вебінар «Від місцевих дій до глобальних змін: найкращі практики опалення та охолодження з відновлюваних джерел», демонструючи, як європейські регіони та місцеві громади реалізують свої національні енергетичні та кліматичні плани (NECPs). У заході взяли участь експерти та дослідники проекту REDI4HEAT, що фінансується ЄС, який зосереджується на розробці рамок для впровадження NECPS та методів оцінки для відстеження їх прогресу. Вебінар містить огляд проекту REDI4HEAT, досліджує законодавчу базу європейської стратегії опалення та охолодження, а також представляє приклади з Кастилії і Леона в Іспанії та округу Леррах у Німеччині. Доповідачами були Андро Бачана з Хорватського національного інституту енергетики, Марко Перетто з Інституту європейської енергетичної та кліматичної політики (IEECP), Рафаеля Аюсте з Енергетичного агентства Castilla y León та Френка Жерара з аналітичного центру Trinomics.

REDI4HEAT об'єднує національні енергетичні агентства, торгові асоціації, місцеві органи влади та енергетичних консультантів, розробляючи пілотні проекти в п'яти країнах ЄС. Проект зосереджений на виявленні прогалин у поточних стратегіях і реалізації рекомендацій, узгоджених з європейськими директивами, такими як Директива про відновлювані джерела енергії (RED), Директива про енергоефективність (EED) і Директива про енергетичну ефективність будівель (EPBD).

Андро Бачан детально розповів про методологію ретельного дослідження проекту для вибору демонстраційних сайтів і встановлення ключових факторів успіху (KSF) для моніторингу прогресу. KSF охоплює широкий спектр критеріїв, включаючи оцінку витрат, доступ до консультацій та інформації, а також ефективну інтеграцію з іншими технологіями відновлюваної енергії.

Зрештою, ефективність є керівним принципом для успішної реалізації, як пояснив Перетто на своїй сесії, підкреслюючи центральну роль принципу EED «енергоефективність перш за все» в проектах декарбонізації. Цей принцип також реалізується в мандаті EPBD щодо мінімальних стандартів енергоефективності

(MER) у житлових і нежитлових будівлях, які мають вирішальне значення для узгодження місцевих дій з амбітними кліматичними цілями Європи [10].

Два тематичні дослідження краще пояснюють зв'язок між місцевими стратегіями та європейськими директивами. Хоча Кастилія-і-Леон і Леррах знаходяться в різних країнах – Іспанії та Німеччині – стикаються з надзвичайно схожими проблемами декарбонізації. У Кастилії та Леоні, регіонах, які характеризуються більш холодним кліматом (порівняно з рештою країни) і сільською економікою, Рафаель Аюсте представив стратегію, зосереджену на інтеграції відновлюваних джерел енергії, таких як теплові насоси та сонячна енергія. Він підкреслив кампанії залучення громадськості, професійне навчання та індивідуальні фінансові стимули як ключ до залучення місцевої громади.

Тим часом у районі Леррах Франк Жерар розповів, як Закон Німеччини про захист клімату та мандати EED щодо планування муніципального опалення та охолодження сприяли створенню комплексної стратегії.

Використовуючи співпрацю між муніципалітетами, комунальними службами та приватними зацікавленими сторонами, Lörrach склав карту існуючих систем опалення та їхній потенціал відновлюваної енергії, уможливорюючи цілеспрямовані заходи, такі як геотермальна розвідка та розширення централізованого теплопостачання.

Ці тематичні дослідження підкреслюють критичну роль місцевих і регіональних органів влади у впровадженні європейської кліматичної політики. Багаторівневий підхід, який поєднує законодавчу підтримку, місцеве планування та залучення громади, має важливе значення для забезпечення того, щоб регіональні та місцеві ініціативи відповідали європейським директивам і вирішували спільні проблеми.

Розширюючи можливості регіонів і міст за допомогою виділених ресурсів, включаючи фінансування, знання та чіткі рамки політики, ми можемо прискорити перехід до сталого майбутнього [11].

Рекуперація відпрацьованого тепла (WHR) за допомогою теплових насосів – це процес уловлювання та повторного використання відпрацьованого тепла, яке в

іншому випадку було б витрачено. Відпрацьоване тепло може отримати значні переваги як джерело відновлюваної енергії, здатне задовольнити потенційну частину потреб у будівництві, промислових процесах і гарячій воді в ЄС. Досліджується потенціал WHR з тепловими насосами, екологічні та фінансові переваги WHR, поточний політичний ландшафт ЄС і надаються політичні рекомендації для розкриття потенціалу WHR.

WHR з тепловими насосами.

Теплові насоси можуть уловлювати та повторно використовувати відпрацьоване тепло, піднімаючи його до значно вищої температури. Рекуперація відпрацьованого тепла за допомогою теплових насосів потребує трьох компонентів:

- джерело відпрацьованого тепла;
- тепла мережа для зберігання та розподілу тепла;
- радіатор, іншими словами користувач, який потребує енергії.

Джерелами тепла можуть бути промислові процеси, центри обробки даних, офісні та комерційні будівлі. Часто відпрацьоване тепло є результатом процесів охолодження. Теплові мережі, також відомі як централізоване опалення та охолодження, можуть працювати за температури навколишнього середовища або – якщо ізольовані – за вищих температур. Теплоприймачами можуть бути комерційні або громадські будівлі (лікарні, офіси), промислові процеси або високотемпературна централізована енергетична мережа. Розгортання теплових насосів допомагає підвищити енергоефективність у різних сферах застосування та зменшує потребу у виробленні «нової» енергії.

Теплові насоси — це пристрої, які забезпечують опалення, охолодження та гарячу воду для будинків, підприємств і промисловості шляхом передачі енергії з джерел води або повітря. Вони «перекачують» енергію з нижчого рівня на вищий за допомогою циклу холодоагенту (випаровування, стиснення, конденсація та розширення). При цьому джерело тепла охолоджується. Цей процес може відбуватися на місці, у промисловому процесі або в будівлі, або між об'єктами, і в цьому випадку потрібна енергетична мережа для транспортування відновленої

енергії. Теплові насоси, які широко використовуються в офісах, лікарнях і комерційних центрах, також можуть зіграти ключову роль у декарбонізації промислового сектора ЄС.

Енергоємні галузі, такі як виробництво молока, паперу, напоїв і харчових продуктів, а також майже будь-який процес сушіння можуть модернізувати великі теплові насоси для підвищення енергоефективності та зменшення споживання первинної енергії. Здатні досягати температури до 200°C, теплові насоси придатні для постачання технологічного тепла, часто замінюючи природний газ, і можуть бути в два-чотири рази ефективнішими, ніж традиційні методи опалення, використовуючи низькопотенційне відхідне тепло. Якщо потрібні як нагрівання, так і охолодження, ефективність ще більша, коли одна одиниця електроенергії забезпечує п'ять-дев'ять одиниць корисного нагріву та охолодження [12].

У цьому випадку одна частина теплового насоса охолоджує систему (центр обробки даних, будівлю, обробку харчових продуктів тощо) і переробляє енергію, отриману шляхом підвищення її температури, надаючи її на гарячу сторону теплового насоса користувачеві тепла, наприклад, районна енергомережа або лікарня. Вищі температури можна досягти за рахунок наявності кількох теплових насосів, кожен з яких подає теплоту в наступний («багатоступінчасті установки»), а ефективність можна підвищити, з'єднавши будівлі з додатковими потребами в опаленні та охолодженні через теплові мережі, дозволяючи теплу від системи охолодження однієї будівлі повторно використовувати для опалення в іншому. Крім того, центри обробки даних споживають велику кількість електроенергії для обробки інформації та, таким чином, виділяють велику кількість відпрацьованого тепла. За даними IEA, глобальне споживання електроенергії центрами обробки даних у 2022 році становило 240-340 ТВт-год, або приблизно 1-1,3% світового попиту на електроенергію.

Завдяки 17 000 систем централізованого тепlopостачання та мереж, які обслуговують 67 мільйонів європейців по всьому континенту, рекуперація відпрацьованого тепла є усталеним рішенням у міських районах. Сьогоднішній виклик екологізації централізованого опалення полягає в перетворенні

виробництва тепла на основі викопного палива на опалення та охолодження без викидів, що може бути забезпечено тепловими насосами [13].

Екологічні та фінансові переваги WHR.

Повторне використання відпрацьованого тепла знизить витрати для споживачів, зменшивши попит на первинні джерела енергії та зменшивши потребу в додаткових системах опалення, оскільки дешевше повторно використовувати енергію, ніж купувати або виробляти її.

Відпрацьоване тепло може замінити викопну енергію, яка в іншому випадку використовується для виробництва тепла, без додаткового тиску на електричну мережу. Повна активація відпрацьованого тепла за допомогою інтегрованого підходу має потенціал для економії 67,4 мільярдів євро на рік (у 2050 році) після повного впровадження в ЄС – приблизно до поточного ВВП Словенії. Економія стає особливо актуальною, коли йдеться про опалення приміщень у існуючих будівлях, де впровадження теплових насосів може замінити потребу в енергії та зменшити потребу в глибокій реконструкції. Недавні дослідження показали, що теплові насоси можна використовувати в частково відремонтованих будівлях, що робить більшу кількість придатних для декарбонізації. Ця ефективність зростає, оскільки все більше застосувань, включаючи центри обробки даних, електромобілі та водневий електроліз, конкурують з тепловими насосами за все більш напружену електричну мережу.

Промисловий сектор потребує повторного використання відпрацьованого тепла для досягнення цілей енергоефективності, оскільки його власні джерела відпрацьованого тепла наразі рідко використовуються, а основний потенціал втрачається. Цей енергетичний потенціал відповідає загальній потребі в енергії для опалення та гарячої води в житлових будинках і будівлях сфери обслуговування в ЄС-27 + Великобританії, яка становить приблизно 3180 ТВт-год на рік.

Політичний ландшафт ЄС.

Пакет ЄС «Fit for 55» включає використання відпрацьованого тепла в багатьох положеннях, оскільки він визнає необхідність припинити марнування

теплової енергії. Нижче наведено різні частини європейського законодавства, які стосуються утилізації відпрацьованого тепла.

Директива про відновлювані джерела енергії (RED III)

Директива про відновлювану енергетику встановлює загальну ціль щодо досягнення частки енергії з відновлюваних джерел і відхідного тепла в 43,5% до 2030 року.

• Визначення відпрацьованого тепла та холоду (стаття 2)

«Відпрацьоване тепло і холод означає неминуче тепло або холод, що утворюється як побічний продукт на промислових чи енергетичних установках або в третинному секторі, який буде розсіюватися невикористаним у повітрі або вода без доступу до централізованої системи опалення або охолодження, де використовувався або буде використовуватися процес когенерації або де когенерація неможлива» [14].

Щоб кваліфікуватись як відпрацьоване тепло або холод згідно з RED III, мають бути виконані чотири кумулятивні критерії:

1. Відпрацьоване тепло і холод повинні бути «неминучими». Його неможливо обґрунтовано (з технічної та економічної точки зору) уникнути, внутрішньо спожити або зменшити (на всіх етапах) шляхом технічного та енергоефективного вдосконалення.

2. Утворення відпрацьованого тепла та холоду має бути «побічним продуктом».

3. Вироблення відпрацьованого тепла та холоду має відбуватися в «промислових або енергетичних установках або в третинному секторі».

4. Тепло чи холод «розсіюватимуться без використання ... без доступу до системи централізованого опалення чи охолодження». Потік тепла чи холоду має бути доставлений до системи централізованого опалення чи охолодження. Рекуперація відпрацьованого тепла без доступу до централізованої системи опалення чи охолодження, наприклад, на місці або в окремій будівлі, не може бути врахована для цілей RED.

На додаток до цих чотирьох кумулятивних критеріїв, для того, щоб тепловий або холодний потік розглядався як відпрацьоване тепло або холод і сприяв досягненню цілей RED, у визначенні міститься загальна вимога завжди розглядати «когенерацію» як електроенергії, так і тепла.

- Інтеграція відновлюваних джерел енергії в будівлі (стаття 15a)

Параграф 2 статті 15a дозволяє відпрацьованому теплу та холоду становити до 20% частки відновлюваної енергії держави-члена. Якщо це так, цільовий показник має бути збільшений на половину використаного відсотка.

Як пояснюється в інструкціях Європейської комісії щодо аспектів опалення та охолодження в статтях 15a, 22a, 23 і 24 Директиви про відновлювані джерела енергії, якщо держава-член встановить індикативну ціль у 50%, їй буде дозволено нараховувати 10 процентних пунктів. (20% з 50%) відпрацьованого тепла та холоду до цієї мети. Однак індикативна ціль тоді збільшиться на 5 процентних пунктів (половина відсотка відпрацьованого тепла та холоду враховується до цієї цілі), що призведе до орієнтовної національної частки 55%.

- Інтеграція відновлюваної енергії в промисловість (стаття 22a)

Стаття 22a запроваджує орієнтовну ціль для промислового сектору та обов'язкову ціль щодо відновлюваного рідкого та газоподібного палива небіологічного походження (RFNBO). Зокрема, він зобов'язує «держави-члени прагнути збільшити частку відновлюваних джерел у кількості джерел енергії, що використовуються для кінцевої енергії та неенергетичних цілей у промисловому секторі, орієнтовним збільшенням принаймні на 1,6 відсоткових пункти як середньорічне значення, розраховане для періодів 2021–2025 та 2026–2030 років».

Стаття 22a передбачає, що можуть враховуватися лише відходи та холод, що постачаються від ефективного централізованого опалення та охолодження, і що немає верхньої межі під час розрахунку, на скільки має бути збільшено цільовий показник у результаті обліку відпрацьованого тепла. Цільовий показник має бути збільшений на половину відсоткових пунктів відпрацьованого тепла та холоду.

Стаття 22a також визначає, що відпрацьоване тепло з мереж, «де вся теплова енергія використовується виключно на місці і не продається, має бути виключено».

Це положення стосується промислових об'єктів, де одне підприємство має кілька будівель, підключених до однієї мережі централізованого теплопостачання, і споживає власне відхідне тепло.

- Цільова частка відновлюваних джерел енергії в опаленні та охолодженні (стаття 23)

Держави-члени можуть зараховувати відпрацьоване тепло та холод до середньорічного збільшення відновлюваної енергії в секторі опалення та охолодження. Це щорічне збільшення встановлено щонайменше на 0,8 відсоткових пунктів на рік для періоду з 2021 по 2025 рік і щонайменше на 1,1 відсоткових пунктів для періоду з 2026 по 2030 рік. Відпрацьоване тепло може покривати максимум 0,4 процентних пункти це збільшення.

Стаття 23 також зобов'язує держави-члени оцінювати потенціал використання відновлюваної енергії та відпрацьованого тепла та холоду у своєму секторі опалення та охолодження. Оцінка повинна розглядати доступні та економічно доцільні технології для промислового та домашнього використання для збільшення використання відновлюваної енергії в опаленні та охолодженні та, у відповідних випадках, використання відпрацьованого тепла та холоду шляхом централізованого опалення та охолодження.

- Цільова частка відновлюваних джерел енергії в системі централізованого опалення та охолодження (стаття 24)

Держави-члени повинні докладати зусиль для збільшення частки енергії з відновлюваних джерел і відпрацьованого тепла та холоду в системі централізованого опалення та охолодження приблизно на 2,2 відсоткових пункти на рік [15].

Держави-члени з часткою енергії з відновлюваних джерел і відпрацьованого тепла та холоду в системі централізованого опалення та охолодження понад 60 % можуть вважати будь-яку таку частку як відповідну середньорічному приросту. Держави-члени з часткою енергії з відновлюваних джерел і відпрацьованого тепла та холоду в системі централізованого опалення та охолодження вище 50 % і до 60

% можуть вважати будь-яку таку частку як таку, що відповідає половині середньорічного збільшення.

Директива про енергоефективність (EED)

- Основний принцип енергоефективності (EE1st) (Стаття 3)

Стаття 3 вимагає від держав-членів гарантувати, що доступні рішення з енергоефективності, які відповідають тій же конкретній потребі/цілі політики, оцінюються під час планування, політики та основних інвестиційних рішень.

Рекомендація Комісії 2024/2143 встановлює керівні принципи для тлумачення статті 3 EED і надає приклади можливих альтернатив або додаткових рішень для планів додаткового розвитку інфраструктури в енергетичних системах і неенергетичних секторах. Рекуперація відпрацьованого тепла вказана як альтернативне/додаткове рішення в секторах тепла, промисловості.

Крім того, рекомендації пропонують заходи в різних сферах політики для сприяння застосуванню принципу EE1st. Повторне використання відпрацьованого тепла та інтеграція відхідного тепла в мережі централізованого теплопостачання перераховані як заходи у сфері постачання та розподілу енергії.

- Делегований регламент Комісії 2024/1364 щодо першого етапу створення загальної системи рейтингів Союзу для центрів обробки даних (імплементация статті 12 EED)

Звітність щодо центрів обробки даних має забезпечувати включення інформації та ключових показників ефективності, викладених у Додатках до Делегованого регламенту 2024/1364, до європейської бази даних центрів обробки даних. Ключові показники продуктивності призначені для вимірювання енергоспоживання, використання електроенергії, заданих температур, утилізації відпрацьованого тепла, використання води та використання відновлюваної енергії в центрах обробки даних.

- Оцінка та планування опалення та охолодження (стаття 25)

i. Державам-членам пропонується вжити відповідних заходів для розвитку ефективної інфраструктури централізованого опалення та охолодження та утилізації відпрацьованого тепла.

ii. Держави-члени включають у свої регіональні та місцеві плани опалення та охолодження оцінку та картування потенціалу підвищення енергоефективності, включаючи WHR (муніципалітети із загальною чисельністю понад 45 000 осіб).

- Тепло- та холодопостачання (стаття 26)

i. Встановіть критерії для ефективної системи централізованого опалення та охолодження, щоб забезпечити більш ефективне споживання первинної енергії та збільшити частку відновлюваної енергії в опаленні та охолодженні, що надходить у мережу.

ii. Держави-члени забезпечують, щоб центри обробки даних із загальною номінальною споживаною енергією, що перевищує 1 МВт, використовували відпрацьоване тепло або інші програми WHR, якщо вони не можуть довести, що це технічно чи економічно неможливо.

o Це зобов'язання поширюється на всі діючі центри обробки даних, потужність яких перевищує порогове значення 1 МВт, де наразі не використовуються відпрацьоване тепло або інші програми для утилізації відпрацьованого тепла. У центрах обробки даних, де відпрацьоване тепло не використовується або немає інших програм рекуперації відпрацьованого тепла, необхідно провести оцінку потенційного використання відпрацьованого тепла.

iii. Держави-члени гарантують, що оператори теплової генерації електроенергії, промислових установок, об'єктів обслуговування та центрів обробки даних проводять аналіз витрат і вигод (СВА) під час планування нових або значної реконструкції об'єктів виробництва енергії, які перевищують певні порогові витрати енергії.

- Для теплових установок виробництва електроенергії (споживана енергія понад 10 МВт) СВА повинен оцінити витрати та вигоди від забезпечення експлуатації установки як високоефективної когенераційної установки.

- Для промислових установок (споживана енергія понад 8 МВт) і об'єктів обслуговування (споживана енергія понад 7 МВт) СВА повинен оцінити утилізацію відпрацьованого тепла на місці та за його межами.

- Для центрів обробки даних (споживана енергія понад 1 МВт) СВА має оцінити рекуперацію відпрацьованого тепла та потенційні підключення до систем централізованого опалення або охолодження, враховуючи технічні та економічні фактори.

WHR визнано заходом із пом'якшення клімату та екологічних інвестицій у таксономічному регламенті ЄС. У Делегованому акті про пом'якшення наслідків зміни клімату (розділ 4.25) Таксономії чітко зазначено, що відпрацьоване тепло вносить значний внесок у пом'якшення наслідків зміни клімату, і це відповідає вимогам принципу «Незначна шкода» (DNHS) [16].

Рамкова директива щодо відходів. Відпрацьоване тепло прямо не згадується в цій Директиві. Однак цей документ встановлює ієрархію відходів, яка має застосовуватися як пріоритетний порядок.

Керівні принципи державної допомоги для клімату, захисту навколишнього середовища та енергетики. Згідно з настановами, проекти утилізації тепла можуть мати право на фінансування, якщо вони є частиною існуючої ефективної системи централізованого теплопостачання.

Закон про промисловість Net-Zero. Декларація 67 Закону про промисловість Net Zero Industry згадує відпрацьоване тепло наступним чином: «Для підтримки інтеграції енергії з відновлюваних джерел в енергетичну систему Союзу та її переваг для економічно ефективної декарбонізації внесок у сталий розвиток пропозицій може враховувати внесок у інтеграція енергетичних систем шляхом, наприклад, накопичення енергії, утилізації відпрацьованого тепла та холоду та виробництва відновлюваного водню».\

Директива про очищення міських стічних вод (UWWTD). Стаття 11 UWWTD зобов'язує держави-члени «забезпечувати проведення енергоаудитів, як визначено в пункті (32) статті 2 Директиви (ЄС) 2023/1791, міських очисних споруд і систем збору, що діють, кожні чотири років. Ці аудити повинні включати визначення потенціалу економічно ефективних заходів для зменшення використання енергії та збільшення використання та виробництва відновлюваної енергії, з особливим акцентом на виявленні та використанні потенціалу для виробництва біогазу або

відновлення та використання відпрацьоване тепло на місці або через центральну енергетичну систему, одночасно зменшуючи викиди парникових газів.

Перші перевірки проводяться:

(a) до 31 грудня 2028 року для міських очисних споруд, які очищають навантаження 100 000 р.е. і вище та підключених до них колекторних систем

(b) до 31 грудня 2032 року для міських очисних споруд, які очищають навантаження від 10 000 п.е. та 100 000 п.е. і підключених до них колекторних систем».

В даний час відхідне тепло в основному визначається в контексті промислових процесів і виробництва електроенергії, причому його застосування в основному пов'язане з третинним сектором (мається на увазі послуги) і централізованим опаленням і охолодженням. Це вузьке визначення не враховує значних можливостей для так званої рекуперації відпрацьованого тепла на місці в системах опалення, вентиляції та кондиціонування, включаючи відпрацьоване повітря в будівлях. У той час як відпрацьоване тепло на місці зосереджено на локалізованому повторному використанні енергії в межах одного об'єкта, відпрацьоване тепло за межами об'єкта передбачає передачу та використання енергії в різних місцях, що зазвичай вимагає розгалуженішої інфраструктури та координації між об'єктами централізованого охолодження та опалення.

Повторне використання відпрацьованого тепла на місці є відносно простим, оскільки передусім передбачає модернізацію існуючих систем опалення та охолодження та модифікацію існуючих трубопроводів. Працівники, які вже працюють у секторі опалення та охолодження, володіють необхідними навичками для проведення такого підвищення без необхідності записуватися на подальші курси спеціалізації.

Такі програми, як центри обробки даних, очисні споруди, лікарні та інші процеси, повинні підтримувати безперервну роботу. У цьому контексті ці об'єкти представляють значну можливість прискорити декарбонізацію систем опалення та охолодження в ЄС. Вони пропонують економічно ефективне та легко реалізоване рішення.

Крім того, хоча певні дозволи все ще потрібні, вони набагато менш масштабні порівняно з муніципальним плануванням і дозволами, необхідними для рекуперації відпрацьованого тепла в мережах централізованого опалення та охолодження (ЦО).

При модернізації систем опалення та охолодження часто є можливість об'єднати чиллери та котельні в єдину, високоефективну, електрифіковану систему управління теплом. Ця консолідація зменшує кількість механічного обладнання на місці, знижуючи витрати та пропонуючи високу віддачу від інвестицій для власників будівель.

І теплообмінники, і теплові насоси відіграють ключову роль у застосуванні відпрацьованого тепла на місці. Теплообмінники повторно вводять відпрацьоване тепло в систему, а теплові насоси можуть перетворювати відпрацьоване тепло в тепло з вищою температурою.

Нам потрібен комплексний законодавчий підхід до цього питання, який би розглядав утилізацію відпрацьованого тепла як на території, так і на території. Наші конкретні рекомендації щодо того, що це має включати, можна знайти нижче.

Рекомендації щодо політики ЕНРА [17] можна згрупувати навколо трьох напрямків.

1. Гармонізувати регулювання та стандарти та заповнити прогалини в законодавстві ЄС

- Створити покращену структуру для прискореного впровадження теплових насосів: розробити необхідну політику та фінансові рамки, щоб допомогти сектору досягти мети REPowerEU щодо 60 мільйонів додаткових теплових насосів, встановлених у Європі до 2030 року. У вираженні енергії це становить майже 1500 ТВт-год. кінцевого споживання енергії (FEC), що постачається тепловими насосами в 2030 році. У нашому документі «Прискорювач теплового насоса» ми пропонуємо огляд шляхів вирішення проблем, визначених галузевими зацікавленими сторонами, урядами та неурядовими організаціями щодо впровадження теплових насосів у Європі. Що стосується WHR, ми рекомендуємо:

- о Регулювати повторне використання відпрацьованого тепла, зробивши обов'язковим для таких суб'єктів, як центри обробки даних, будівлі з

кондиціонером або промислові підприємства, розробку плану використання відпрацьованого тепла.

о Регулювати використання промислових теплових насосів, зробивши обов'язковим для галузей промисловості пов'язувати необхідне опалення та охолодження відходів у плануванні процесу.

- Європейські керівні принципи WHR: розробити комплексні загальноєвропейські керівні принципи впровадження WHR, забезпечуючи послідовність, обмін найкращими практиками на всьому континенті

- Комплексне визначення WHR: визначення відпрацьованого тепла має охоплювати всі відповідні та можливі застосування відпрацьованого тепла, включаючи рекуперацію відпрацьованого тепла на місці, наприклад, від охолодження будівель. Законодавство ЄС передбачає вузьке визначення, обмежене відпрацьованим теплом, яке можна використовувати лише для систем централізованого опалення та охолодження в RED III. Подальші посилання на «відпрацьоване тепло» в інших законодавчих актах стосуються або більш широкого використання відпрацьованого тепла (наприклад, EED, стаття 23, Додаток IX), або виключно його використання для централізованого опалення та охолодження (наприклад, EED, стаття 24, Таксономія ЄС) [18].

- Розширити роль відпрацьованого тепла за межі централізованого опалення та охолодження шляхом, наприклад, встановлення галузевих цілей для відповідних промислових секторів і великих комерційних будівель (наприклад, лікарень, аеропортів, готелів, центрів обробки даних, комерційних кухонь тощо). Підкресліть, що максимізація збору відпрацьованого тепла вимагає, щоб мережі централізованого опалення та охолодження працювали при найнижчому можливому температурному рівні, в ідеалі при температурі навколишнього середовища. Переконайтеся, що розподіл теплової енергії між межами окремих ділянок є юридично можливим. Заохочуйте міста розглядати (температура навколишнього середовища) мережі централізованого опалення та охолодження як частину інфраструктури, поряд з електроенергією, даними, водою та стічними водами.

- Таксономія ЄС: у той час як рекуперація відпрацьованого тепла вже визнана засобом пом'якшення клімату та екологічних інвестицій відповідно до таксономії, «виробництво енергії з використанням відпрацьованого тепла» наразі відсутнє, незважаючи на те, що це рішення з нейтральним викидом вуглецю. З цієї причини ми б рекомендували додати відпрацьоване тепло для виробництва електроенергії (утилізація відпрацьованого тепла з промислових і третинних джерел для виробництва електроенергії для внутрішнього або зовнішнього використання) до переліку енергетичних заходів, які слід враховувати відповідно до таксономічного регламенту ЄС.

- Система торгівлі викидами ЄС (ETS): незважаючи на значні переваги для сталого розвитку та клімату, WHR з промислових процесів повинні мати право на безкоштовне отримання розподіл в рамках ETS. Зробивши це, для галузей промисловості буде більш фінансово привабливим прийняти WHR.

2. Визнати WHR в оцінці кліматичного плану

- Національні енергетичні та кліматичні плани (NECP): Держави-члени та відповідні місцеві органи влади повинні включити стратегії, пов'язані з відпрацьованим теплом, у свої майбутні Національні енергетичні та кліматичні плани (NECP), а також у свої оцінки опалення та охолодження та місцеві плани. Що стосується конкретних заходів щодо інтеграції технологій відновлюваної енергетики, усі країни підтримуватимуть впровадження теплових насосів, переважно в індивідуальних домогосподарствах, як інструмент для заміни індивідуальних нагрівальних приладів, що працюють на викопному паливі. Тим не менш, план використання технології переробки відходів в енергетику передбачено лише в польському NECP, тоді як Данія планує припинити субсидії на спалювання [19].

3. Встановити фінансові механізми та посилити стимули

- Механізм регулювання кордонів викидів вуглецю (CBAM): переконайтеся, що CBAM заохочує промисловість в ЄС інвестувати в технології WHR як спосіб зменшити свій вуглецевий слід і підвищити свою конкурентоспроможність.

- Податкові знижки на національному рівні: надайте податкові знижки або відрахування для компаній, які досягають енергозбереження за допомогою WHR.
- Позики з низькими відсотками: завдяки WHR можна отримати величезну щорічну економію – і навіть стати доходом. Тим не менш, початкові витрати на повністю електричні системи залишаються високими і відштовхують клієнтів. Доступ до фінансування слід полегшити шляхом створення програм кредитування з низькими відсотками, щоб компанії могли зіткнутися з високими початковими витратами на капіталомісткі проекти WHR.
- Заохочуйте укладання угод про закупівлю електроенергії (PPA): усунення перешкод для PPA є важливим для забезпечення ринкового розгортання відновлюваної енергії, а отже, відновлення WHR [20].

26 листопада три проекти, що фінансуються ЄС – PUSH2HEAT, SPIRIT і META BUILD – об'єднали експертів для обговорення інноваційних способів співпраці промислових і міських систем для підвищення енергоефективності та досягнення декарбонізації.

Вебінар, організований Європейською асоціацією теплових насосів, продемонстрував, як великомасштабні теплові насоси можуть перетворювати відпрацьоване тепло на цінний ресурс, сприяючи циркулярній енергетичній системі.

Це вже відбувається на заводі Weissenborn, одному з найбільших паперообробних підприємств Німеччини, який виробляє близько 100 000 тонн паперу на рік.

У прикладі, представленому Реуеном Пайтазоглу з Інституту Фраунгофера, продемонстровано, як високотемпературні теплові насоси використовувалися для відновлення відпрацьованого тепла.

Результат - значна економія енергії: споживання природного газу зменшилося на 453 000 кубометрів, а річні викиди CO₂ скоротилися на 231 тону.

Однак інноваційна роль промислових теплових насосів виходить за рамки окремих застосувань. Тут вступає в дію процес під назвою промисловий симбіоз, представлений у презентації Лівеном Демолдером з Гентського університету. Він

досліджує створення мереж, де відпрацьоване тепло або побічні продукти однієї галузі служать вхідними матеріалами для іншої, сприяючи ефективності використання ресурсів. Проте Демолдер попередив, що досягнення такої співпраці вимагає не лише технічних рішень, але й спеціальної політики, інфраструктури та фінансових стимулів.

Темою однієї з презентацій вебінару було з'єднання промисловості та міських центрів через промислово-міський симбіоз. Лаура Алонсо Оджангурен з Tescalia Innovation & Research поділилася інноваційним іспанським прикладом, де відпрацьоване тепло з мережі централізованого теплопостачання було модернізовано за допомогою високотемпературних теплових насосів для виробництва пари для металообробного заводу, що виробляє косметичні та парфумерні кришки в регіоні Каталонія. Ця система продемонструвала потенціал інтеграції міських енергетичних систем з промисловими процесами. Проект заощадив 13 000 мегават теплової енергії на рік і скоротив викиди CO₂ на 1 200 тонн.

Великі теплові насоси з електричним або тепловим приводом можна адаптувати до різних застосувань. Демонстраційні сайти, представлені під час вебінару, служать планами для подальших проектів у Європі та за її межами.

Швеція вже давно є чемпіоном у виробництві енергії з відновлюваних джерел і, разом з Норвегією та Фінляндією, входить до числа провідних країн Європи та світу за найбільшою кількістю теплових насосів на душу населення.

Нафтова криза наприкінці 1970-х років підштовхнула країну до електрифікації та використання біомаси. Однак через зростання вартості біомаси та зростання занепокоєння щодо її стійкості країна зараз прагне запровадити ще чистіші та екологічно чистіші технології, прагнучи стати прикладом для всієї Європи.

Щоб дослідити майбутнє опалення та охолодження в країні, Європейська асоціація теплових насосів (ЕНРА) та Європейська платформа технологій та інновацій з відновлюваних джерел опалення та охолодження (RHC ETIP) організували онлайн-круглий стіл 28 листопада.

Після торішньої уваги до Іспанії ця сесія підкреслила досягнення Швеції та синергію між трьома критично важливими технологіями постачання чистої енергії: централізоване опалення та охолодження, представлене Крістіною Лігнеруд, старшим експертом з енергетики та професором Університету Лунда; сонячне тепло, представлене Йоакімом Бистромом, генеральним директором компанії Absolicon, що займається сонячним теплом; і теплові насоси, представлені Маттіасом Ярвініеном зі Шведської асоціації теплових насосів [21].

Теплові насоси були основою опалювальної стратегії Швеції протягом десятиліть, і наразі в експлуатації їх понад 2,1 мільйона одиниць. Ярвінен продемонстрував еволюцію цих систем, які еволюціонували від перших застосувань у житлових приміщеннях до новіших моделей, що використовуються в комерційних будівлях, на заводах і в мережах централізованого теплопостачання. Він також підкреслив зростаючу роль великих теплових насосів для промислових процесів і утилізації відпрацьованого тепла.

Цей акцент на інтеграції теплового насоса тісно пов'язаний з мережею централізованого теплопостачання Швеції, яка наразі забезпечує близько 50% потреб країни в опаленні, як зазначив Лігнеруд. Хоча ці системи процвітали під час післявоєнного будівельного буму в Швеції, підкріпленого гідроенергією, сьогодні з'являються нові можливості. Це завдяки інтеграції з тепловими насосами для рекуперації надлишкового тепла та циклічного виробництва енергії.

Бистром пояснив, як довгі літні дні Швеції забезпечують сонячну енергію, що робить сонячну теплову енергію життєздатним доповненням до інших відновлюваних джерел.

Він представив концепцію резервуарів, сезонних систем зберігання тепла, які дозволяють використовувати сонячну енергію, зібрану влітку, у холодні місяці. Ці системи, які вже успішно працюють у Данії, можуть бути адаптовані до великих мереж централізованого теплопостачання Швеції, зменшуючи залежність від біомаси та біопалива.

Незважаючи на те, що вони зосереджені на різних технологіях, учасники дискусії поділилися єдиним баченням, коли їх запитали про майбутнє

декарбонізації в Європі. Вони наголосили на важливості побудови партнерства та синергії між політиками, промисловістю та громадами в секторі відновлюваної енергетики.

Продажі теплових насосів впали на 47% за перші шість місяців 2024 року порівняно з тим же періодом 2023 року. Лише 765 000 було продано в 13 європейських країнах цього року, порівняно з 1,44 мільйона в першій половині минулого року.

Це консолідує сповільнення річних продажів. У 2023 році продажі в 21 європейській країні впали приблизно на 6,5% порівняно з 2022 роком, змінивши тенденцію десятиліття. Продажі впали до 3,02 млн.

Зараз у будівлях Європи встановлено 23,96 мільйона теплових насосів, що на 13,7% більше, ніж у 2022 році.

Якщо щорічні продажі залишаться на цьому рівні, до 2030 року буде встановлено близько 45 мільйонів теплових насосів, що приблизно на 25% менше від цілей ЄС. ЄС втратив би потенційні інвестиції та чисте нульове зростання промисловості [22].

Основною причиною уповільнення є зміна політики та схем підтримки. Це можна чітко побачити на протилежних прикладах, таких як Нідерланди, де стабільна політика прискорила зростання, та Італія, де серйозні зміни в схемі підтримки дестабілізували довіру споживачів.

Ціни на газ стають дешевшими порівняно з електроенергією, де рахунки часто оподатковуються великими податками. Податки та збори потрібно відвести від електроенергії.

Для порівняння, найбільше зростання спостерігалось в Німеччині (продано 161 тис. додаткових теплових насосів порівняно з 2022 роком, +58,5%), Бельгії (+43 тис., +72,2%) і Нідерландах (+50 тис., +43,4%).

За кількістю теплових насосів (тобто всіх встановлених теплових насосів) на 1000 домогосподарств Норвегія лідирує з 635, за нею йдуть Фінляндія з 512 і Швеція з 438.

Незважаючи на нижчі продажі минулого року, теплові насоси завойовують частку ринку котлів, що працюють на викопному паливі, і це сприяє енергетичній незалежності Європи та нульовому лідерству в промисловості – але це потрібно прискорити.

Відстрочений план дій щодо використання теплового насоса є важливим інструментом для стабілізації сектора та використання переваг, які він пропонує. Нова Європейська Комісія має опублікувати його швидко.

Сьогодні європейський сектор теплових насосів забезпечує близько 170 000 прямих робочих місць і має величезний потенціал для зростання. Теплові насоси, встановлені в Європі, дозволили уникнути викидів 58,4 млн. тонн CO₂ за останні 20 років, 7,3 млн. тонн минулого року.

ЕНРА щороку публікує детальний огляд ринку теплових насосів у 21 європейській країні у своєму ринковому звіті.

1.4 Висновки до розділу 1

У розділі 1 виконаний аналітичний огляд літературної інформації щодо підвищення ефективності застосування теплонасосних технологій. Це дозволило сформулювати мету та завдання магістерської кваліфікаційної роботи.

Основною метою роботи є підвищення енергоефективності в тепловій схемі котельні Дзвиняцького лісокомбінату, що досягається методом впровадження когенераційної теплонасосної установки в тепловій схемі котельні.

Для досягнення встановленої мети визначені наступні завдання:

1. Виконати аналітичний огляд літературної інформації з підвищення енергоефективності шляхом застосування теплонасосних установок.
2. Оцінити фактори, що впливають на ефективність систем з тепловими насосами, оцінити критерії ефективності, математичну модель та визначитись із програмним забезпеченням для проведення досліджень з варіантного аналізу проектів для забезпечення підвищення

енергоефективності в тепловій схемі парової промислово-опалювальної котельні.

3. Розробити рішення з технології монтажу ефективних когенераційних теплонасосних установок в тепловій схемі парової промислово-опалювальної котельні.
4. Виконати оцінку економічних показників варіанту модернізації у разі використання когенераційної теплонасосної установки в схемі котельні.

2 МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОВИХ СХЕМ З ТЕПЛОВИМИ НАСОСАМИ

2.1 Аналіз факторів та показників ефективності схем з тепловими насосами, аналіз структури системи

Дана інформація була зібрана та систематизована на основі інформаційних джерел, зібраних з використанням ресурсів штучного інтелекту. Представлена інформація використовується для забезпечення системного підходу до оптимізації систем енергозабезпечення з тепловими насосами, здійснення комплексної оцінки.

Необхідно провести аналіз факторів та показників ефективності схем з тепловими насосами, виконати аналіз структури системи.

Отже, акцент в дослідженні МКР буде зосереджено на наступних факторах.

Системи теплових насосів з додатковими джерелами теплоти та їх особливості.

Основні варіанти комбінованих систем:

1. Тепловий насос + сонячні колектори:

- Підвищення ефективності системи
- Зменшення навантаження на тепловий насос
- Можливість сезонного акумулювання тепла
- Зниження експлуатаційних витрат

2. Тепловий насос + резервний котел:

- Забезпечення пікових навантажень
- Підвищення надійності системи
- Оптимізація капітальних витрат
- Можливість роботи в бівалентному режимі

3. Тепловий насос + геліосистема:

- Регенерація ґрунтового масиву
- Підвищення сезонної ефективності
- Можливість охолодження влітку

- Зменшення споживання електроенергії

Переваги використання додаткових джерел:

- Підвищення загальної ефективності системи
- Зниження експлуатаційних витрат
- Збільшення надійності теплопостачання
- Оптимізація режимів роботи
- Можливість використання відновлюваних джерел енергії

Особливості проектування:

1. Розрахунок оптимального співвідношення потужностей
2. Вибір схеми підключення додаткових джерел
3. Розробка алгоритмів керування
4. Розрахунок теплоаккумулятора
5. Оцінка економічної ефективності

Рекомендації щодо експлуатації:

- Правильне налаштування автоматики
- Періодичний контроль ефективності
- Своєчасне технічне обслуговування
- Моніторинг параметрів роботи
- Оптимізація режимів роботи

Системи теплових насосів з додатковими джерелами теплоти та їх особливості. На рис. 2.1 показана блок-схема для оптимізації показників системи з тепловим насосом.

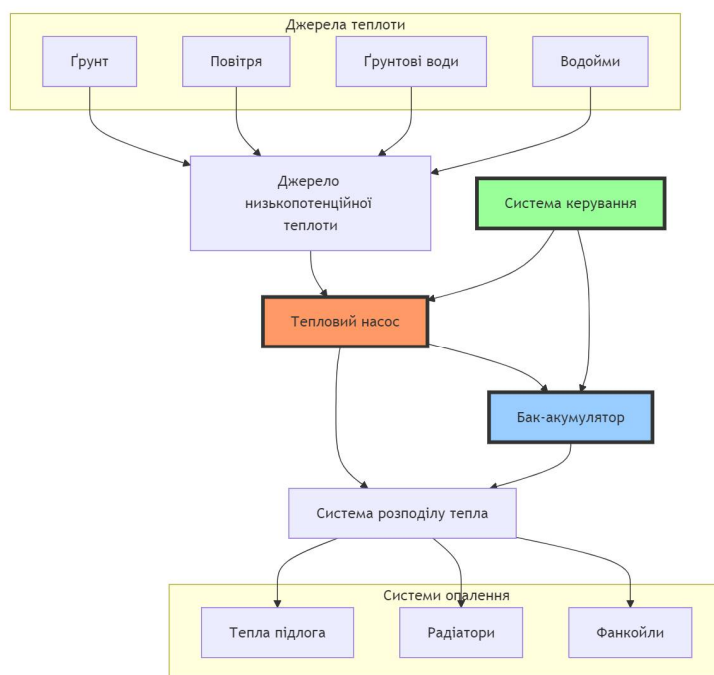


Рисунок 2.1 Блок-схема системи з тепловим насосом

Системи теплопостачання, що використовують теплові насоси.

Основні компоненти системи теплопостачання з тепловим насосом:

1. Первинний контур (джерело теплоти):

- Ґрунтові теплообмінники
- Повітряні теплообмінники
- Свердловини
- Водні джерела

2. Тепловий насос:

- Компресор
- Випарник
- Конденсатор
- Дросель
- Система керування

3. Вторинний контур (система опалення):

- Теплоносій (вода, антифриз)

- Трубопроводи
- Опалювальні прилади
- Насоси циркуляції

Класифікація систем теплопостачання з тепловими насосами:

1. За типом джерела теплоти:

- Ґрунт-вода
- Повітря-вода
- Вода-вода
- Повітря-повітря

2. За схемою роботи:

- Моновалентні
- Бівалентні
- Моноенергетичні

3. За призначенням:

- Опалення
- Гаряче водопостачання
- Комбіновані системи
- Системи кондиціонування

Особливості проектування:

1. Розрахунок теплових навантажень
2. Вибір потужності теплового насоса
3. Розрахунок первинного контуру
4. Проектування системи розподілу тепла
5. Вибір допоміжного обладнання

Переваги використання теплових насосів:

- Висока енергоефективність
- Екологічність
- Автоматизація роботи
- Можливість охолодження
- Тривалий термін експлуатації

Рекомендації з експлуатації:

1. Регулярне технічне обслуговування
2. Моніторинг параметрів роботи
3. Оптимізація режимів
4. Контроль якості теплоносія
5. Своєчасна діагностика

Системи комбінованого теплопостачання з тепловим насосом та водогрійним котлом.

Варіанти бівалентних схем:

1. Бівалентна паралельна:
 - Тепловий насос і котел працюють одночасно
 - Котел включається при пікових навантаженнях
 - Оптимальне співвідношення потужностей 70/30%
 - Більш висока енергоефективність
2. Бівалентна альтернативна:
 - Перемикання між тепловим насосом і котлом
 - Котел працює при низьких температурах
 - Менші капітальні витрати
 - Простіша система керування
3. Моноенергетична:
 - Тепловий насос + електричний нагрівач
 - Електронагрівач для пікових навантажень

- Простота конструкції
- Висока надійність

Особливості проектування:

1. Розрахунок теплових навантажень:

- Визначення базового навантаження
- Розрахунок пікових потреб
- Аналіз річного графіка споживання

2. Вибір обладнання:

- Потужність теплового насоса
- Потужність котла
- Об'єм теплоаккумулятора
- Циркуляційні насоси

3. Система керування:

- Алгоритми перемикання режимів
- Погодозалежне регулювання
- Оптимізація роботи
- Захисні функції

Переваги комбінованої системи:

- Висока надійність теплопостачання
- Оптимізація капітальних витрат
- Ефективна робота в різних режимах
- Можливість резервування
- Гнучкість регулювання

Рекомендації з експлуатації:

1. Налаштування системи керування:

- Точки бівалентності
- Температурні графіки
- Часові програми
- Пріоритети роботи

2. Технічне обслуговування:

- Регулярні перевірки
- Чистка теплообмінників
- Контроль параметрів
- Сезонні налаштування

2.2 Методика досліджень систем з тепловими насосами

Методика досліджень систем з тепловими насосами складена на основі наукових та методологічних основ з комплексного оцінювання ефективності теплових схем з теплонасосними установками (ТНУ), що розроблені науковим керівником МКР та опубліковані в низці вітчизняних та закордонних публікацій [23 – 33].

Схема основного елемента - парокомпресійної теплонасосної установки - показана на рис. 2.2, а зображення циклу ТНУ на T-s і P-h діаграмах показані на рис. 2.3 і 2.4, відповідно, з джерел [34-35].

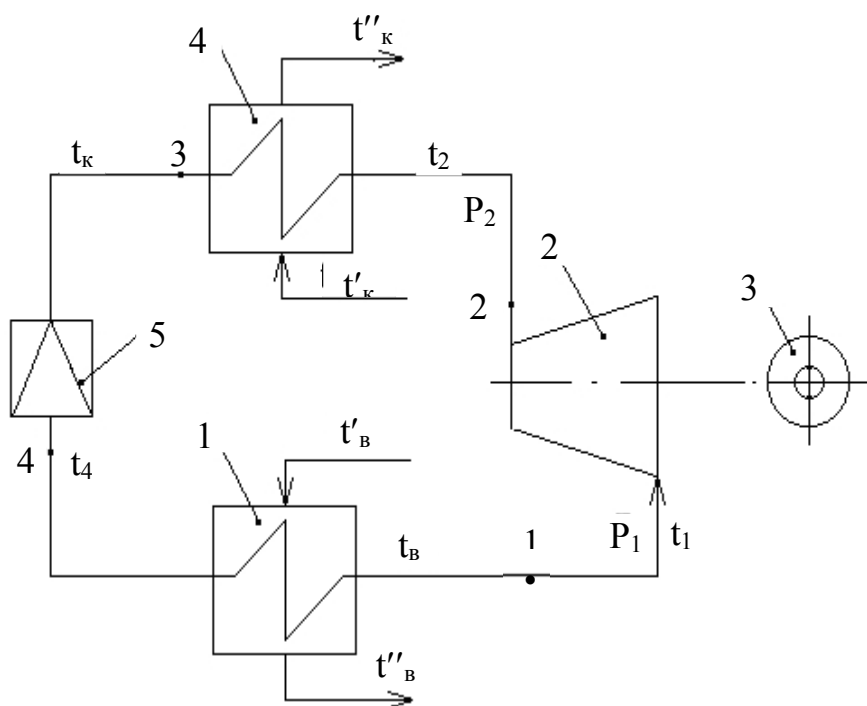


Рисунок 2.2 – Схема парокompресійної ТНУ [34]: 1 – випарник; 2 – компресор; 3 – електродвигун; 4 – конденсатор; 5 – дросель

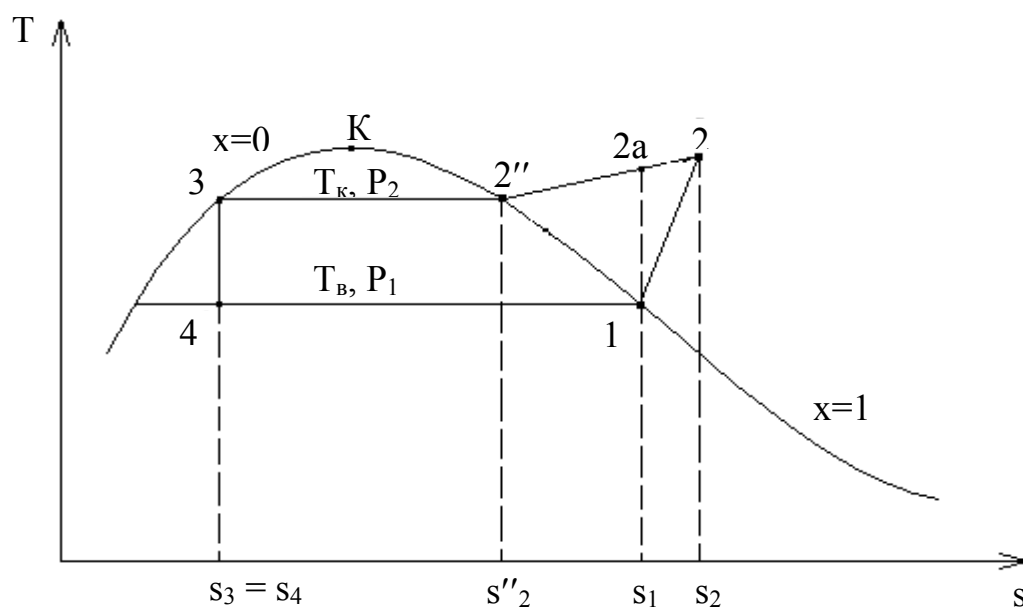


Рисунок 2.3 – Цикл парокompресійної ТНУ на T-s діаграмі

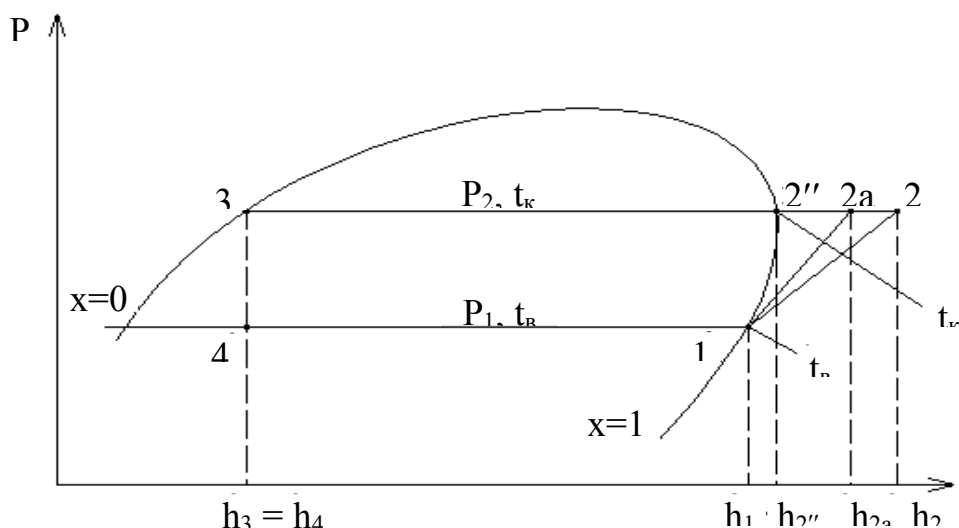


Рисунок 2.4 – Цикл парокомпресійної ТНУ на $\lg P$ - h діаграмі

Аналіз початкових параметрів.

У випарник ТНУ надходить теплота від потужного низькотемпературного джерела з температурою $t'_в$.

У випарнику ця теплота відбирається за допомогою холодоагенту від низькотемпературного теплоносія та витрачається на випаровування холодоагенту з утворенням сухої насиченої пари. Температура низькотемпературного теплоносія на виході з випарника, після охолодження в ньому, становить $t''_в$. В конденсатор ТНУ надходить високотемпературне джерело теплоти з температурою $t'_к$ [23 – 33].

Внаслідок конденсації холодоагенту в конденсаторі відбувається нагрівання високотемпературного теплоносія до необхідної температури. Після підігрівання в конденсаторі температура високотемпературного джерела теплоти підвищується та становить $t''_к$ на виході з конденсатора [23 – 33].

Основні показники теплового насосу.

Питома робота компресора, кДж/кг

$$l_{\text{км}} = h_2 - h_1 = \frac{h_{2a} - h_1}{\eta_{oi}^{\text{км}}} = \frac{l_{\text{кмо}}}{\eta_{oi}^{\text{км}}}, \quad (2.1)$$

Питома підведена робота електродвигуна, кДж/кг

$$l_{\text{ед}} = l_{\text{під}} = l_{\text{км}} / \eta_{\text{ем}} = \frac{h_{2a} - h_1}{\eta_{oi}^{\text{км}} \cdot \eta_{\text{ем}}}, \quad (2.2)$$

де $\eta_{\text{ем}}$ – електромеханічний ККД електродвигуна.

Питома теплота, яка відводиться з конденсатора, кДж/кг

$$q_{\text{к}} = h_2 - h_3 = h_2 - (h_2'' - r), \quad (2.3)$$

де r – питома теплота пароутворення робочої рідини, кДж/кг.

Питома теплота, яка підводиться із зовнішнього середовища у випарник [34], кДж/кг

$$q_{\text{в}} = h_1 - h_4. \quad (2.4)$$

Рівняння енергетичного балансу ТНУ, кДж/кг

$$l_{\text{км}} + q_{\text{в}} = q_{\text{к}} = q_{\text{тну}},$$

або

$$\frac{l_{\text{кмо}}}{\eta_{\text{oi}}^{\text{км}}} + q_{\text{в}} = q_{\text{к}} = q_{\text{тну}}, \quad (2.5)$$

де $l_{\text{кмо}} = h_{2\text{а}} - h_1$ – питома робота компресора в оборотному циклі, кДж/кг.

Визначення показників роботи когенераційного приводу теплового насоса..

Ефективний ККД ДВЗ

$$\eta_{\text{е}} = \frac{0,123}{b_{\text{у}}}, \quad (2.6)$$

де $b_{\text{у}}$ – питома витрата умовного палива за паспортними даними, кг/(кВт·год).

Повний ККД ДВЗ і електрогенератора

$$\eta_{\text{д}} = \eta_{\text{е}} \cdot \eta_{\text{ем}}, \quad (2.7)$$

де $\eta_{\text{ем}}$ – електромеханічний ККД електрогенератора.

Питома витрата умовного палива на дизель-генератор, кг/(кВт·год)

$$b_{\text{у}}^{\text{д}} = \frac{0,123}{\eta_{\text{д}}}. \quad (2.8)$$

Теоретична маса повітря для спалювання 1 м³ палива, кг/м³

$$M^{\circ} = V^{\circ} \cdot \rho, \quad (2.9)$$

де V° – теоретичний об'єм повітря для спалювання 1 м³ робочого палива, м³/м³;
 ρ – густина повітря, кг/м³.

Питома витрата суміші (повітря і палива), кг/м³

$$M_{\text{см}} = 1 + \alpha \cdot M^{\circ}, \quad (2.10)$$

де α – коефіцієнт надлишку повітря.

Витрата умовного палива на ДВЗ для привода компресора, кг/с

$$B_y^{\text{д}} = b_y^{\text{д}} \cdot N_{\text{км}} / 3,6, \quad (2.11)$$

де $N_{\text{км}}$ – потужність компресора теплового насоса, МВт.

Витрата робочого палива на ДВЗ, м³/с

$$B_p^{\text{д}} = B_y^{\text{д}} \cdot Q_{\text{нр}}^{\text{р}} / Q_{\text{н}}^{\text{р}}, \quad (2.12)$$

де $Q_{\text{н}}^{\text{р}}$ – нижча теплота згорання робочого палива, МДж/м³.

Витрата відхідних газів після ДВЗ, кг/с

$$G_{\text{вг}} = B_p^{\text{д}} \cdot M_{\text{см}}. \quad (2.13)$$

Потужність утилізатора відхідних газів ДВЗ [34], МВт

$$Q_{\text{ут}} = G_{\text{вг}} \cdot C_{\text{рг}} \cdot (t_{\text{д}} - t_{\text{ут}}'') \cdot \eta_{\text{то}} \cdot 10^{-3}, \quad (2.15)$$

де C_{pg} – питома теплоємність газів після ДВЗ при середній температурі газів в утилізаторі, кДж/(кг · °С);

t_d – температура вихідних газів після ДВЗ, °С;

t''_{yt} – температура вихідних газів після утилізатора, °С;

$\eta_{то}$ – ККД утилізатора.

Потужність системи охолодження ДВЗ, МВт

$$Q_{ох} = 0,2 \cdot B_p^d \cdot Q_H^p \cdot \eta_{то}. \quad (2.16)$$

Загальна потужність теплоутилізаційного устаткування ДВЗ, МВт

$$\Sigma Q_{yt} = Q_{yt} + Q_{ох}. \quad (2.17)$$

Загальна теплова потужність КТНУ, МВт

$$Q_{ктну} = Q_k + \Sigma Q_{yt}, \quad (2.18)$$

де Q_k – потужність конденсатора теплового насоса, МВт.

Температура мережної води після конденсатора ТНУ, °С

$$t_{тн} = t_k - \theta, \quad (2.20)$$

де t_k – температура конденсації холодоагенту, °С;

θ – величина недогріву, °С.

Витрата мережної води, що циркулює в системі теплопостачання [34], кг/с

$$G_{\text{МВ}} = \frac{Q_{\text{ТС}} \cdot 10^3}{C_{\text{рв}} \cdot (t_{\text{ПМВ}} - t_{\text{ЗМВ}})}, \quad (2.21)$$

де $Q_{\text{ТС}}$ – потужність теплових споживачів, МВт;

$C_{\text{рв}}$ – питома теплоємність води, кДж/(кг · °С);

$t_{\text{ПМВ}}$ – температура прямої мережної води, °С;

$t_{\text{ЗМВ}}$ – температура зворотної мережної води, °С.

Теплова потужність ТНУ, МВт

$$Q_{\text{ТНУ}} = Q_{\text{к}} = G_{\text{МВ}} \cdot C_{\text{рв}} \cdot (t_{\text{ТН}} - t_{\text{ЗМВ}}) \cdot 10^{-3}. \quad (2.22)$$

Температура холодоагенту у випарнику, °С

$$t_{\text{в}} = t_{\text{в}}'' - \theta, \quad (2.23)$$

де $t_{\text{в}}''$ – температура низькотемпературного теплоносія на виході з випарника ТНУ, °С;

θ – величина недогріву, °С.

Питома теплота, підведена до випарника, кДж/кг

$$q_{\text{в}} = h_1 - h_4, \quad (2.24)$$

де h_1, h_4 – ентальпії холодоагенту в точках 1 та 4, відповідно, кДж/кг.

Адіабатний теплоперепад в компресорі, кДж/кг

$$H_a = l_{кмо} = h_{2a} - h_1, \quad (2.25)$$

де h_{2a} – ентальпія холодоагенту в точці 2а, кДж/кг.

Дійсний робочий теплоперепад в компресорі [16, 78], кДж/кг

$$H_p = l_{км} = \frac{H_a}{\eta_{oi}^{км}}, \quad (2.26)$$

де $\eta_{oi}^{км}$ – відносний внутрішній ККД компресора.

Ентальпія холодоагенту в точці 2, кДж/кг

$$h_2 = h_1 + H_p. \quad (2.27)$$

Питома теплота, відведена з конденсатора, кДж/кг

$$q_k = h_2 - h_3, \quad (2.28)$$

де h_3 – ентальпія холодоагенту в точці, кДж/кг.

Масова витрата холодоагенту, що циркулює в ТНУ, кг/с

$$G_{\text{ха}} = \frac{Q_{\text{ТНУ}} \cdot 10^3}{q_{\text{к}} \cdot \eta_{\text{то}}}, \quad (2.29)$$

де $\eta_{\text{то}}$ – ККД теплообмінника (конденсатора).

Потужність, яка витрачається на компресор, МВт

$$N_{\text{км}} = \frac{G_{\text{ха}} \cdot H_{\text{р}}}{\eta_{\text{ем}} \cdot 10^3}, \quad (2.30)$$

де $\eta_{\text{ем}}$ – електромеханічний ККД компресора.

Теплова потужність випарника, МВт

$$Q_{\text{в}} = G_{\text{ха}} \cdot q_{\text{в}} \cdot 10^{-3}. \quad (2.31)$$

Коефіцієнт перетворення КТНУ

$$\varphi = \frac{Q_{\text{КТНУ}}}{N_{\text{км}}}. \quad (2.32)$$

Середня температура мережної води в конденсаторі ТНУ, °С

$$t_{\text{тн}}^{\text{cp}} = \frac{(t_{\text{тн}} + t_{\text{змв}})}{2}. \quad (2.33)$$

Абсолютна середня температура мережної води в конденсаторі ТНУ (середньотермодинамічна температура відведення теплоти), К

$$T_{\text{к}}^{\text{cp}} = 273 + t_{\text{тн}}^{\text{cp}}. \quad (2.34)$$

Фактор Карно для відведеної теплоти в конденсаторі

$$\eta_{\text{c}}^{\text{к}} = 1 - \frac{T_{\text{нс}}}{T_{\text{к}}^{\text{cp}}}, \quad (2.35)$$

де $T_{\text{нс}}$ – абсолютна температура навколишнього середовища, К.

Абсолютна середня температура низькотемпературного теплоносія у випарнику ТНУ (середньотермодинамічна температура підведення теплоти) [35], К

$$T_{\text{в}}^{\text{cp}} = 273 + \frac{(t'_{\text{в}} + t''_{\text{в}})}{2}, \quad (2.36)$$

де $t'_{\text{в}}$, $t''_{\text{в}}$ – температура низькотемпературного теплоносія на вході та виході з випарника, відповідно, °С.

Фактор Карно для підведеної теплоти у випарнику

$$\eta_{\text{c}}^{\text{в}} = 1 - \frac{T_{\text{нс}}}{T_{\text{в}}^{\text{cp}}}. \quad (2.37)$$

Ексергетичний ККД ТНУ

$$\eta_e^{\text{THU}} = \frac{Q_K \cdot \eta_c^K}{[Q_B \cdot \eta_c^B + N_{KM}]} \quad (2.38)$$

2.3 Опис математичної моделі теплової схеми досліджуваної парової котельні з теплонасосною установкою

На основі попередньо виконаного аналізу визначено, що вихідними даними для виконання числових досліджень, спрямованих на визначення та оптимізацію показників парокомпресійних теплонасосних установок на основі математичної моделі парокомпресійної теплонасосної установки є [36-40]:

- вид, термодинамічні та теплофізичні властивості холодоагентів;
- Значення температур низькотемпературного та високотемпературного джерел теплоти у випарнику та конденсаторі;
- розрахункові витрати теплоносіїв у випарнику та конденсаторі теплового насоса;
- теплова потужність випарника, конденсатора та навантаження споживача теплової енергії від теплового насоса.

Вказаний математичний опис закладений у модель для досліджень показників теплонасосних установок в програмних продуктах.

2.4 Математичне програмне забезпечення розрахунків

Моделювання роботи теплових насосів та дослідження показників ефективності здійснювалось за допомогою програми HP FAT Calculator Programme-2023 [41] Датського Технологічного Інституту.

HP FAT Calculator Programme-2023 (Heat Pump First Assessment Tool) базується на комерційному пакеті Engineering Equation Solver (EES) і математичному описі теплового насоса. Пакет EES забезпечує розв'язування систем лінійних та нелінійних рівнянь, в ньому закладено спеціалізовані функції

та відповідні рівняння з термодинаміки та теплопередачі. EES пропонує врахування термодинамічних властивостей, проводить ітераційне розв'язання, спрощує визначення термодинамічних властивостей з використанням вбудованих функцій.

Пакет EES сприяє оптимізації параметрів та схем, дозволяє мінімізувати або максимізувати вибрану змінну.

Зазначений програмний пакет розроблено компанією F-Chart Software [42].

HP FAT забезпечує оцінку ефективності застосування теплового насоса, дозволяє визначити прості фінансові показники.

Екологічний вплив пропонованих варіантів модернізації теплової схеми промислово-опалювальної парової котельні було оцінено в програмі компанії Treeze Ltd з оцінки життєвого циклу [43]. Використано програми-калькулятори теплових насосів та різних джерел генерування теплової та електричної енергії [44-45], що дозволяють оцінити вплив на навколишнє середовище.

В МКР оцінений екологічний вплив варіантів застосування теплових насосів за Швейцарською методикою «Точка впливу на навколишнє середовище 2021» (оновлена версія). Програма Екологічний калькулятор теплового насоса дозволяє проводити дослідження впливу джерела низькотемпературної теплоти, коефіцієнта перетворення ТНУ (загального та локального), типу будівлі та структури спожитої електроенергії (мережева чи з відновлюваних джерел). Одержані результати дозволяють оцінити екологічний вплив певного варіанту та режиму роботи теплового насоса, а також, виду електричної енергії.

Точний розрахунок точок впливу на навколишнє середовище є досить складною та вимогливою справою. Для цього необхідно реєструвати всі матеріальні та енергетичні потоки, пов'язані з продуктом, послугою чи дією, протягом усього життєвого циклу. Це починається із забезпечення сировиною та виробництвом, продовжується використанням і закінчується утилізацією. Після визначення всіх викидів у ґрунт, воду та повітря, а також необхідних ресурсів, їх необхідно оцінити та зважити з точки зору їхнього впливу на здоров'я, клімат та різні екосистеми. Наприкінці цих масштабних і складних розрахунків залишається єдиний параметр – точки впливу на навколишнє середовище, які можна

використовувати для підсумовування всіх впливів. Чим вищий бал, тим більший вплив на навколишнє середовище.

2.5 Висновки до розділу 2

В розділі 2 наведено методичні основи для моделювання теплових схем з тепловими насосами, виконаний аналіз факторів та показників ефективності схем з тепловими насосами, аналіз структури системи, наведена характеристика математичного та програмного забезпечення.

3 МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ТЕПЛОНАСОСНОЇ УСТАНОВКИ В ТЕПЛОВІЙ СХЕМІ ПАРОВОЇ КОТЕЛЬНІ

3.1 Показники роботи теплової схеми котельні

В МКР розглядається схема парової промислово-опалювальної котельні Дзвиняцького лісокомбінату при закритій системі тепlopостачання. Котельня призначена для виробництва водяної пари для промислового споживання та тепlopостачання системи опалення та гарячого водопостачання офісів та цехів. В котельні встановлені два сталевих парових котла 2.5-0.9 ГМ, які працюють на природному газі. Котельня забезпечує відпуск пари з температурою 130 °С для промислових потреб, системи опалення та гарячого водопостачання.

Виконано розрахунок теплової схеми промислово-опалювальної парової котельні Дзвиняцького лісокомбінату для трьох розрахункових режимів роботи, проведено визначення електричних потужностей власних потреб котельні.

Розрахунки показників роботи теплової схеми промислово-опалювальної парової котельні Дзвиняцького лісокомбінату для трьох режимів проведені за методикою з [46]. Показники роботи котельні показані в таблиці 3.1-3.3.

Таблиця 3.1 – Теплоенергетичні показники роботи котельні для
масимального режиму

Показник	Значення
Паровидатність $D_{\text{пг}}$, кг/с	0,72
Теплова потужність котельні Q^6 , МВт	1,81
ККД брутто η_k	0,88
Витрата робочого палива V_p , м ³ /с	0,056
Витрата умовного палива V_y , кг/с	0,07

Таблиця 3.2 – Теплоенергетичні показники роботи котельні для середньоопалювального режиму

Показник	Значення
Паровидатність $D_{пг}$, кг/с	0,78
Теплова потужність котельні $Q^б$, МВт	1,95
ККД бруто η_k	0,85
Витрата робочого палива V_p , м ³ /с	0,056
Витрата умовного палива V_v , кг/с	0,073

Таблиця 3.3 - Теплоенергетичні показники роботи котельні для міжопалювального режиму

Показник	Значення
Паровидатність $D_{пг}$, кг/с	0,73
Теплова потужність котельні $Q^б$, МВт	1,82
ККД бруто η_k	0,8
Витрата робочого палива V_p , м ³ /с	0,056
Витрата умовного палива V_v , кг/с	0,068

Визначені розрахункові дані потрібні для оцінювання ефективності застосування ТНУ у тепловій схемі промислово-опалювальної котельні Дзвиняцького лісокомбінату.

Початкові дані, необхідні для моделювання та виконання досліджень показників ефективності теплонасосних установок з використанням математичної моделі парокомпресійної теплонасосної установки визначені у [34-35]. Математичний опис систем з тепловими насосами закладений у модель для досліджень показників теплонасосних установок у відомих та широко застосовуваних програмних продуктах.

Моделювання роботи теплових насосів здійснювалось у спеціалізованій програмі HP FAT Calculator Programme-2023.

На рис. 3.1 – 3.3 проілюстровано результати моделювання в програмі HP FAT для трьох режимів роботи схеми з теплонасосними установками з використанням теплоти від контактного утилізатора у відповідності з режимними параметрами теплової схеми котельні.

На рис. 3.1 наведені результати моделювання в програмі HP FAT роботи теплового насосу в тепловій схемі для першого режиму роботи.

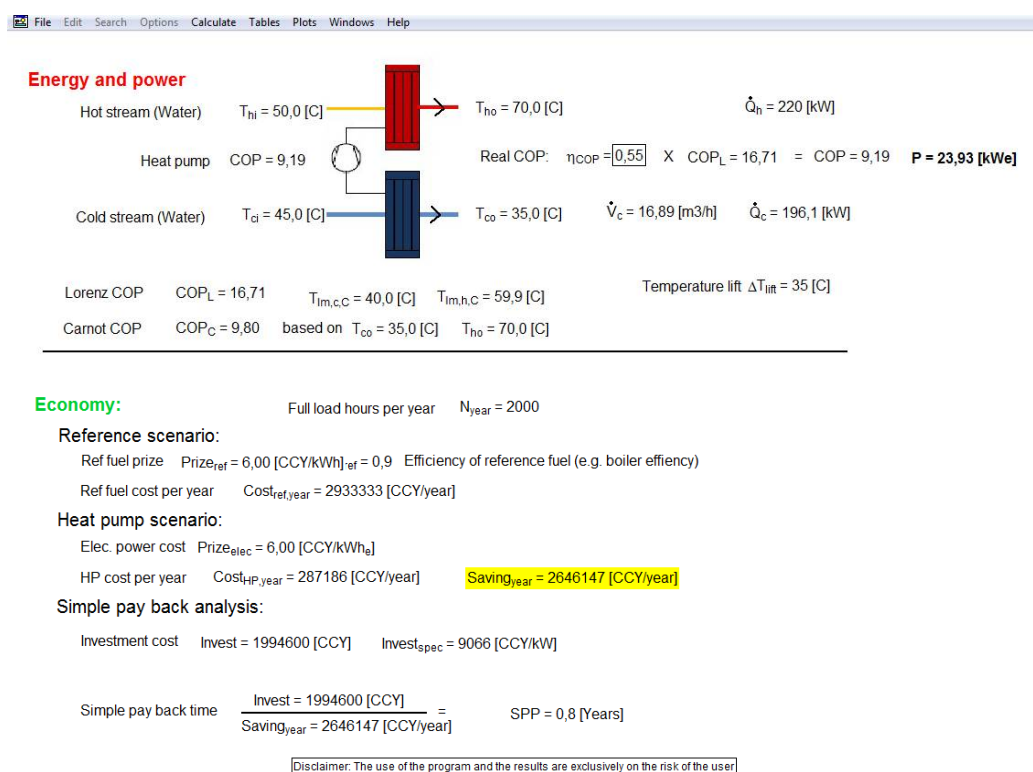


Рисунок 3.1 - Результати моделювання в програмі HP FAT роботи теплового насосу в тепловій схемі для першого режиму роботи

На рис. 3.2 наведені результати моделювання в програмі HP FAT роботи теплового насосу в тепловій схемі для другого режиму роботи.

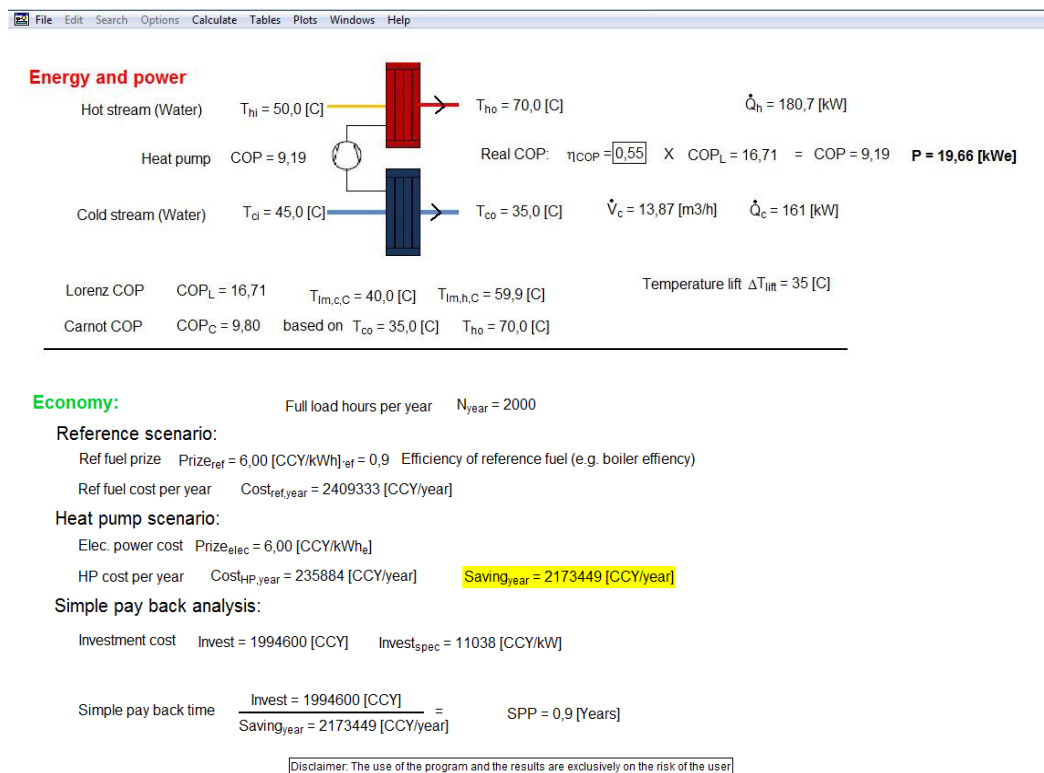


Рисунок 3.2 - Результати моделювання в програмі HP FAT роботи теплового насосу в тепловій схемі для другого режиму роботи

На рис. 3.3 наведені результати моделювання в програмі HP FAT роботи теплового насосу в тепловій схемі для третього режиму роботи.

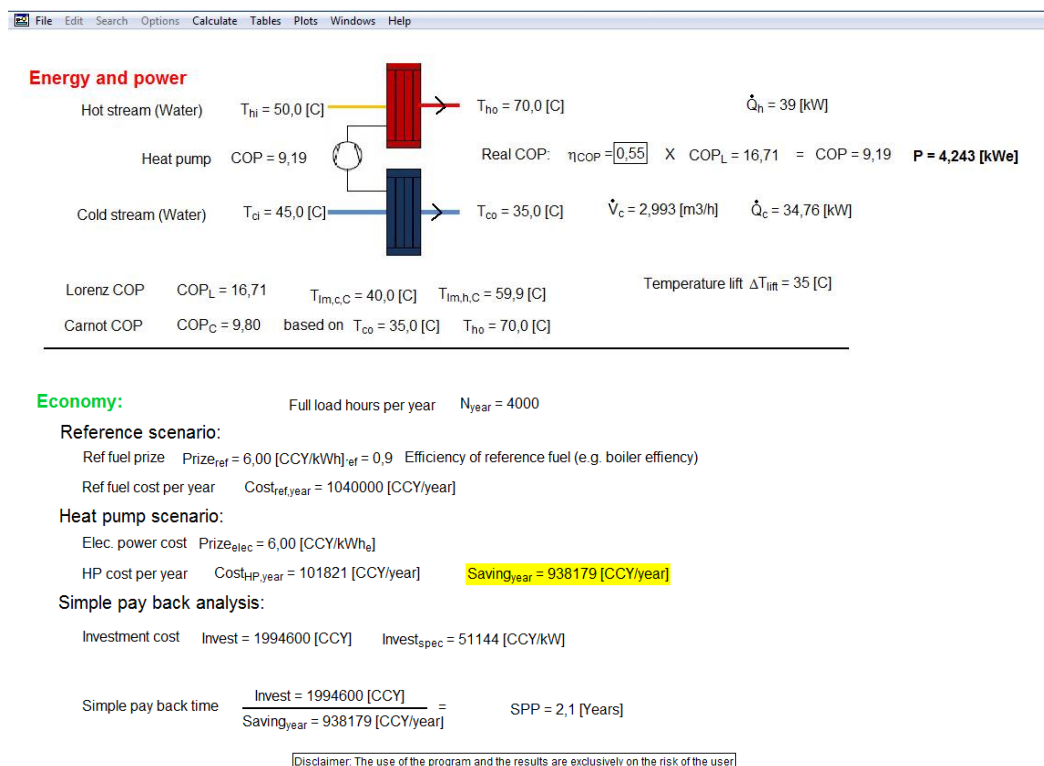


Рисунок 3.3 - Результати моделювання в програмі HP FAT роботи теплового насосу в тепловій схемі для третього режиму роботи

Розрахунки показників ефективності ТНУ для теплової схеми котельні для трьох режимів роботи ТНУ виконувались з використанням спеціалізованої програми SOLKANE Refrigerants 8.0 [47], яка є потужною спеціалізованою програмою з обчислення теплофізичних властивостей холодоагентів та розрахунку циклів ТНУ. Програма обчислює термодинамічні властивості всіх холодоагентів Solkane та низки CFC, містить модулі з обчислення різних процесів та циклів, а також розрахунків трубопроводів холодоагенту.

Результати моделювання циклів ТНУ для трьох режимів роботи промислово-опалювальної парової котельні в програмі SOLKANE Refrigerants 8.0 показані на рис. 3.4 – 3.9.

Проведено математичне моделювання та виконаний багатоваріантний аналіз з визначення ефективності чотирьох варіантів модернізації теплової схеми котельні

Дзвиняцького лісокомбінату, де аналізуються показники енергетичної її ефективності, на основі використання наукових результатів та методик з літературних джерел [33-43].

Проведено багатоваріантний аналіз ефективності проектних рішень теплової схеми котельні з ТНУ, що враховує енергетичну ефективність варіантів модернізації теплової схеми.

Для здійснення аналізу варіантів модернізованої теплової схеми з встановленням ТНУ розглянемо результати розрахунку для чотирьох варіантів:

1 – застосування ТНУ в тепловій схемі котельні Дзвиняцького лісокомбінату для роботи в трьох сезонах;

2 – застосування ТНУ в тепловій схемі котельні Дзвиняцького лісокомбінату для роботи в першому та другому сезонах;

3 – застосування ТНУ в тепловій схемі котельні Дзвиняцького лісокомбінату для роботи в другому та третьому сезонах;

4 – застосування ТНУ в тепловій схемі котельні Дзвиняцького лісокомбінату для роботи в першому та третьому сезонах.

Результати моделювання для багатоваріантного аналізу застосування теплового насосу в тепловій схемі парової котельні Дзвиняцького лісокомбінату показані на рис. 3.4 – 3.9.

На рисунках позначено режими: МО – максимальний опалювальний, СО – середній опалювальний, МіжОПАЛ – міжопалювальний режим.

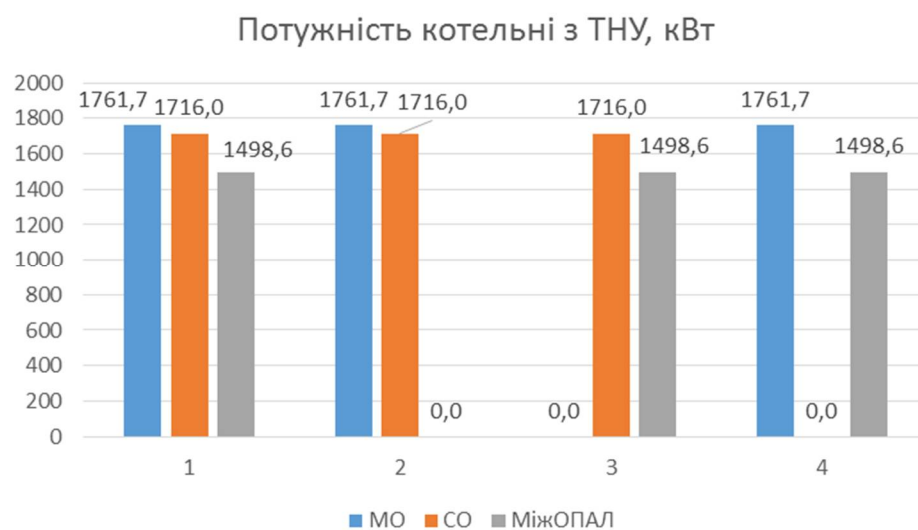


Рисунок 3.4 – Потужність котельні з ТНУ

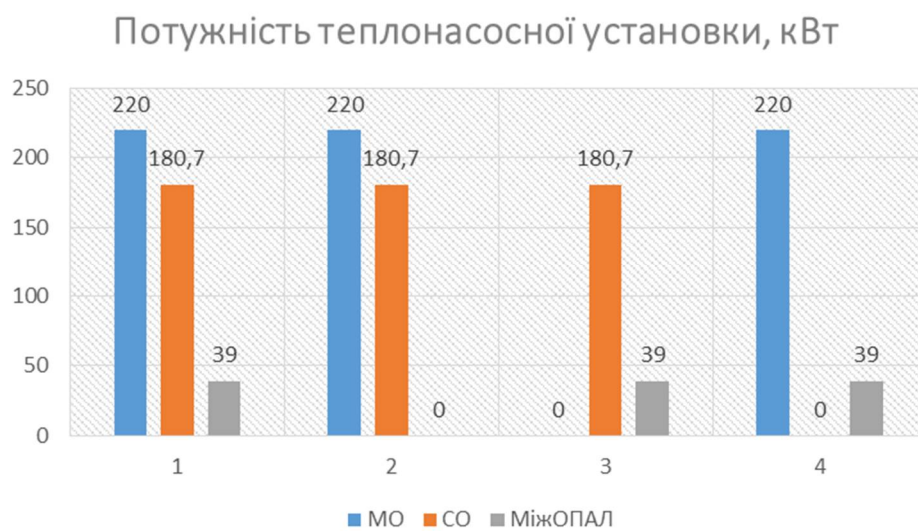


Рисунок 3.5 – Потужність теплонасосної установки

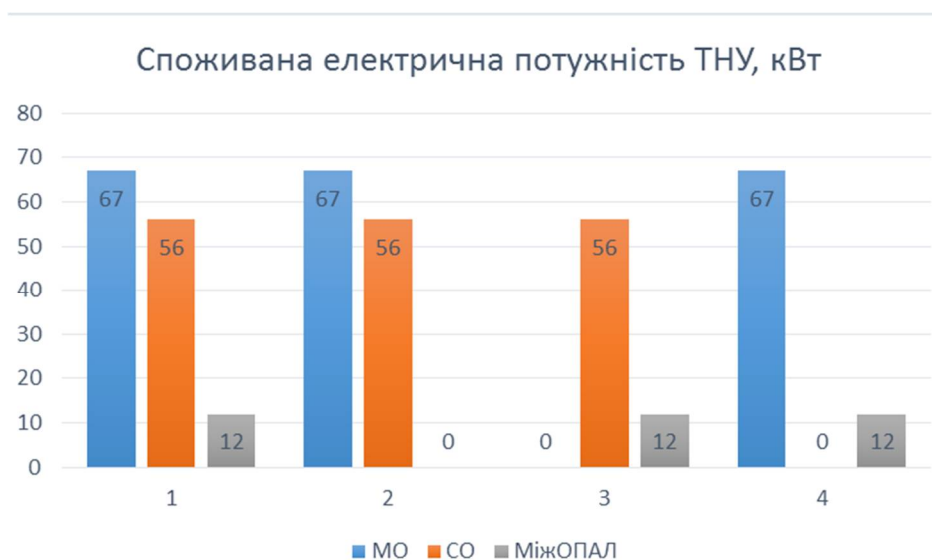


Рисунок 3.6 – Споживана електрична потужність ТНУ

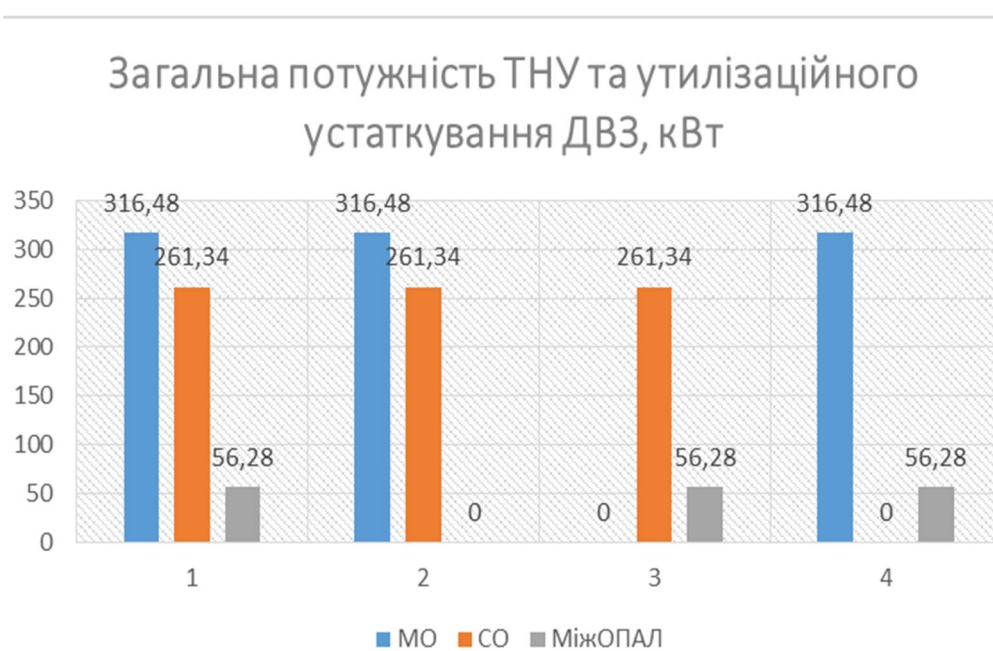


Рисунок 3.7 – Загальна потужність ТНУ та утилізаційного устаткування ДВЗ

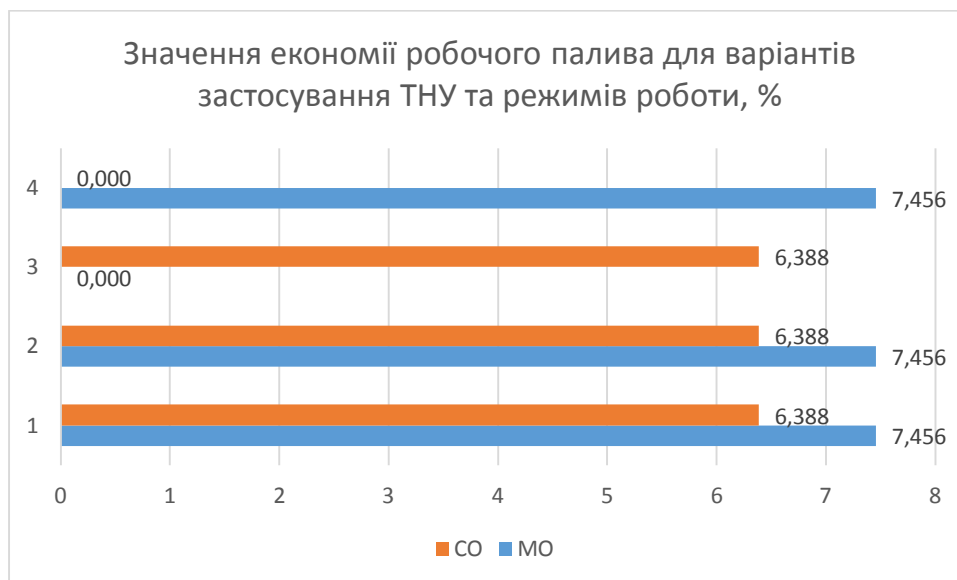


Рисунок 3.8 – Значення економії робочого палива для варіантів застосування ТНУ та режимів роботи, %

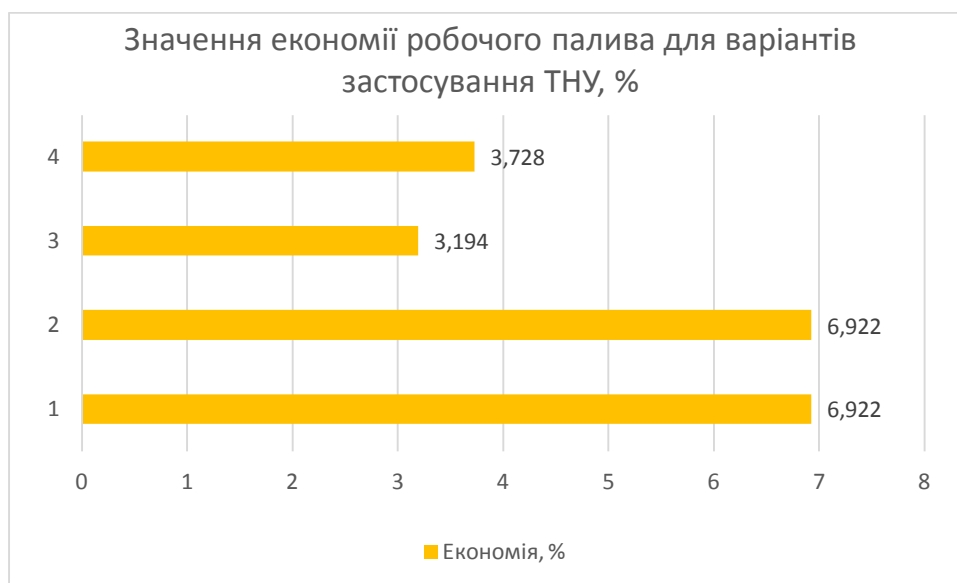


Рисунок 3.9 – Значення економії робочого палива для варіантів застосування ТНУ, %

Як видно зі рис. 3.8 та 3.9, найбільша економія робочого палива відповідає першому варіанту застосування ТНУ з роботою в трьох режимах. Наступним за ефективністю є варіант із застосуванням ТНУ в першому та другому режимах. Але

у разі роботи ТНУ за першим варіантом є недостатня завантаженість ТНУ в міжопалювальному режимі.

Тому ми обираємо до впровадження варіант номер 2, для якого економія робочого палива складає 6,92% та ТНУ працює в першому та другому режимі.

За результатами проведеного багатоваріантного аналізу низки енергетичних показників досліджених варіантів модернізації було обрано варіант застосування парокомпресійної ТНУ з приводом від поршневого двигуна на природному газі. Джерелом низькотемпературної теплоти для ТНУ буде теплота від контактного утилізатора. За вказаним переліком показників вищевказаний варіант модернізації теплової схеми промислово-опалювальної парової котельні Дзвиняцького лісокомбінату був обраний до проектування.

3.2 Висновки до розділу 3

В розділі 3 приведені результати моделювання роботи теплонасосної установки в тепловій схемі парової котельні.

4 МОДЕЛЮВАННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО ВПЛИВУ ВАРІАНТІВ МОДЕРНІЗАЦІЇ ТЕПЛОВОЇ СХЕМИ ПРОМИСЛОВО-ОПАЛЮВАЛЬНОЇ ПАРОВОЇ КОТЕЛЬНОЇ

Екологічний вплив варіантів модернізації теплової схеми промислово-опалювальної парової котельні було оцінено в програмі компанії Treeze Ltd з оцінки життєвого циклу [43]. Використано програми-калькулятори теплових насосів та різних джерел генерування теплової та електричної енергії [44-45], що дозволяють оцінити вплив на навколишнє середовище.

На рис. 4.1 – 4.3 наведені показники роботи промислово-опалювальної парової котельні на природному газі.

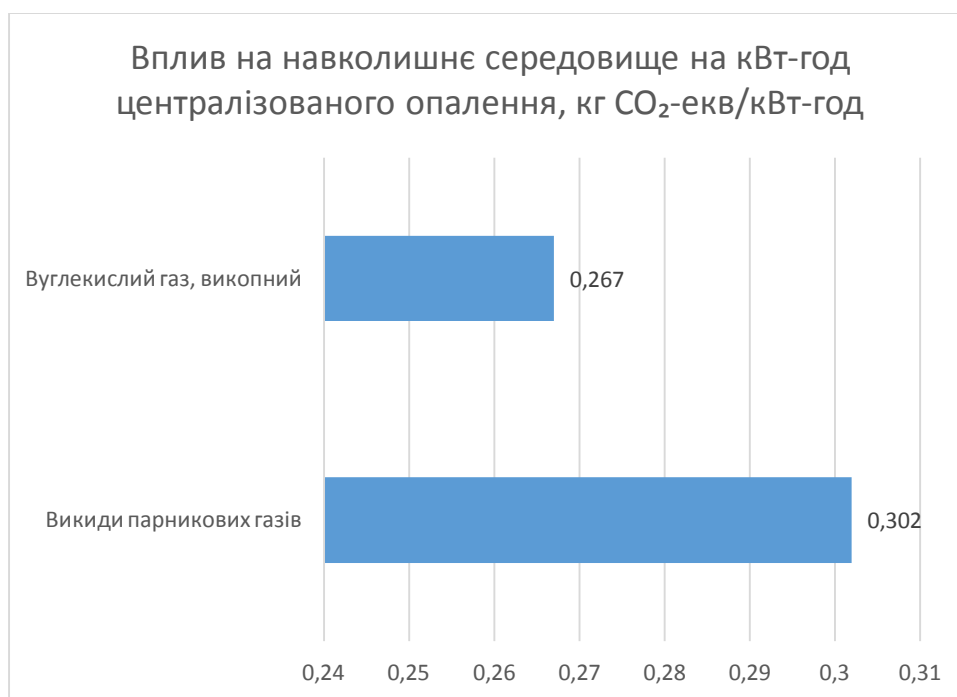


Рисунок 4.1 - Екологічні показники роботи промислово-опалювальної парової котельні на природному газі

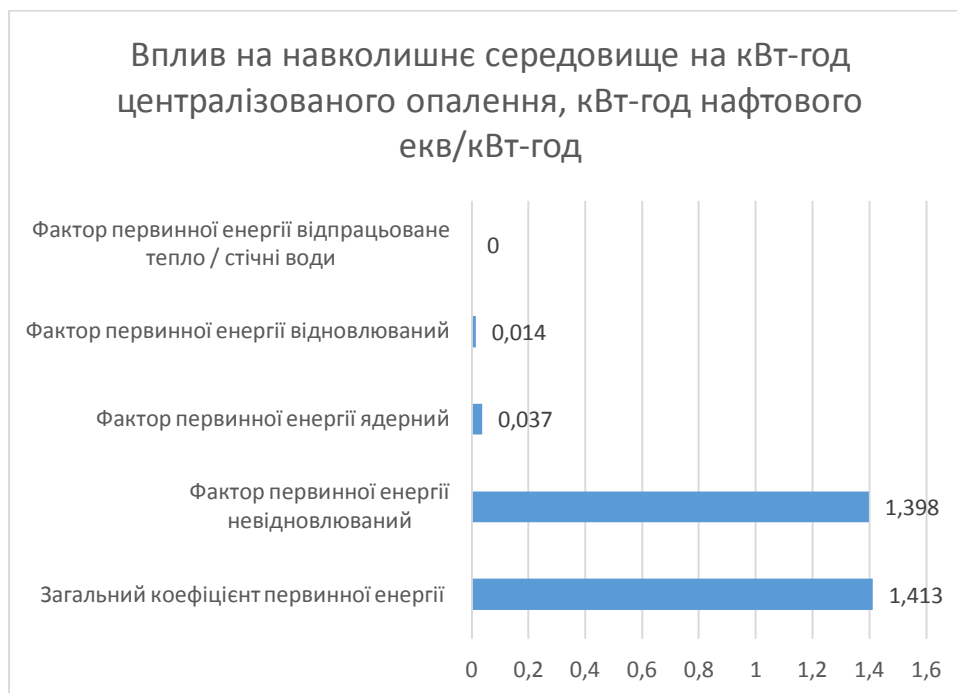


Рисунок 4.2 - Екологічні показники роботи промислово-опалювальної парової котельні на природному газі

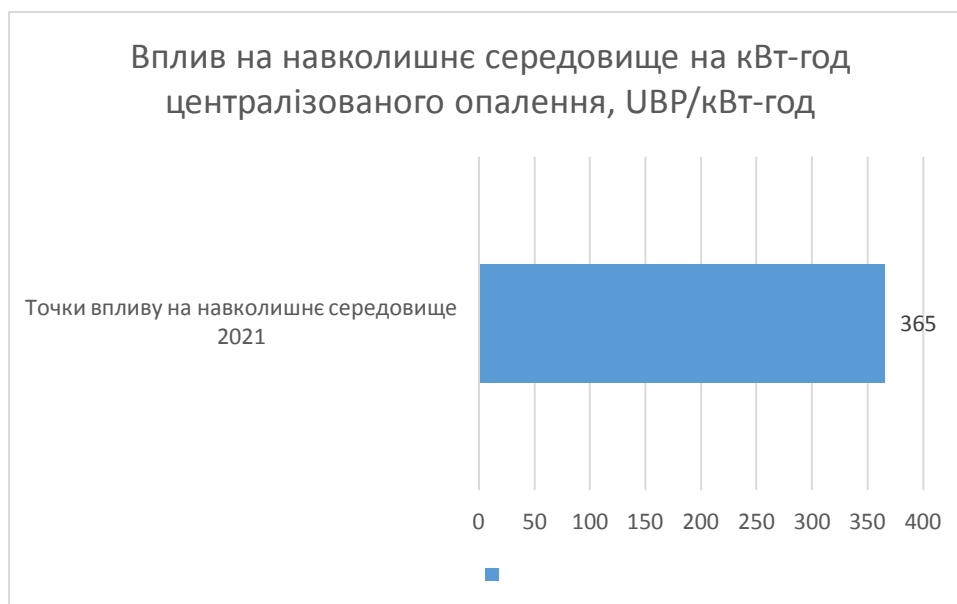


Рисунок 4.3 - Екологічні показники роботи промислово-опалювальної парової котельні на природному газі

На рис. 4.4 – 4.6 наведені показники роботи теплонасосної установки на теплоті від контактного утилізатора.

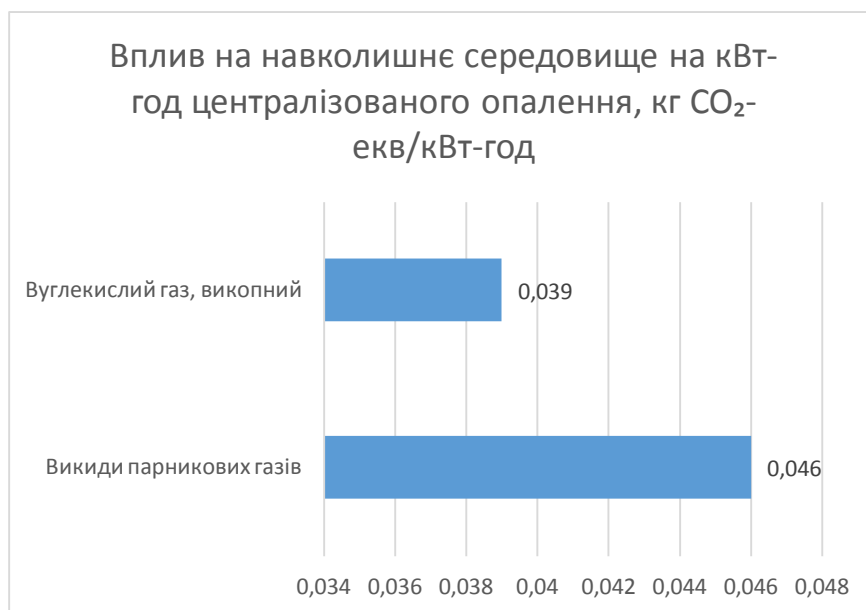


Рисунок 4.4 – Екологічні показники роботи теплонасосної установки на теплоті від контактного утилізатора

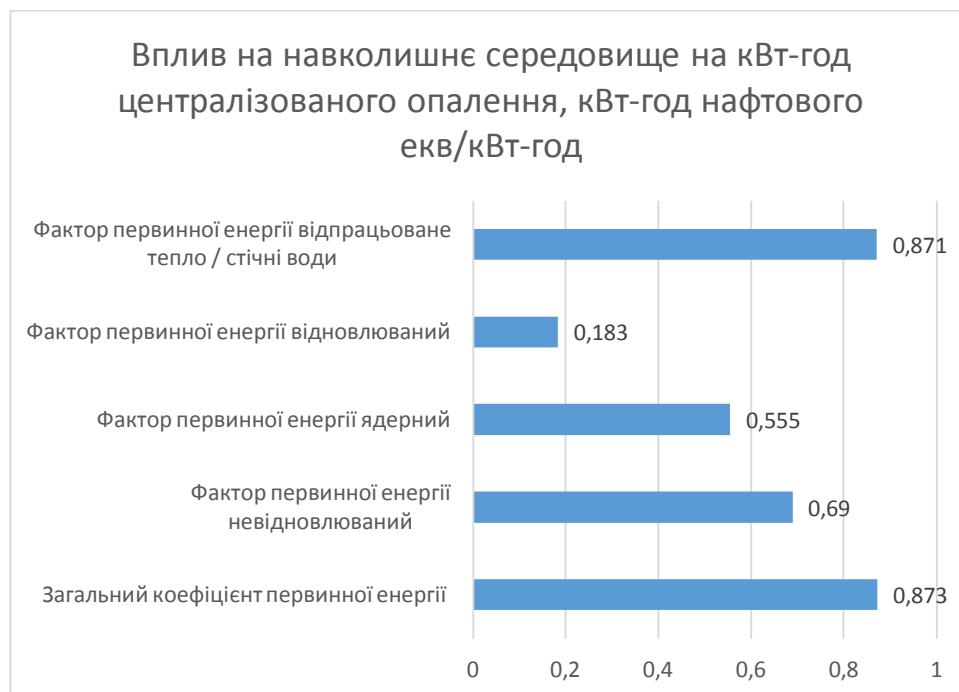


Рисунок 4.5 – Екологічні показники роботи теплонасосної установки на теплоті від контактного утилізатора

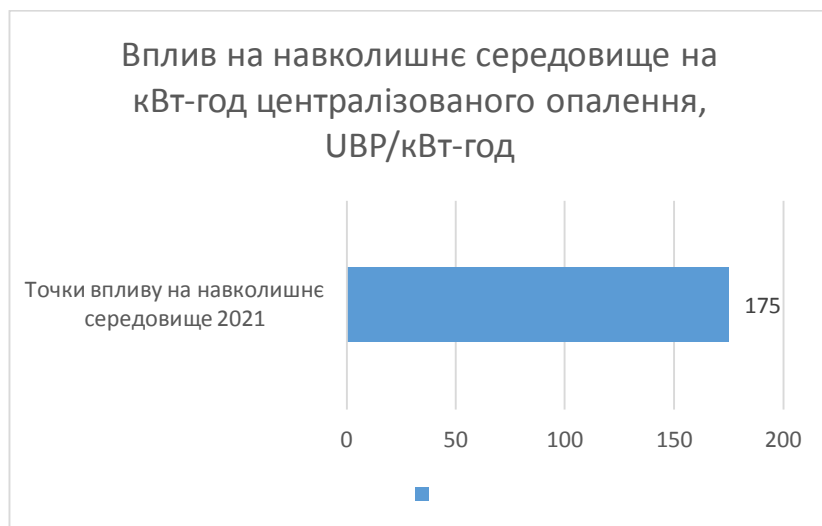


Рисунок 4.6 – Екологічні показники роботи теплонасосної установки на теплоті від контактного утилізатора

На рис. 4.7 – 4.9 наведені показники роботи промислово-опалювальної парової котельні на деревині.

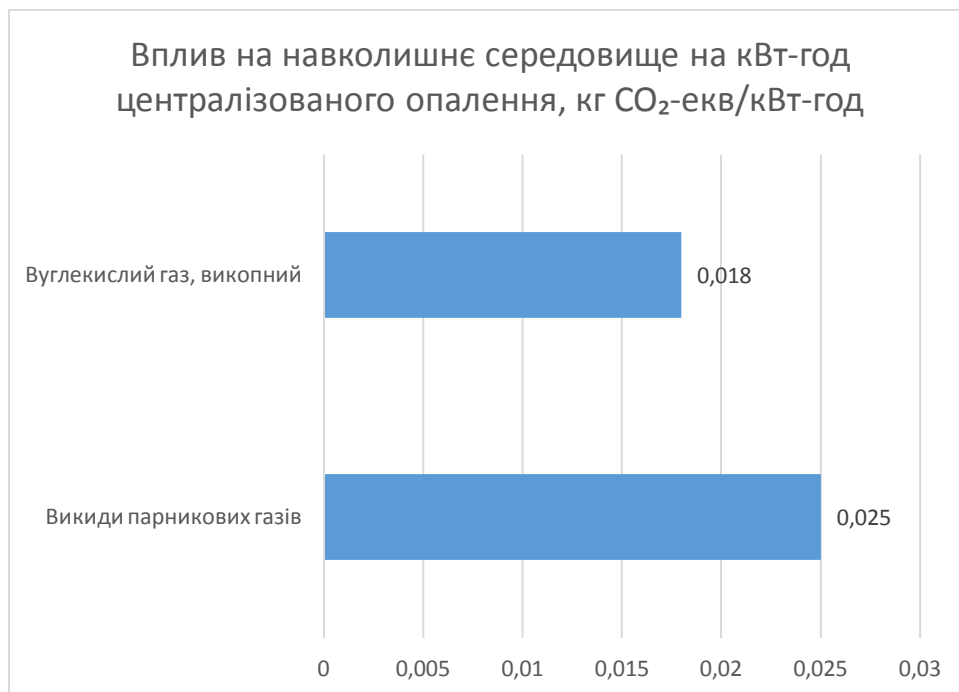


Рисунок 4.7 – Екологічні показники роботи промислово-опалювальної парової котельні на деревині

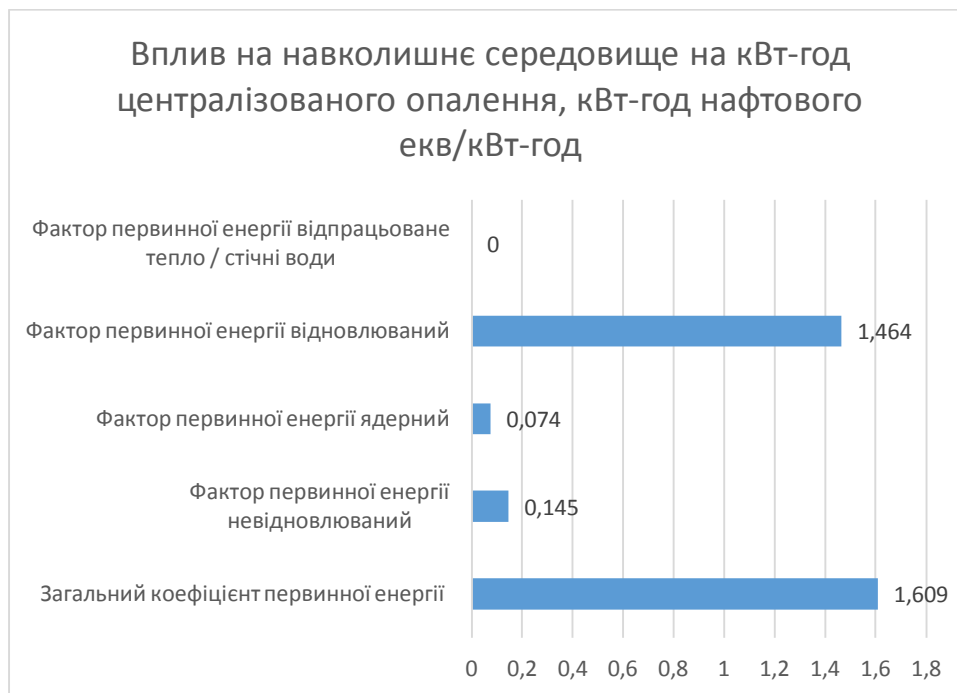


Рисунок 4.8 – Екологічні показники роботи промислово-опалювальної парової котельні на деревині

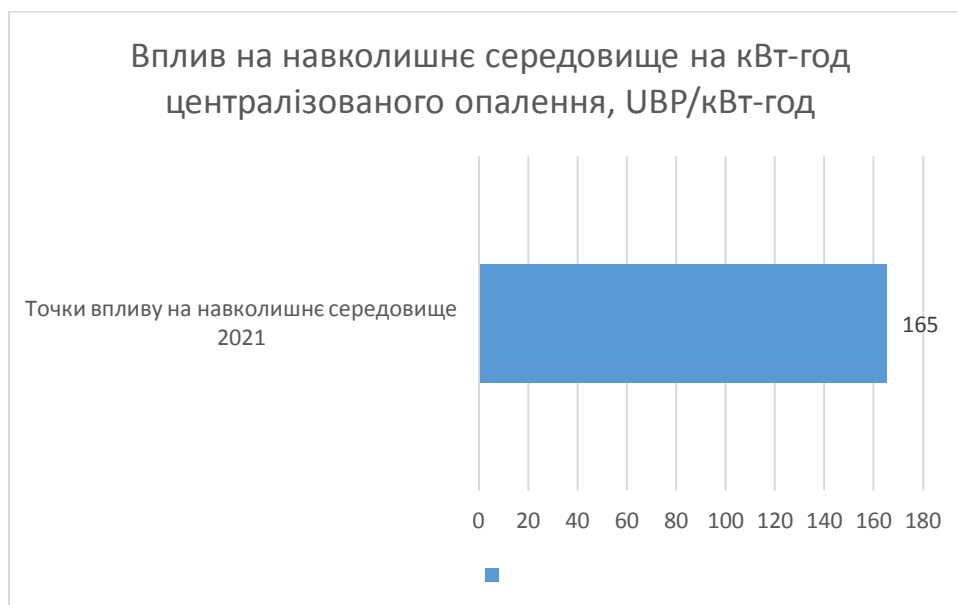


Рисунок 4.9 – Екологічні показники роботи промислово-опалювальної парової котельні на деревині

На рис. 4.10 – 4.12 наведені показники роботи ТЕЦ на деревині.

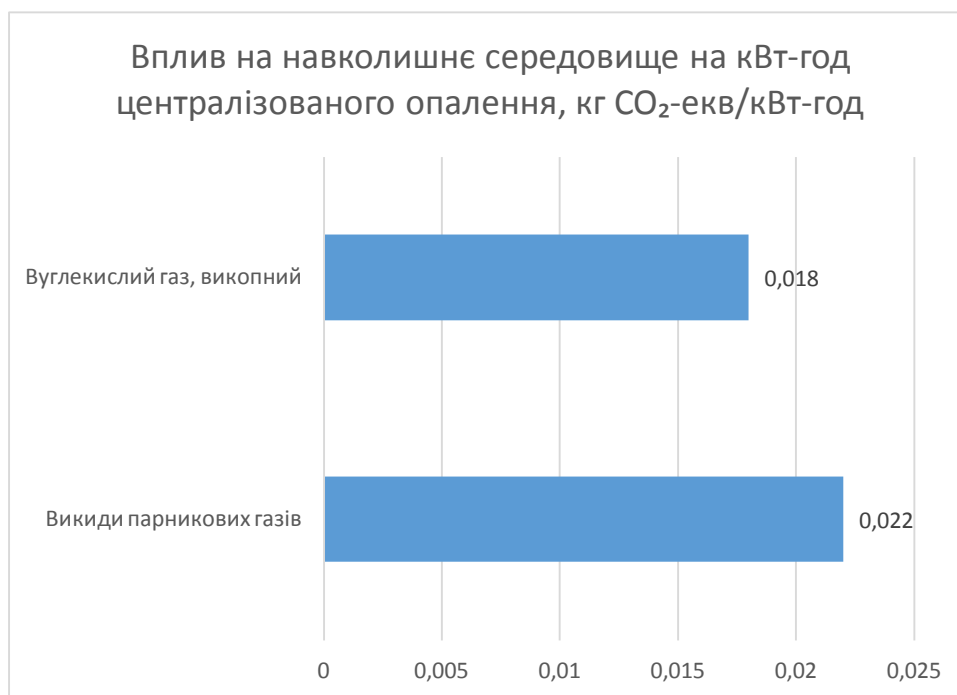


Рисунок 4.10 – Екологічні показники роботи ТЕЦ деревині

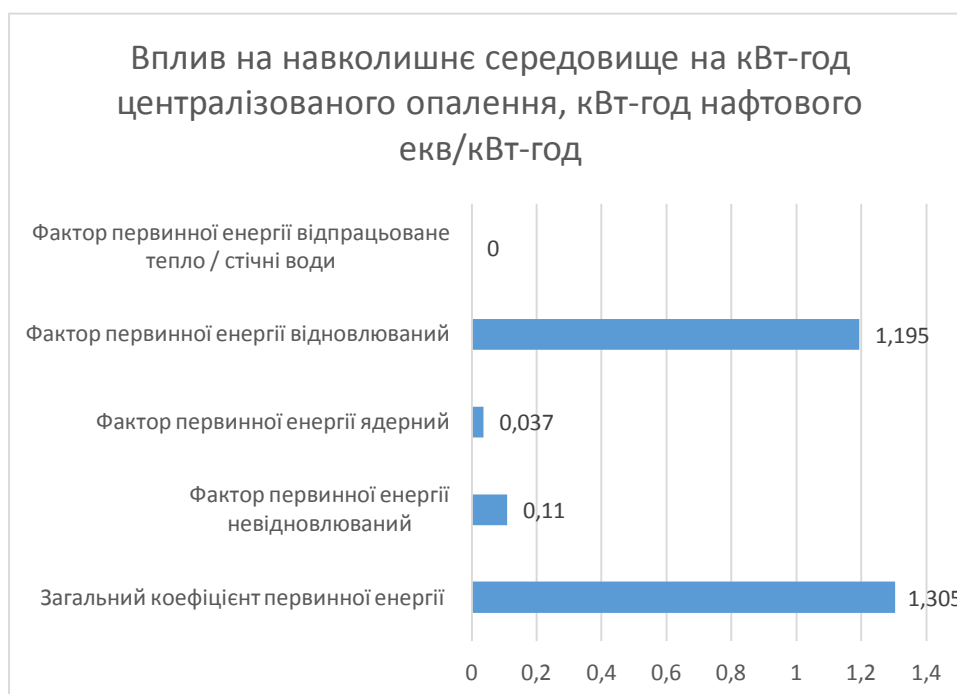


Рисунок 4.11 – Екологічні показники роботи ТЕЦ на деревині

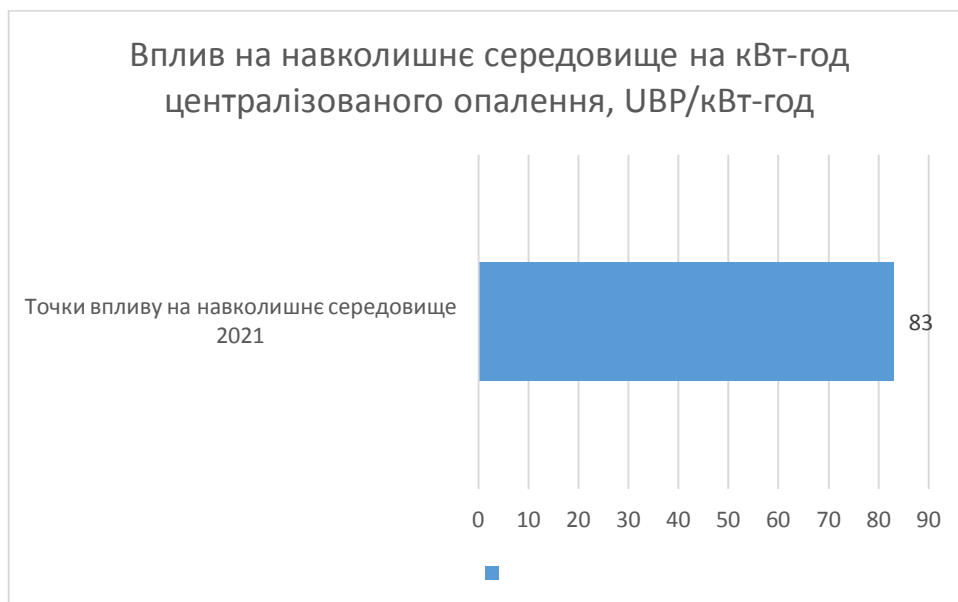


Рисунок 4.12 – Екологічні показники роботи ТЕЦ на деревині

На рис. 4.13 – 4.15 наведені показники роботи біогазової ТЕЦ.

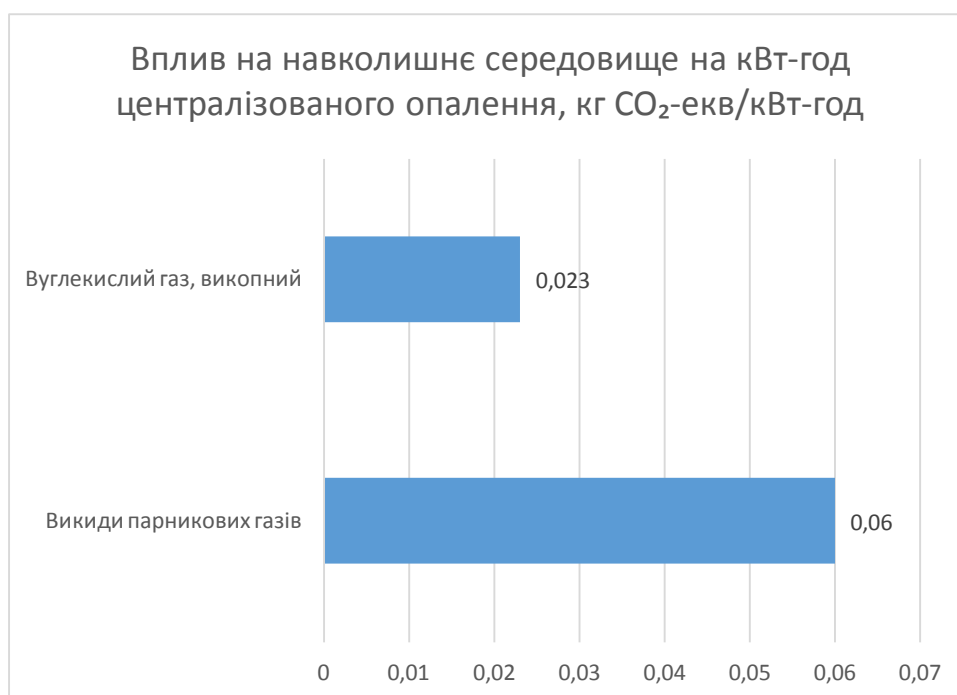


Рисунок 4.13 – Екологічні показники роботи біогазової ТЕЦ

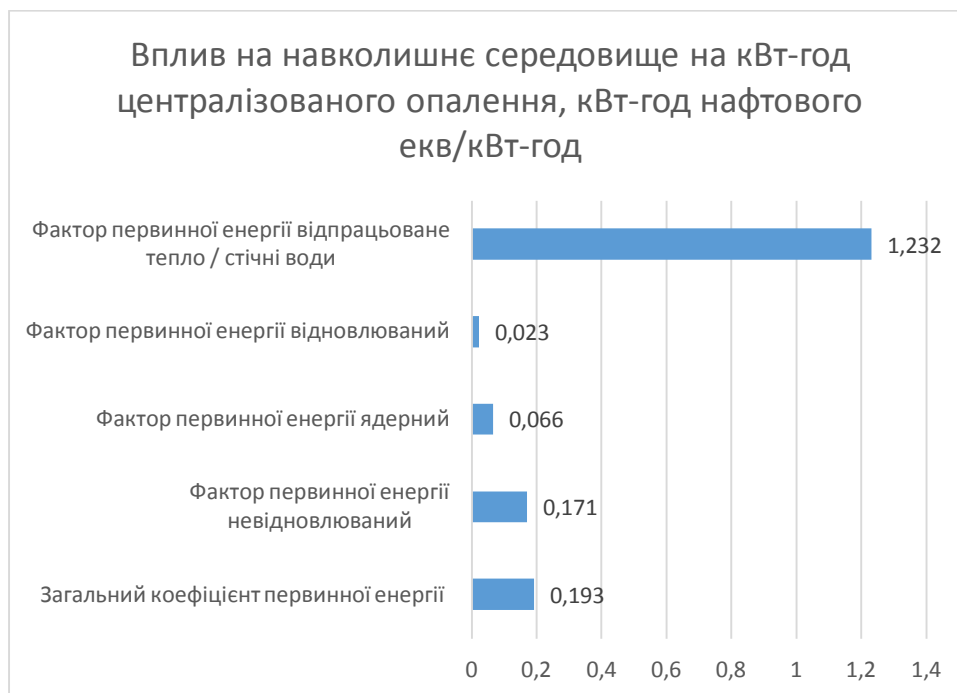


Рисунок 4.14 – Екологічні показники роботи біогазової ТЕЦ

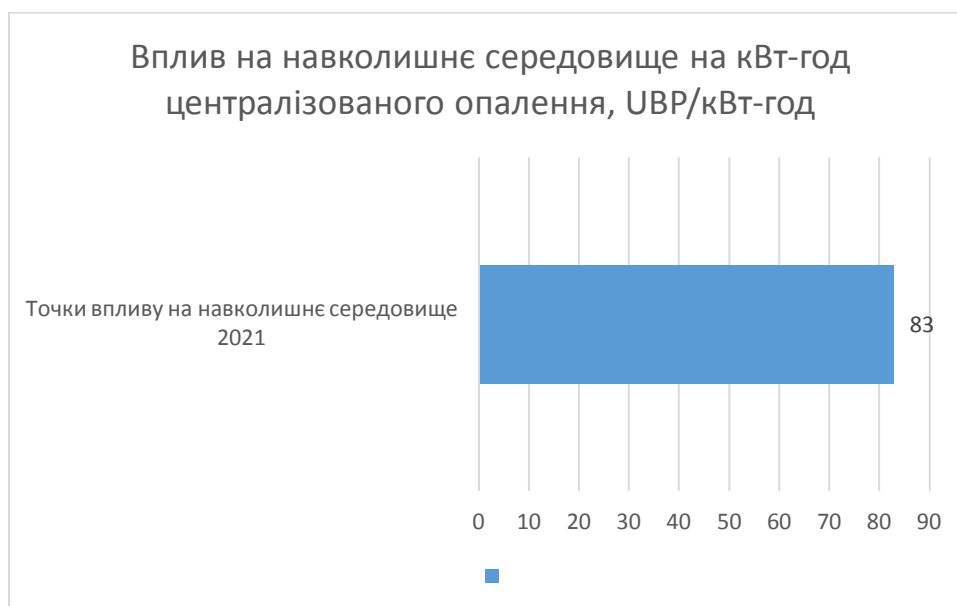


Рисунок 4.15 – Екологічні показники роботи біогазової ТЕЦ

За результатами аналізу показників ефективності для базового та альтернативних варіантів схеми промислово-опалювальної парової котельні з тепловим насосом з використанням природних та промислових джерел

низькотемпературної теплоти (рис 4.1-4.15) та інших альтернативних варіантів визначено, що використання теплоти вторинних енергоресурсів котельні в теплових насосах забезпечує достатню високу ефективність енергоперетворень в обладнанні та кращі екологічні показники обладнання та котельні порівняно з базовим та низкою альтернативних варіантів модернізації теплової схеми.

Обраний варіант модернізації теплової схеми промислово-опалювальної парової котельні з теплонасосною установкою на теплоти вторинних низькотемпературних енергоресурсів котельні.

Для обраного варіанту схеми котельні з ТНУ підбираємо нове обладнання з джерел [48-50].

В тепловій схемі передбачено встановлення теплового насосу OCHSNER ISWS_330ER2 S0/W35 потужністю 230 кВт, який працюватиме тільки в опалювальному режимі (максимальне та середнє навантаження).

Привод компресора теплового насосу буде забезпечено від газопоршневого двигуна–генератора Generac SG-100 з номінальною потужністю електрогенератора 80 кВт.

Для вироблення теплоти для контура випарника ТНУ підібрано КТАН-утилізатор марки КТАН-0,8УГ (теплопродуктивність варіюється 0,1-1 МВт).

Результати моделювання з використанням програмних продуктів представлені в табл. В.1 -В.16 в Додатку В.

За результатами аналізу показників з табл. В.1 -В.16 можна зробити висновок, що використання теплоти вторинних енергоресурсів в теплових насосах забезпечує достатню ефективність енергоперетворень та кращі екологічні показники.

На рис. В.1 – В.48 В Додатку В наведені показники роботи різних типів теплових насосів з використанням різних варіантів джерел низькотемпературної теплоти за умови зміни показників ефективності теплових насосів.

На основі аналізу показників з рис В.1 -В.48 можна зробити висновок, що використання теплоти вторинних енергоресурсів в теплових насосах забезпечує достатню ефективність енергоперетворень та кращі екологічні показники порівняно з роботою коотельні. За результатами досліджень визначено, що

показники екологічної ефективності теплових насосів будуть підвищуватись зі збільшенням показника енергетичної ефективності.

За результатами аналізу показників базового та низки альтернативних варіантів теплової схеми промислово-опалювальної котельні з тепловим насосом на низькотемпературній теплоті різних джерел можна зробити висновок, що використання теплоти вторинних енергоресурсів в теплових насосах забезпечує достатню ефективність енергоперетворень та покращує екологічні показники порівняно з базовим варіантом.

За результатами проведених досліджень та оцінки одержаних наукових результатів в цьому розділі, визначено енергетичні та екологічні переваги застосування теплонасосних установок з використанням теплоти вторинних енергоресурсів для підвищення енергоефективності у тепловій схемі промислово-опалювальної котельні. Було обрано до проектування варіант модернізації теплової схеми промислово-опалювальної котельні заводу з теплонасосною установкою на теплоті вторинних енергоресурсів.

В магістерській кваліфікаційній роботі виконані необхідні розрахунки для розробки технології монтажу нового обладнання в тепловій схемі парової котельні, з використанням інформаційних джерел [51-55]. Детальні результати наведено у додатку Г.

Висновки до розділу 4

В цьому розділі на основі результатів аналізу показників базового та низки альтернативних варіантів теплової схеми промислово-опалювальної котельні з тепловим насосом з використанням різних джерел теплоти можна зробити висновок, що використання теплоти підземних вод в теплових насосах забезпечує достатню ефективність енергоперетворень та покращує екологічні показники порівняно з базовим варіантом.

За результатами проведених досліджень та оцінки одержаних наукових результатів в цьому розділі, визначено енергетичні та екологічні переваги

застосування теплонасосних установок з використанням теплоти підземних вод для підвищення енергоефективності у тепловій схемі промислово-опалювальної котельні. Було обрано до проектування варіант модернізації теплової схеми промислово-опалювальної котельні заводу з теплонасосною установкою на теплоті підземних вод.

5 ТЕХНІКО - ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ПРОЄКТНИХ РІШЕНЬ

Для розрахунку кошторсиної вартості влаштування обладнання дотримувалися вимог КНУ Настанова з визначення вартості будівництва і використовували кошторисну програму “Будівельні технології”.

Для визначення кошторисної вартості влаштування обладнання розробляємо локальні кошториси на монтаж обладнання, на придбання обладнання, об’єктний коштрис за допомогою програмного комплексу (табл.5.1-5.3) на основі: ресурсних елементних кошторисних норм на будівельні роботи (РЕКН), на монтаж обладнання; поточних кошторисних цін на матеріали, вироби та конструкції, загально виробничі витрати розраховані відповідно до Настанови.

Кошторисна вартість влаштування конструкцій враховує трудовитрати та заробітну плату будівельників та машиністів, кількість та вартість матеріальних ресурсів, експлуатацію будівельних машин та механізмів. Кошторисна вартість влаштування конструкцій визначається як сума прямих та загальновиробничих витрат.

Прямі витрати (ПВ) враховують в своєму складі заробітну плату робочих, вартість експлуатації будівельних машин та механізмів, вартість матеріалів, виробів та конструкцій.

Загальновиробничі витрати (ЗВВ) – це витрати будівельно-монтажної організації, які входять у виробничу собівартість будівельно-монтажних робіт. Усі затрати, які відносяться до ЗВВ, згруповані в три групи.

(найменування об'єкта будівництва)

Таблиця 5.1 - Локальний кошторисний розрахунок на будівельні роботи № 1
на монтаж. утилізат генерат теплонасос

(найменування робіт та витрат, найменування будівлі, споруди, лінійного об'єкта інженерно-транспортної інфраструктури)

ОСНОВА: креслення(специфікації)№	Кошторисна вартість	436.308 тис. грн.
	Кошторисна трудомісткість	1.97429 тис. люд.-год
	Кошторисна заробітна плата	162.783 тис. грн.
	Середній розряд робіт	4.3 розряд

Складений в поточних цінах станом на 2024 р.

№ Ч.ч.	Обґрунтування (шифр норми)	Найменування робіт і витрат	Одиниця виміру	Кількість	Вартість одиниці, грн.		Загальна вартість, грн.			Витрати труда робітників, люд.год. не зайнятих обслуговуванням машин	
					Всього	експлуатації машин	Всього	заробітної плати	експлуатації машин	тих, що обслуговують машини	
					заробітної плати	в тому числі заробітної плати			в тому числі заробітної плати	на одиницю	всього
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	КМ6-407-2	Монтаж дизель-генератора стаціонарного, маса до 2 т	т	2.8	88635.85	14269.47	248180	58652	39955	273.0000	764.40
					20947.29	5130.35			14365	54.6889	153.13
2	КМ7-139-1	Монтаж КТАН-утилізатора марки КТАН-0,8УГ	комплект	1.0	111951.16	19653.46	111951	60010	19653	749.0000	749.00
					60009.88	7105.98			7106	82.6267	82.63
3	КМ7-218-7	Монтаж теплового насосу OCHSNER ISWS 330ER2 S0/W35 потужністю 230 кВт	шт	1.0	10131.04	1483.18	10131	5668	1483	77.0000	77.00
					5667.97	305.37			305	3.5794	3.58
Разом прямих витрат по кошторису							370262	124330	61091		1590.40
									21776		239.34
Разом прямі витрати						грн.	370262				
в тому числі:											
вартість матеріалів, виробів і комплектів						грн.	184841				
вартість ЕММ						грн.	61091				
в т.ч. заробітна плата в ЕММ						грн.		21776			
заробітна плата робітників						грн.		124330			
всього заробітна плата						грн.		146106			
Загальновиробничі витрати						грн.	66046				
трудомісткість в загальновиробничих витратах						люд-г					144.55
заробітна плата в загальновиробничих витратах						грн.		16677			

Будівельні Технології: Кошторис 8.3 Онлайн

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		Всього по кошторису					грн.	436308			
		Кошторисна трудомісткість					люд-г		1974.29		
		Кошторисна заробітна плата					грн.	162783			

Керівник
проектної
організації

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

Склав

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

Прийняв

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

(найменування об'єкта будівництва)

Таблиця 5. 2 - Локальний кошторисний розрахунок на придбання устаткування, меблів та інвентарю № 02-003-002

придбання. утилізат генерат теплонасос

(вид устаткування, меблів, інвентарю і робіт, найменування будівлі, споруди, лінійного об'єкта інженерно-транспортної інфраструктури)

ОСНОВА: креслення(специфікації) № _____, відомості тощо

Кошторисна вартість 1 168,869 тис. грн.

Складений в поточних цінах станом на 4 січня 2024 р.

№ Ч.ч.	Документ, що обґрунтовує ціну	Найменування і характеристика устаткування, меблів та інвентарю, маса одиниці устаткування	Одиниця виміру	Кількість	Вартість одиниці, грн.	Загальна вартість, грн.
1	2	3	4	5	6	7
1	1501-5029	газопоршневий двигун-генератора Generac SG-100 з номінальною потужністю електрогенератора 80 кВт	шт	1.0	684195.07	684195
2	1905-13002	КТАН-утилізатор марки КТАН-0,8УГ	шт	1.0	199187.93	199188
3	1505-12081	Тепловий насос OCHSNER ISWS 330ER2 S0/W35 потужністю 230 кВт	шт	1.0	241319.22	241319
Разом						1124702
Транспортні та заготівельно-складські витрати						44167
Всього по кошторису						1168869

Склав

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

Перевірив

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

(найменування об'єкта будівництва)

Таблиця 5.3 - Об'єктний кошторис № 02-003

на будівництво

(найменування будівлі, споруди, лінійного об'єкта інженерно-транспортної інфраструктури)

Кошторисна вартість 1605.177 тис. грн.
Кошторисна трудомісткість 1.97429 тис. люд.-год
Кошторисна заробітна плата 162.783 тис. грн.
Вимірник одиничної вартості

Складений в поточних цінах станом на 4 січня 2024 р.

№ Ч.ч.	Номери кошторисів і кошторисних розрахунків	Найменування робіт і витрат	Кошторисна вартість, тис.грн.			Кошторисна трудо-місткість, тис. люд.год	Кошторисна заробітна плата, тис.грн.	Показники одиничної вартості
			будівельних робіт	устаткування, меблів та інвентарю	всього			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	02-003-001	монтаж	436.308		436.308	1.97429	162.783	
2	02-003-002	придбання		1168.869	1168.869	-		
		Всього по кошторису	436.308	1168.869	1605.177	1.97429	162.783	

Склав

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

Перевірив

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

Загальні витрати проекту представлені в таблиці 5.4, розраховуються у відсотках від кошторисної вартості влаштування обладнання (значення приймається із об'єктного кошторису таблиці 5.3).

Таблиця 5.4 – Перелік інноваційних витрат

Орієнтовна робота	Питома вага вартості роботи, %	Термін виконання роботи, міс.	Загальна вартість виконання роботи, тис. грн.
Формування інноваційної ідеї проекту	1	1	16,06
Вивчення інформаційних джерел, патентний пошук	0,2	1	3,21
Техніко-економічне обґрунтування	1,5	3	24,09
Проектування	2,5	4	40,14
Експертиза інноваційного рішення	1	1	16,06
Витрати на придбання патентів, ліцензій, ноу-хау, технологій	2	2	32,12
Виготовлення нового виробу	100	6	1605,77
Витрати на пусконаладжувальні роботи, комплексне освоєння проектних потужностей і досягнення техніко-економічних показників	3	1	48,17
Витрати на підготовку кадрів	5	2	80,29
Всього		21	1865,90

Показники комерційної ефективності проекту (таблиця 5.5).

Таблиця 5.5 – Показники комерційної ефективності проекту, тис. грн.

№	Показники	Рік						
		-1	0	1	2	3	4	5
1	Потік реальних грошей	-131,67	-1865,23	1019,52	1001,52	919,12	778,50	759,98
2	Сальдо реальних грошей	-131,67	-1396,21	1019,52	959,29	876,89	740,39	725,99
3	Сальдо накопичених реальних грошей за п.2	-131,67	-1527,88	-508,37	450,92	1327,81	2068,20	2794,19
4	Коефіцієнт дисконтування при нормі дисконту 16%	1,16	1,00	0,86	0,74	0,64	0,55	0,48
5	Чиста поточна вартість (п.1×п.4)	-152,74	-1865,23	878,89	744,29	588,84	429,96	361,84
6	Інтегральний економічний ефект(накопичена чиста вартість) за п 5 ((t)+(t-1))	-152,74	-2017,97	-1139,08	-394,79	194,05	624,01	985,85

З таблиці 5. 5 видно додатне сальдо накопичених реальних грошей на 2 році реалізації проекту.

Оцінювання економічної ефективності інноваційного проекту

Чистими грошовими надходженнями визначаються за формулою:

$$NV = \sum_{t=0}^{T_p} NCF_t = \sum_{t=0}^{T_p} R_t - Z_t - N_t - K_t, \quad (5.1)$$

де NCF_t - чистий грошовий потік на t -ому році; R_t - результат виручки у t -й рік; Z_t - витрати у t -й рік; N_t - податки у t -й рік; K_t - інвестиції у t -й рік; T_p - розрахунковий період.

$$NV = 2481,73.$$

Чиста поточна вартість

$$NPV = \sum_{t=0}^{T_p} NCF_t \cdot \eta_t = \sum_{t=0}^{T_p} (R_t - Z_t - N_t - K_t) \cdot \eta_t, \quad (5.2)$$

де η_t - коефіцієнт дисконтування.

$$NPV = 985,85 \text{ тис. грн.}$$

Якщо $NPV > 0$, то проект можна рекомендувати до реалізації;

якщо $NPV < 0$, то проект необхідно відхилити;

$NPV = 0$, то в разі прийняття рішення про реалізацію проекту інвестори не отримають доходів на вкладений капітал.

Висновок. Оскільки NPV та NV є додатними, тобто за розрахунковий період грошові надходження перевищують суму капітальних вкладень, що призведе до зростання доходів інвестора, то проект вважається ефективним.

Термін окупності інвестицій

Термін окупності

$$\sum_{t=0}^{T_p} (P_t - B_t) \cdot \eta_t = \sum_{t=0}^{T_p} K_t \cdot \eta_t. \quad (5.3)$$

Розрахунок терміну окупності кумулятивним методом

Кумулятивний метод передбачає знаходження періоду окупності за формулою:

$$T = t + \frac{COF_t}{CIF_{t+1}}, \quad (5.4)$$

де COF_t – залишок інвестиційних витрат, не забезпечених доходами на початок t -го періоду, грн., CIF_t – чисті грошові надходження $(t + 1)$ -го періоду, грн.

Розрахунок представлений в таблиці 5.6.

Таблиця 5.6 – Розрахунок простого терміну окупності кумулятивним методом,
тис. грн.

Показник	Номер кроку розрахункового періоду						
	-1	0	1	2	3	4	5
Потік реальних грошей	-152,74	-1865,23	878,89	744,29	588,84	429,96	361,84
Кумулятивна	-152,74	-2017,97	-1139,08	-394,79	194,05	624,01	985,85

Як видно з таблиці 5.6 за показником залишку інвестиційних витрат, строк окупності даного проекту знаходиться між 2-3 роком (перехід від від'ємного до додатного залишку). Відповідно, за формулою (5.4) термін окупності буде дорівнювати:

$$T=2+394,79/588,84=2,67 \text{ років.}$$

Висновки

Склали кошторисні документи: локальні кошториси на монтаж обладнання, на придбання обладнання, об'єктний коштрис. В кошторисах пораховано:

- Кошторисна вартість $K_v = 1605,177$ тис. грн.
- Кошторисна заробітна плата $ЗП = 162,783$ тис. грн.
- Кошторисна трудомісткість $T = 1,974$ тис. люд –год
- Вартість матеріалів – $1944,107$ тис. грн.

Розрахували основні показники ефективності інвестицій в проект:

- Чисті грошові надходження – $2481,73$ тис. грн.;
- Чиста поточна вартість – $985,85$ тис. грн.;
- Термін окупності, розрахований кумулятивним методом – $2,67$ роки.

Висновки до розділу 5

Складена кошторисна документація: локальні кошториси, об'єктний кошторис за допомогою кошторисної програми.

ВИСНОВКИ

В магістерській кваліфікаційній роботі оцінюється підвищення енергоефективності в тепловій схемі промислово-опалювальної парової Дзвиняцького лісокомбінату, що забезпечується шляхом застосування когенераційної теплонасосної установки з використанням теплоти вторинних енергоресурсів.

В МКР виконано аналітичний огляд літературної інформації, що присвячена питанням підвищення енергоефективності, оцінено технічні особливості застосування теплових насосів, враховано напрацювання на основі європейського та світового досвіду їх впровадження. Це дозволило визначити мету та завдання магістерської кваліфікаційної роботи.

Виконано моделювання роботи теплонасосної установки (ТНУ) в тепловій схемі котельні Дзвиняцького лісокомбінату з використанням спеціалізованих програм: HP FAT Calculator Programme-2023, Treeze та SOLKANE; виконаний аналіз варіантів застосування теплонасосних установок в тепловій схемі котельні, здійснено розрахунок ефективності низки варіантів застосування теплонасосних установок в тепловій схемі котельні.

В розділі 2 за результатами аналізу показників базового та низки альтернативних варіантів теплової схеми промислово-опалювальної котельні з тепловим насосом з використанням різних джерел теплоти можна зробити висновок, що використання теплоти вторинних енергоресурсів в теплових насосах забезпечує достатню ефективність енергоперетворень та покращує екологічні показники порівняно з базовим варіантом.

За результатами проведених досліджень та оцінки одержаних наукових результатів в розділі 2, визначено енергетичні та екологічні переваги застосування теплонасосних установок з використанням теплоти вторинних енергоресурсів для підвищення енергоефективності у тепловій схемі промислово-опалювальної котельні.

Виконано моделювання роботи теплонасосної установки в тепловій схемі промислово-опалювальної парової котельні, а також, моделювання екологічного впливу варіантів модернізації теплової схеми промислово-опалювальної парової котельні. Здійснено порівняльний аналіз ефективності варіантів застосування ТНУ та обґрунтування вибору найбільш ефективного варіанту для теплової схеми котельні. Було обрано до проектування варіант модернізації теплової схеми промислово-опалювальної котельні заводу з теплонасосною установкою на теплоті вихідних енергоресурсів.

За результатами проведеного багатоваріантного аналізу низки енергетичних показників досліджених варіантів модернізації було обрано варіант застосування парокompресійної ТНУ з приводом від поршневого двигуна на природному газі, для якого економія робочого палива складає 6,92% та ТНУ працює в першому та другому режимі. Джерелом низькотемпературної теплоти для ТНУ буде теплота від контактного утилізатора.

В тепловій схемі передбачено встановлення теплового насосу OCHSNER ISWS 330ER2 S0/W35 потужністю 230 кВт, який працюватиме тільки в опалювальному режимі (максимальне та середнє навантаження).

Привод компресора теплового насосу буде забезпечено від газопоршневого двигуна–генератора Generac SG-100 з номінальною потужністю електрогенератора 80 кВт. Для вироблення теплоти для контура випарника ТНУ підібрано КТАН-утилізатор марки КТАН-0,8УГ (теплопродуктивність варіюється 0,1-1 МВт).

Також визначено склад і об'єми робіт, потребу в машинах, механізмах та в матеріальних ресурсах, трудомісткість монтажу. Вибрано допоміжне обладнання для монтажу теплового насосу OCHSNER та двигуна внутрішнього згоряння та визначено затрати паливних та енергетичних ресурсів. Після проведення необхідних розрахунків розроблені календарний графік монтажу системи, графік руху робітників, графік руху машин та механізмів.

Забезпечено економію палива та покращення техніко-економічних показників роботи теплової схеми котельні за рахунок застосування парокompресійної теплонасосної установки з використанням низькотемпературного джерела теплоти.

У разі застосування ТНУ в тепловій схемі котельні, буде забезпечена економія природного газу в обсязі 6,92%, буде забезпечено зниження собівартості теплоти.

Визначено, що термін окупності капіталовкладень в нове обладнання складе 2,67 року.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Остапенко О. П., Хмара С. В. Дослідження показників екологічної безпеки для варіантів застосування теплонасосних установок в тепловій схемі парової промислово-опалювальної котельні // *Наукове видання матеріалів міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2025)»*. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2025/schedConf/presentations> (Дата звертання 02.12.24).
2. Остапенко О. П., Хмара С. В. Моделювання роботи теплонасосної установки в тепловій схемі котельні дзвиняцького лісокомбінату. Матеріали ЛІІІ науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 20-22 березня 2024 р. Електрон. текст. дані. 2024. URI: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2024/paper/view/20705>. (Дата звертання 02.12.24).
3. European Heat Pump Market. URL: <https://www.rehva.eu/rehva-journal/chapter/european-heat-pumpmarket>. (Дата звертання 02.12.24).
4. План Європейської комісії REPowerEU: стратегія в галузі теплових насосів. URL: <https://www.heatpump.com.ua/novini-i-publikatsii/novini-industrii/prodazhi-teplovikh-nasosiv-v-vropi-v-2021-rotsi-dosyagli-2-milyoniv.htm> (Дата звертання 02.12.24).
5. REPowerEU. Affordable, secure and sustainable energy for Europe. URL: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/repowereu-affordable-secure-and-sustainable-energy-europe_en (Дата звертання 02.12.24).
6. Europe's booming demand for heat pumps exposes bottlenecks. URL: <https://www.euractiv.com/section/energy-environment/news/europes-booming-demand-for-heat-pumps-exposes-bottlenecks/> (Дата звертання 02.12.24).
7. Europe avoiding 5.5 billion cubic metres of gas with heat pumps. URL: <https://www.ehpa.org/news-and-resources/news/europe-avoiding-5-5-billion-cubic-metres-of-gas-with-heat-pumps/> (Дата звертання 02.12.24).

8. Wolf, S.; Blesl, M.: Model-based quantification of the contribution of industrial heat pumps to the European climate change mitigation strategy. In: 2016: Proceedings of the ECEEE Industrial Efficiency Conference 2016. Berlin, 12.-14.09.2016. Stockholm, 2016
9. The Future of Heat Pumps. URL: <https://www.iea.org/reports/the-future-of-heat-pumps> (Дата звертання 02.12.24).
10. Heat pumps gain traction as renewable energy grows. URL: <https://www.scientificamerican.com/article/heat-pumpsgain-traction-as-renewable-energy-grows/> (Дата звертання 02.12.24).
11. Advances in heat pump systems: A review. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S030626191000228X> (Дата звертання 02.12.24).
12. The European Heat Pump Association (EHPA). URL: <https://www.ehpa.org/about-heat-pumps/> (Дата звертання 02.12.24).
13. The Heat Pump Accelerator Platform. The Platform is a dynamic EU-wide initiative that aims to speed up the roll-out of heat pumps in buildings, industry, and district heating. URL: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/heat-pumps/heat-pump-accelerator-platform_en (Дата звертання 02.12.24).
14. Local actions for implementing National Energy Plans: decarbonising heating and cooling in Europe. URL: <https://www.ehpa.org/news-and-resources/news/local-actions-for-implementing-national-energy-plans-decarbonising-heating-and-cooling-in-europe/> (Дата звертання 02.12.24).
15. EU could end up 15 million heat pumps short of 2030 ambition. URL: <https://www.ehpa.org/news-and-resources/news/eu-could-end-up-15-million-heat-pumps-short-of-2030-ambition/> (Дата звертання 02.12.24).
16. EHPA manifesto: priorities for EU policy 2024-2029. URL: <https://www.ehpa.org/news-and-resources/publications/ehpa-manifesto-priorities-for-eu-policy-2024-2029/> (Дата звертання 02.12.24).

17. Infographic: how Fit for 55 impacts heat pumps. URL: <https://www.ehpa.org/news-and-resources/news/infographic-how-fit-for-55-impacts-heat-pumps/> (Дата звертання 02.12.24).
18. Pump it down: why heat pump sales dropped in 2023. URL: <https://www.ehpa.org/news-and-resources/press-releases/pump-it-down-why-heat-pump-sales-dropped-in-2023/> (Дата звертання 02.12.24).
19. EC, 2021, Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – ‘Fit for 55’: delivering the EU’s 2030 climate target on the way to climate neutrality, COM(2021) 550 final, Brussels, 14.7. 2021.
20. Eurostat, 2023, Energy balances – early estimates. – URL: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy_balances_-_early_estimates (Дата звертання 02.12.24).
21. EU, 2001, Directive 2001/80/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2001 on the limitation of emissions of certain pollutants into the air from large combustion plants (OJ L 309, 27/11/2001, pp. 1–21).
22. EU, 2018, Directive (EU) 2018/410 of the European Parliament and of the Council of 14 March 2018 amending Directive 2003/87/EC to enhance cost-effective emission reductions and low-carbon investments, and Decision (EU) 2015/1814 (OJ L 76, 19.3.2018, p. 3-27).
23. Ostapenko Olga. Study of energy-economic efficiency of energy supply systems with cogeneration heat pump installations, using the heat of the industrial and natural sources, in industry and municipal heat power branch of Ukraine // Social and Legal Aspects of the Development of Civil Society Institutions: Collective Monograph. Part I. Warsaw: Institute of European Integration, Bmt Eridia Sp. z o. o., 2019, 536 p. P. 292 – 308.
24. Ostapenko O. P. Scientific basis of evaluation energy efficiency of heat pump plants: monograph. Saarbrücken, LAP LAMBERT Academic Publishing, 2016. 62 p.
25. Ostapenko Olga. Analysis of energy, ecological and economic efficiency of steam compressor heat pump installations, as compared with alternative sources of heat

- supply, with accounting the concept of sustainable development // Sustainable Development Under the Conditions of European Integration: Collective monograph / [editorial board Darko Bele, Lidija Weis, Nevenka Maher]. Part II. – Ljubljana: VŠPV, Visoka šola za poslovne vede = Ljubljana School of Business, 2019, 458 p. P. 312 – 329.
26. Ostapenko O. P. Spheres of high energy efficiency of energy supply systems with cogeneration heat pump installations of large power and peak fuel-fired boilers. *Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences.* – IV (12). – Issue 110. – 2016. P. 64-67.
 27. Ostapenko O. P. Areas of high energy efficiency of energy supply systems with cogeneration heat pump installations of small power and peak electric boilers in heat supply systems. *Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences.* – V (13). – Issue 121. – 2017. P. 77-80.
 28. Ostapenko O. P. Areas of high energy efficiency of energy supply systems with cogeneration heat pump installations of large power and peak fuel-fired boilers for heat supply systems. *Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences.* – V (14). – Issue 132. – 2017. P. 70-74.
 29. Ostapenko O. P. Areas of high energy efficiency of energy supply systems with cogeneration heat pump installations of small power and peak fuel-fired boilers. *Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences.* – V (15). – Issue 140. – 2017. P. 64-68.
 30. Ostapenko O. P. Application of the method of complex assessment of energy-ecological-economic efficiency of energy supply systems with cogeneration heat pump installations and peak sources of heat // Proceedings of the International Scientific and Professional Conference «Advances in the Natural Sciences and Engineering – ANSE2018» (30th of June 2018, Budapest). – URL: <http://scaspee.com/all-materials/application-of-the-method-of-complex-assessment-of-energy-ecological-economic-efficiency-of-energy-supply-systems-with-cogeneration-heat-pump-installations-and-peak-sources-of-heat-stapenko>. (Дата звертання 02.12.24).

31. Ostapenko O. P. Economical aspects of the efficiency of usage of energy supply systems with cogeneration heat pump installations of various power levels / Ostapenko O. P., Portnov V. M. // Proceedings of the International Scientific conference «Eastern European Studies: Economics, Education and Law» (June 7 – 8, 2018, Burgas Free University, Burgas), Burgas : Publishing House FLAT Ltd-Burgas, 2018. – Volume II. P. 60 – 62.
32. Остапенко О. П. Методичні основи з оцінювання енергоекономічної ефективності систем енергозабезпечення з когенераційно-теплонасосними установками та піковими джерелами теплоти. *Наукові праці ОНАХТ.* – 2017. – Т. 81. – Вип. 1. – С. 136 – 141.
33. Остапенко О. П. Методичні основи з комплексного оцінювання енерго-еколого-економічної ефективності систем енергозабезпечення з когенераційно-теплонасосними установками та піковими джерелами теплоти. *Наукові праці ВНТУ.* – 2017. – № 3. – URL.: <https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/515/507>. (Дата звертання 02.12.24).
34. Остапенко О. П. Високоєфективні системи енергозабезпечення з когенераційно-теплонасосними установками: енергетичний, економічний та екологічний аспекти ефективності. Енергоефективність та енергозбереження: економічний, технічний та агроєкологічний аспекти: [колективна монографія]. – Полтава: ПП Астроя, 2019. – С. 526 – 530.
35. Ткаченко С. Й., Остапенко О. П. Парокомпресійні теплонасосні установки в системах теплопостачання: монографія. Вінниця : УНІВЕРСУМ – Вінниця. 2009. 176 с.
36. Остапенко О. П. Холодильна техніка та холодильна технологія. Теплові насоси : навч. посіб. Вінниця : ВНТУ, 2015. 123 с.
37. Остапенко О. П. Енергоефективність систем енергозабезпечення з когенераційно-теплонасосними установками та піковими джерелами теплоти в системах теплопостачання // *Наукові праці ВНТУ.* – 2016. – № 2. – URL:

- <http://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/472/470>. (Дата звертання 02.12.24).
38. Остапенко О. П. Области енергоефективної роботи систем енергозабезпечення з когенераційно-теплонасосними установками та піковими джерелами теплоти // *Наукові праці ВНТУ*. – 2016. – № 3. – URL: <http://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/479/478>. (Дата звертання 02.12.24).
 39. Остапенко О. П. Области енергоефективної роботи систем енергозабезпечення з когенераційно-теплонасосними установками та піковими джерелами теплоти в системах теплопостачання // *Наукові праці ВНТУ*. – 2016. – № 4. – URL: <https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/487/486>. (Дата звертання 02.12.24).
 40. Остапенко О. П. Области високої енергоефективності систем енергозабезпечення з когенераційно-теплонасосними установками малої потужності та паливними котлами в системах теплопостачання // *Наукові праці ВНТУ*. – 2017. – № 1. – URL: <https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/499/496>. (Дата звертання 02.12.24).
 41. HP FAT Calculator Programme-2023. URL: <https://www.dti.dk/specialists/heat-pumps-hp-fat/39679> (Дата звертання 02.12.24).
 42. Engineering Equation Solver (EES). URL: <https://fchartsoftware.com/ees/> (Дата звертання 02.12.24).
 43. Програмний продукт компанії Treeze Ltd з оцінки життєвого циклу. URL: <https://treeze.ch/> (Дата звертання 02.12.24).
 44. Калькулятор централізованого опалення. URL: https://rechner.umweltchemie.ch/HTMLFernwaerme22_de_v4/Oekobilanzrechner_Fernwaerme_2022_deutsch_v4_UVEK2022.htm (Дата звертання 02.12.24).
 45. Калькулятор теплового насосу. URL: https://rechner.umweltchemie.ch/HTMLWaermepumpen22_de_v5/Oekobilanzrechner_Waermepumpen_2022_deutsch_v5_UVEK2022.htm (Дата звертання 02.12.24).

46. Ткаченко С. Й., Чепурний М. М., Степанов Д. В. Розрахунки теплових схем і основи проектування джерел теплопостачання. Навч. Посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2005. 137 с.
47. SOLKANE Refrigerants 8. URL: <https://solkane-refrigerants.software.informer.com/8.0/> (Дата звертання 02.12.24).
48. Промислові теплові насоси. URL: <https://www.geoteplo.com.ua/ua/katalog/catalogochsnere/heating/119-industrie.html> (Дата звертання 02.12.24).
49. Застосування систем утилізації вологих газів для підвищення енергозбереження в котельних установках. URL: <https://patriot-nrg.com/uk/content/zastosuvannya-system-utyilizaciyi-vologyh-gaziv-dlya-pidvyshchennya-energozberezhennya-v> (Дата звертання 02.12.24).
50. Газопоршневі двигуни. URL : <http://220volt.com.ua/generatory/generac>. (Дата звертання 02.12.24)
51. ДБН Д.2.4-15-2000. Збірник 15. Внутрішні сантехнічні роботи. – К.: Держстандарт України, 2000. – 106 с.
52. ДБН Д.2.3-7-99. Збірник 7. Компресорні установки, насоси і вентилятори. – К.: Держстандарт України, 2000. – 47 с.
53. ДБН Д.2.3-6-99. Збірник 6. Теплосилове обладнання. – К.: Держстандарт України, 2000. – 165 с.
54. ДБН Д.2.2-18-99. Збірник 18. Опалення – внутрішнє пристосування. – К.: Держстандарт України, 1999. – 28 с.
55. ДБН Д.2.3-12-99. Збірник 12. Технологічні трубопроводи. – К.: Держстандарт України, 2000. – 200 с.

Додатки

Додаток А
(обов'язковий)

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: Підвищення енергоефективності в тепловій схемі котельні
Дзвиняцького лісокомбінату

Тип роботи: Магістерська кваліфікаційна робота
(кваліфікаційна робота, курсовий проект (робота), реферат, аналітичний огляд, інше (зазначити))

Підрозділ кафедра теплоенергетики, ФБЦЕІ, група ТЕ-23м
(кафедра, факультет (інститут), навчальна група)

Керівник к.т.н., доцент Остапенко О.П.
(прізвище, ініціали, посада)

Показники звіту подібності

Turnitin	
Оригінальність	
Загальна схожість	82%
	18%

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне)

- ☒ Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
- ☐ Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її автора. Роботу направити на доопрацювання.
- ☐ Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Заявляю, що ознайомлений (-на) з повним звітом подібності, який був згенерований Системою щодо роботи (додається)

Автор Хмара С.В.
(підпис)

Хмара С.В.
(прізвище, ініціали)

Опис прийнятого рішення

Робота допущена до захисту

Особа, відповідальна за перевірку Співак О.Ю.
(підпис)

Співак О.Ю.
(прізвище, ініціали)

Експерт
(за потреби) (підпис)

(прізвище, ініціали, посада)

Додаток Б
(обов'язковий)

98

ЗАТВЕРДЖЕНО

Завідувач кафедри ТЕ

Дмитро СТЕПАНОВ

09 2024 р.



ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ
до магістерської кваліфікаційної роботи

«ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ В ТЕПЛОВІЙ СХЕМІ КОТЕЛЬНОЇ
ДЗВИНЯЦЬКОГО ЛІСОКОМБІНАТУ»

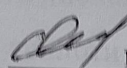
за спеціальністю

144 – теплоенергетика

08-15.МКР.011.00.00.000 ТЗ

Керівник магістерської

кваліфікаційної роботи

 к.т.н. доц. Остапенко О. П.

" 25 " 09 2024 р.

Розробив студент гр. ТЕ-23м

 Хмара С. В.

" 23 " 09 2024 р.

Вінниця 2024

1 Найменування і область використання продукції

Когенераційна теплонасосна установка (КТНУ) в тепловій схемі призначена для забезпечення потреб технології, опалення та гарячого водопостачання споживачів.

Застосування КТНУ забезпечує зменшення питомої витрати палива та дозволяє здійснити реконструкцію енергетики і розв'язати екологічні проблеми найбільш дешевим для економіки країни способом.

2 Основа для виконання робіт

Основою для виконання робіт є індивідуальне завдання на магістерську кваліфікаційну роботу, вихідні дані з підприємства, наказ ректора ВНТУ про затвердження теми МКР №310 від 17.09.2024 р.

3 Мета та призначення розробки

Метою проектування є підвищення енергоефективності в тепловій схемі опалювальної водогрійної котельні з використанням теплонасосних технологій, обґрунтування енергоефективних, екологічно безпечних та економічно обґрунтованих режимів роботи котельні з використанням нового обладнання, оцінка обсягів економії паливно-енергетичних ресурсів, підвищення екологічної безпеки та оцінка економії коштів від запропонованої модернізації в тепловій схемі котельні.

Аналіз і визначення показників роботи діючої теплової схеми котельні. Розробка варіантів застосування та вибір джерел теплоти для когенераційної теплонасосної установки, які включають в себе: аналіз можливих проектних рішень; визначення на підставі багатоваріантного аналізу оптимального варіанту застосування когенераційної теплонасосної установки; вибір основного і допоміжного обладнання когенераційної теплонасосної установки.

4 Джерела розробки

Основою для розробки є індивідуальне завдання на магістерську кваліфікаційну роботу, дані багатьох літературних джерел та інші технічні матеріали про ефективність застосування когенераційних теплонасосних установок на підприємствах муніципальної енергетики.

4.1 Ostapenko Olga. Study of energy-economic efficiency of energy supply systems with cogeneration heat pump installations, using the heat of the industrial and natural sources, in industry and municipal heat power branch of Ukraine // Social and Legal Aspects of the Development of Civil Society Institutions: Collective Monograph. Part I. Warsaw: Institute of European Integration, Bmt Eridia Sp. z o. o., 2019, 536 p. P. 292 – 308.

4.2 Ostapenko O. P. Scientific basis of evaluation energy efficiency of heat pump plants: monograph. Saarbrücken, LAP LAMBERT Academic Publishing, 2016. – 62 p.

4.3 Ostapenko Olga. Analysis of energy, ecological and economic efficiency of steam compressor heat pump installations, as compared with alternative sources of heat supply, with accounting the concept of sustainable development // Sustainable Development Under the Conditions of European Integration: Collective monograph / [editorial board Darko Bele, Lidija Weis, Nevenka Maher]. Part II. – Ljubljana: VŠPV, Visoka šola za poslovne vede = Ljubljana School of Business, 2019, 458 p. P. 312 – 329.

4.4 Ткаченко С. Й., Остапенко О. П. Парокомпресійні теплонасосні установки в системах теплопостачання: монографія. Вінниця : УНІВЕРСУМ – Вінниця. 2009. 176 с.

4.5 Остапенко О. П. Холодильна техніка та холодильна технологія. Теплові насоси : навч. посіб. Вінниця : ВНТУ, 2015. 123 с.

4.6 Ostapenko O. P., Poprotskyi Y. S. Efficiency of cogeneration heat pump installation in thermal scheme of boiler-house of the plant for the production of concentrated juices // Applied Scientific and Technical Research : Proceedings of the IV International Scientific and Practical Conference, April 1–3, 2020, Ivano-Frankivsk / Academy of Technical Sciences of Ukraine. Ivano-Frankivsk : Vasyl Stefanyk Precarpathian National University, 2020. V. 2. P. 60

4.7 Остапенко О. П., Попроцький Я. С., Кохан В. О. Аналіз енерго-еколого-економічної ефективності ресурсоенергоефективних систем енергозабезпечення з когенераційно-теплонасосними установками з використанням теплоти систем оборотного водопостачання // Збірник доповідей VIII Всеукраїнської науково-практичної конференції «Ефективні процеси та обладнання хімічних виробництв та пакувальної техніки». – К. : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. С. 22-24.

5 Технічні вимоги

Вихідні дані до роботи: відпуск пари на теплофікацію 0,13 кг/с; на перший промисловий споживач 0,19 кг/с; відпуск пари на другий промисловий споживач 0,4 кг/с; повернення конденсату від теплофікації 95 %; повернення конденсату від першого промислового споживача 90 %; конденсат від другого промислового споживача не повертається; температура повернення конденсату від теплофікації 73 °С; температура повернення конденсату від першого промислового споживача 83 °С; температура додаткової води 5-20 °С; витрата пари на власні потреби 6,5 %.

6 Економічні показники

Створення об'єкту повинно вестись з малими витратами праці та з мінімальними затратами виробництва. Слід проаналізувати декілька варіантів застосування когенераційної теплонасосної установки і вибрати оптимальний на підставі техніко-економічних розрахунків, здійснити економічне обґрунтування доцільності застосування когенераційної теплонасосної установки за оптимальним варіантом, визначивши річні витрати палива, визначити економію палива. Проаналізувати техніко-економічні показники роботи когенераційної теплонасосної установки в тепловій схемі котельні та визначити термін окупності капіталовкладень на будівництво установки.

7 Стадії та етапи розробки

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів МКР	Строк виконання етапів МКР	Примітка
1	Аналітичний літературний огляд	25.09.2024 – 05.10.2024	
2	Методичні основи для моделювання теплових схем з тепловими насосами	06.10.2024 – 18.10.2024	
3	Моделювання роботи теплонасосної установки в тепловій схемі парової котельні	19.10.2024 – 02.11.2024	
4	Моделювання екологічного впливу варіантів модернізації теплової схеми промислово-опалювальної парової котельні	03.11.2024 – 19.11.2024	
5	Техніко - економічні показники проєктних рішень	20.11.2024 – 29.11.2024	
6	Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу	30.11.2024 – 05.12.2024	

Дата видачі завдання 23.09.2024 р.

Крайні терміни виконання 05.12.2024 р.

8 Порядок контролю та прийняття

Виконання етапів графічної та розрахункової документації МКР контролюється керівником МКР, згідно з графіком виконання. Прийняття МКР здійснюється ЕК, затвердженою наказом ректора ВНТУ, згідно з графіком захисту.

9 Koreгування технічного завдання допускається з дозволу керівника МКР.

Додаток В
(довідковий)

РЕЗУЛЬТАТИ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Таблиця В.1 – Результати моделювання

Тепловий насос «повітря-вода» Стара будівля Загальний коефіцієнт ефективності 3 Електроенергія з мережі Вплив на навколишнє середовище		Per kWh of heat	Per kWh of consumed electricity
Greenhouse gas emissions	kg CO ₂ -eq/kWh	0,058	0,156
Carbon dioxide, fossil	kg CO ₂ /kWh	0,043	0,117
Total primary energy factor	kWh of oil equivalent/kWh	1,62	4,375
Primary energy factor, non-renewable	kWh of oil equivalent/kWh	0,783	2,115
Primary energy factor, nuclear	kWh of oil equivalent/kWh	0,63	1,7
Final energy factor	kWh of oil equivalent/kWh	0,837	2,26
Primary energy factor, on-site renewable	kWh of oil equivalent/kWh	0,63	1,7
Primary energy factor, waste heat/waste water	kWh of oil equivalent/kWh	0,011	0,029
Environmental impact points 2021	UBP /kWh	214	579

Таблиця В.2 – Результати моделювання

Тепловий насос «повітря-вода» Стара будівля Локальний коефіцієнт ефективності 3 Електроенергія з мережі Вплив на навколишнє середовище		Per kWh of heat	Per kWh of consumed electricity
Greenhouse gas emissions	kg CO ₂ -eq/kWh	0,053	0,16
Carbon dioxide, fossil	kg CO ₂ /kWh	0,039	0,118
Total primary energy factor	kWh of oil equivalent/kWh	1,56	4,679
Primary energy factor, non-renewable	kWh of oil equivalent/kWh	0,706	2,118
Primary energy factor, nuclear	kWh of oil equivalent/kWh	0,567	1,701
Final energy factor	kWh of oil equivalent/kWh	0,854	2,561
Primary energy factor, on-site renewable	kWh of oil equivalent/kWh	0,667	2,0
Primary energy factor, waste heat/waste water	kWh of oil equivalent/kWh	0,010	0,029
Environmental impact points 2021	UBP /kWh	196	587

Таблиця В.3 – Результати моделювання

Тепловий насос «повітря-вода» Стара будівля Загальний коефіцієнт ефективності 3 Електроенергія з відновлюваних джерел Вплив на навколишнє середовище		Per kWh of heat	Per kWh of consumed electricity
Greenhouse gas emissions	kg CO ₂ -eq/kWh	0,017	0,047
Carbon dioxide, fossil	kg CO ₂ /kWh	0,006	0,017
Total primary energy factor	kWh of oil equivalent/kWh	1,084	2,928
Primary energy factor, non-renewable	kWh of oil equivalent/kWh	0,025	0,067
Primary energy factor, nuclear	kWh of oil equivalent/kWh	0,006	0,015
Final energy factor	kWh of oil equivalent/kWh	1,06	2,861
Primary energy factor, on-site renewable	kWh of oil equivalent/kWh	0,63	1,7
Primary energy factor, waste heat/waste water	kWh of oil equivalent/kWh	0,002	0,007
Environmental impact points 2021	UBP /kWh	54	147

Таблиця В.4 – Результати моделювання

Тепловий насос «повітря-вода» Стара будівля Локальний коефіцієнт ефективності 3 Електроенергія з відновлюваних джерел Вплив на навколишнє середовище		Per kWh of heat	Per kWh of consumed electricity
Greenhouse gas emissions	kg CO ₂ -eq/kWh	0,017	0,05
Carbon dioxide, fossil	kg CO ₂ /kWh	0,006	0,018
Total primary energy factor	kWh of oil equivalent/kWh	1,077	3,232
Primary energy factor, non-renewable	kWh of oil equivalent/kWh	0,023	0,07
Primary energy factor, nuclear	kWh of oil equivalent/kWh	0,005	0,016
Final energy factor	kWh of oil equivalent/kWh	1,054	3,161
Primary energy factor, on-site renewable	kWh of oil equivalent/kWh	0,667	2,0
Primary energy factor, waste heat/waste water	kWh of oil equivalent/kWh	0,002	0,007
Environmental impact points 2021	UBP /kWh	52	156

Таблиця В.5 – Результати моделювання

Тепловий насос «розсіл (геотермальна енергія)-вода» Стара будівля Загальний коефіцієнт ефективності 3 Електроенергія з мережі Вплив на навколишнє середовище		Per kWh of heat	Per kWh of consumed electricity
Greenhouse gas emissions	kg CO ₂ -eq/kWh	0,050	0,162
Carbon dioxide, fossil	kg CO ₂ /kWh	0,040	0,128
Total primary energy factor	kWh of oil equivalent/kWh	1,54	4,93
Primary energy factor, non-renewable	kWh of oil equivalent/kWh	0,678	2,17
Primary energy factor, nuclear	kWh of oil equivalent/kWh	0,532	1,702
Final energy factor	kWh of oil equivalent/kWh	0,862	2,76
Primary energy factor, on-site renewable	kWh of oil equivalent/kWh	0,688	2,2
Primary energy factor, waste heat/waste water	kWh of oil equivalent/kWh	0,009	0,029
Environmental impact points 2021	UBP /kWh	187	599

Таблиця В.6 – Результати моделювання

Тепловий насос «розсіл (геотермальна енергія)-вода» Стара будівля Локальний коефіцієнт ефективності 3 Електроенергія з мережі Вплив на навколишнє середовище		Per kWh of heat	Per kWh of consumed electricity
Greenhouse gas emissions	kg CO ₂ -eq/kWh	0,053	0,159
Carbon dioxide, fossil	kg CO ₂ /kWh	0,042	0,126
Total primary energy factor	kWh of oil equivalent/kWh	1,574	4,724
Primary energy factor, non-renewable	kWh of oil equivalent/kWh	0,721	2,164
Primary energy factor, nuclear	kWh of oil equivalent/kWh	0,567	1,702
Final energy factor	kWh of oil equivalent/kWh	0,853	2,560
Primary energy factor, on-site renewable	kWh of oil equivalent/kWh	0,667	2,0
Primary energy factor, waste heat/waste water	kWh of oil equivalent/kWh	0,010	0,029
Environmental impact points 2021	UBP /kWh	198	593

Таблиця В.7 – Результати моделювання

Тепловий насос «розсіл (геотермальна енергія)-вода» Стара будівля Загальний коефіцієнт ефективності 3 Електроенергія з відновлюваних джерел Вплив на навколишнє середовище		Per kWh of heat	Per kWh of consumed electricity
Greenhouse gas emissions	kg CO ₂ -eq/kWh	0,016	0,052
Carbon dioxide, fossil	kg CO ₂ /kWh	0,008	0,027
Total primary energy factor	kWh of oil equivalent/kWh	1,088	3,482
Primary energy factor, non-renewable	kWh of oil equivalent/kWh	0,038	0,122
Primary energy factor, nuclear	kWh of oil equivalent/kWh	0,005	0,018
Final energy factor	kWh of oil equivalent/kWh	1,06	2,861
Primary energy factor, on-site renewable	kWh of oil equivalent/kWh	0,688	2,2
Primary energy factor, waste heat/waste water	kWh of oil equivalent/kWh	0,002	0,007
Environmental impact points 2021	UBP /kWh	52	167

Таблиця В.8 – Результати моделювання

Тепловий насос «розсіл (геотермальна енергія)-вода» Стара будівля Локальний коефіцієнт ефективності 3 Електроенергія з відновлюваних джерел Вплив на навколишнє середовище		Per kWh of heat	Per kWh of consumed electricity
Greenhouse gas emissions	kg CO ₂ -eq/kWh	0,017	0,05
Carbon dioxide, fossil	kg CO ₂ /kWh	0,009	0,026
Total primary energy factor	kWh of oil equivalent/kWh	1,092	3,277
Primary energy factor, non-renewable	kWh of oil equivalent/kWh	0,039	0,116
Primary energy factor, nuclear	kWh of oil equivalent/kWh	0,006	0,017
Final energy factor	kWh of oil equivalent/kWh	1,053	3,160
Primary energy factor, on-site renewable	kWh of oil equivalent/kWh	0,667	2,0
Primary energy factor, waste heat/waste water	kWh of oil equivalent/kWh	0,002	0,007
Environmental impact points 2021	UBP /kWh	54	162

Таблиця В.9 – Результати моделювання

Тепловий насос «стічні води-вода» Стара будівля Загальний коефіцієнт ефективності 3 Електроенергія з мережі Вплив на навколишнє середовище		Per kWh of heat	Per kWh of consumed electricity
Greenhouse gas emissions	kg CO ₂ -eq/kWh	0,045	0,145
Carbon dioxide, fossil	kg CO ₂ /kWh	0,037	0,118
Total primary energy factor	kWh of oil equivalent/kWh	0,835	2,672
Primary energy factor, non-renewable	kWh of oil equivalent/kWh	0,66	2,111
Primary energy factor, nuclear	kWh of oil equivalent/kWh	0,53	1,698
Final energy factor	kWh of oil equivalent/kWh	0,175	0,561
Primary energy factor, on-site renewable	kWh of oil equivalent/kWh	0	0
Primary energy factor, waste heat/waste water	kWh of oil equivalent/kWh	0,697	2,229
Environmental impact points 2021	UBP /kWh	171	548

Таблиця В.10 – Результати моделювання

Тепловий насос «стічні води-вода» Стара будівля Локальний коефіцієнт ефективності 3 Електроенергія з мережі Вплив на навколишнє середовище		Per kWh of heat	Per kWh of consumed electricity
Greenhouse gas emissions	kg CO ₂ -eq/kWh	0,048	0,144
Carbon dioxide, fossil	kg CO ₂ /kWh	0,039	0,118
Total primary energy factor	kWh of oil equivalent/kWh	0,89	2,67
Primary energy factor, non-renewable	kWh of oil equivalent/kWh	0,703	2,109
Primary energy factor, nuclear	kWh of oil equivalent/kWh	0,566	1,697
Final energy factor	kWh of oil equivalent/kWh	0,187	0,56
Primary energy factor, on-site renewable	kWh of oil equivalent/kWh	0	0
Primary energy factor, waste heat/waste water	kWh of oil equivalent/kWh	0,676	2,029
Environmental impact points 2021	UBP /kWh	182	545

Таблиця В.11 – Результати моделювання

Тепловий насос «стічні води-вода» Стара будівля Загальний коефіцієнт ефективності 3 Електроенергія з відновлюваних джерел Вплив на навколишнє середовище		Per kWh of heat	Per kWh of consumed electricity
Greenhouse gas emissions	kg CO ₂ -eq/kWh	0,011	0,035
Carbon dioxide, fossil	kg CO ₂ /kWh	0,005	0,018
Total primary energy factor	kWh of oil equivalent/kWh	0,383	1,225
Primary energy factor, non-renewable	kWh of oil equivalent/kWh	0,020	0,063
Primary energy factor, nuclear	kWh of oil equivalent/kWh	0,004	0,013
Final energy factor	kWh of oil equivalent/kWh	0,363	1,162
Primary energy factor, on-site renewable	kWh of oil equivalent/kWh	0	0
Primary energy factor, waste heat/waste water	kWh of oil equivalent/kWh	0,69	2,207
Environmental impact points 2021	UBP /kWh	36	116

Таблиця В.12 – Результати моделювання

Тепловий насос «стічні води-вода» Стара будівля Локальний коефіцієнт ефективності 3 Електроенергія з відновлюваних джерел Вплив на навколишнє середовище		Per kWh of heat	Per kWh of consumed electricity
Greenhouse gas emissions	kg CO ₂ -eq/kWh	0,011	0,034
Carbon dioxide, fossil	kg CO ₂ /kWh	0,006	0,017
Total primary energy factor	kWh of oil equivalent/kWh	0,407	1,222
Primary energy factor, non-renewable	kWh of oil equivalent/kWh	0,020	0,061
Primary energy factor, nuclear	kWh of oil equivalent/kWh	0,004	0,012
Final energy factor	kWh of oil equivalent/kWh	0,387	1,161
Primary energy factor, on-site renewable	kWh of oil equivalent/kWh	0	0
Primary energy factor, waste heat/waste water	kWh of oil equivalent/kWh	0,669	2,007
Environmental impact points 2021	UBP /kWh	38	114

Таблиця В.13 – Результати моделювання

Тепловий насос «підземні води-вода» Стара будівля Загальний коефіцієнт ефективності 3 Електроенергія з мережі Вплив на навколишнє середовище		Per kWh of heat	Per kWh of consumed electricity
Greenhouse gas emissions	kg CO ₂ -eq/kWh	0,047	0,152
Carbon dioxide, fossil	kg CO ₂ /kWh	0,037	0,119
Total primary energy factor	kWh of oil equivalent/kWh	1,524	4,876
Primary energy factor, non-renewable	kWh of oil equivalent/kWh	0,662	2,117
Primary energy factor, nuclear	kWh of oil equivalent/kWh	0,531	1,700
Final energy factor	kWh of oil equivalent/kWh	0,862	2,759
Primary energy factor, on-site renewable	kWh of oil equivalent/kWh	0,688	2,2
Primary energy factor, waste heat/waste water	kWh of oil equivalent/kWh	0,009	0,029
Environmental impact points 2021	UBP /kWh	181	578

Таблиця В.14 – Результати моделювання

Тепловий насос «підземні води-вода» Стара будівля Локальний коефіцієнт ефективності 3 Електроенергія з мережі Вплив на навколишнє середовище		Per kWh of heat	Per kWh of consumed electricity
Greenhouse gas emissions	kg CO ₂ -eq/kWh	0,050	0,150
Carbon dioxide, fossil	kg CO ₂ /kWh	0,039	0,118
Total primary energy factor	kWh of oil equivalent/kWh	1,558	4,764
Primary energy factor, non-renewable	kWh of oil equivalent/kWh	0,705	2,115
Primary energy factor, nuclear	kWh of oil equivalent/kWh	0,566	1,699
Final energy factor	kWh of oil equivalent/kWh	0,853	2,559
Primary energy factor, on-site renewable	kWh of oil equivalent/kWh	0,667	2,0
Primary energy factor, waste heat/waste water	kWh of oil equivalent/kWh	0,010	0,029
Environmental impact points 2021	UBP /kWh	191	574

Таблиця В.15 – Результати моделювання

Тепловий насос «підземні води-вода» Стара будівля Загальний коефіцієнт ефективності 3 Електроенергія з відновлюваних джерел Вплив на навколишнє середовище		Per kWh of heat	Per kWh of consumed electricity
Greenhouse gas emissions	kg CO ₂ -eq/kWh	0,013	0,042
Carbon dioxide, fossil	kg CO ₂ /kWh	0,006	0,018
Total primary energy factor	kWh of oil equivalent/kWh	1,072	3,429
Primary energy factor, non-renewable	kWh of oil equivalent/kWh	0,022	0,069
Primary energy factor, nuclear	kWh of oil equivalent/kWh	0,005	0,015
Final energy factor	kWh of oil equivalent/kWh	1,05	3,36
Primary energy factor, on-site renewable	kWh of oil equivalent/kWh	0,688	2,2
Primary energy factor, waste heat/waste water	kWh of oil equivalent/kWh	0,002	0,007
Environmental impact points 2021	UBP /kWh	46	147

Таблиця В.16 – Результати моделювання

Тепловий насос «підземні води-вода» Стара будівля Локальний коефіцієнт ефективності 3 Електроенергія з відновлюваних джерел Вплив на навколишнє середовище		Per kWh of heat	Per kWh of consumed electricity
Greenhouse gas emissions	kg CO ₂ -eq/kWh	0,013	0,04
Carbon dioxide, fossil	kg CO ₂ /kWh	0,006	0,018
Total primary energy factor	kWh of oil equivalent/kWh	1,075	3,226
Primary energy factor, non-renewable	kWh of oil equivalent/kWh	0,022	0,067
Primary energy factor, nuclear	kWh of oil equivalent/kWh	0,005	0,014
Final energy factor	kWh of oil equivalent/kWh	1,053	3,159
Primary energy factor, on-site renewable	kWh of oil equivalent/kWh	0,667	2,0
Primary energy factor, waste heat/waste water	kWh of oil equivalent/kWh	0,002	0,007
Environmental impact points 2021	UBP /kWh	47	142

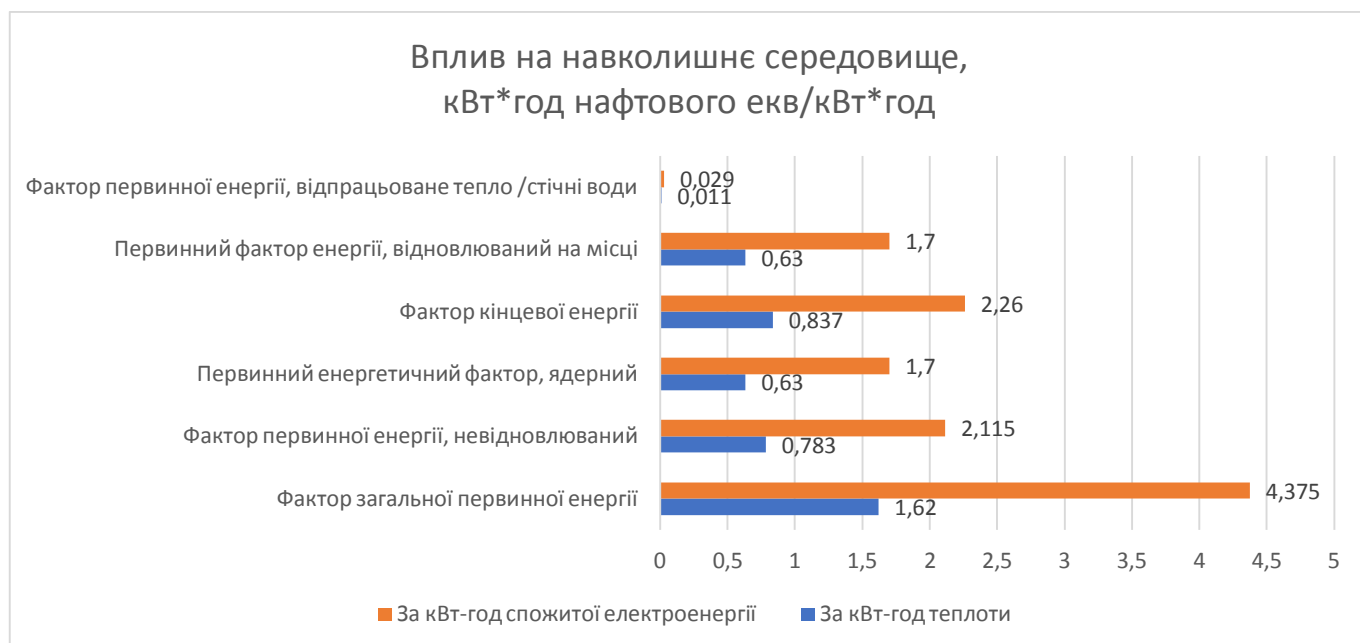


Рисунок В.1 - Енергетичні та екологічні показники роботи теплового насоса типу «повітря-вода» у разі значення загального коефіцієнта ефективності 3, електроенергія з мережі

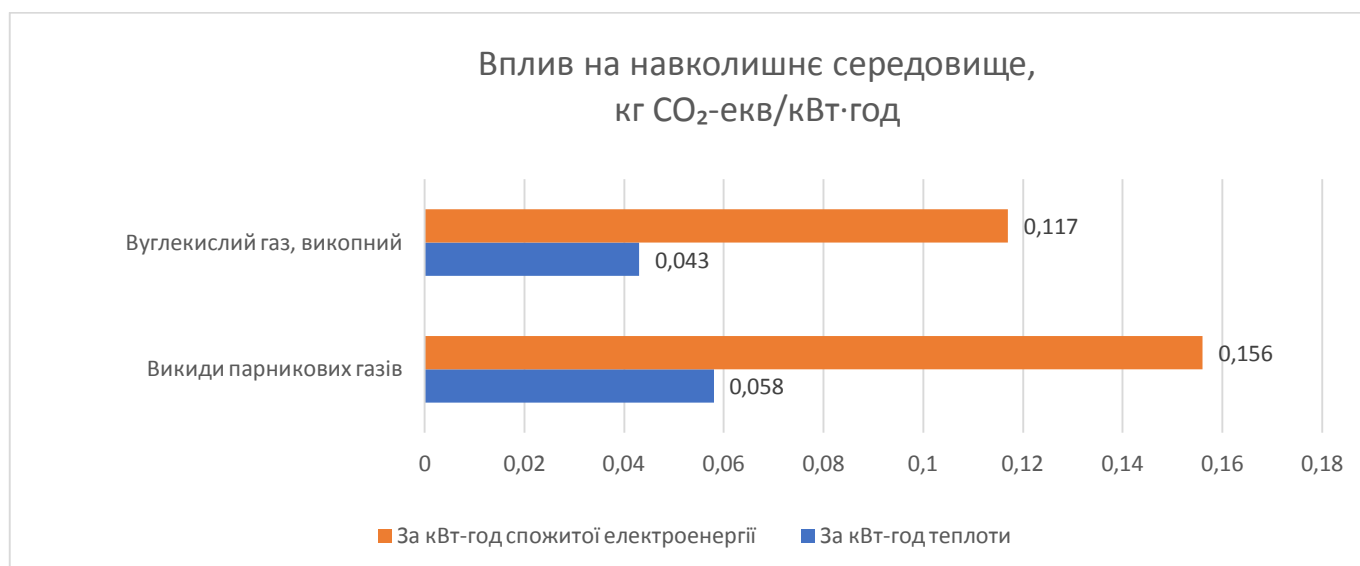


Рисунок В.2 - Енергетичні та екологічні показники роботи теплового насоса типу «повітря-вода» у разі значення загального коефіцієнта ефективності 3, електроенергія з мережі

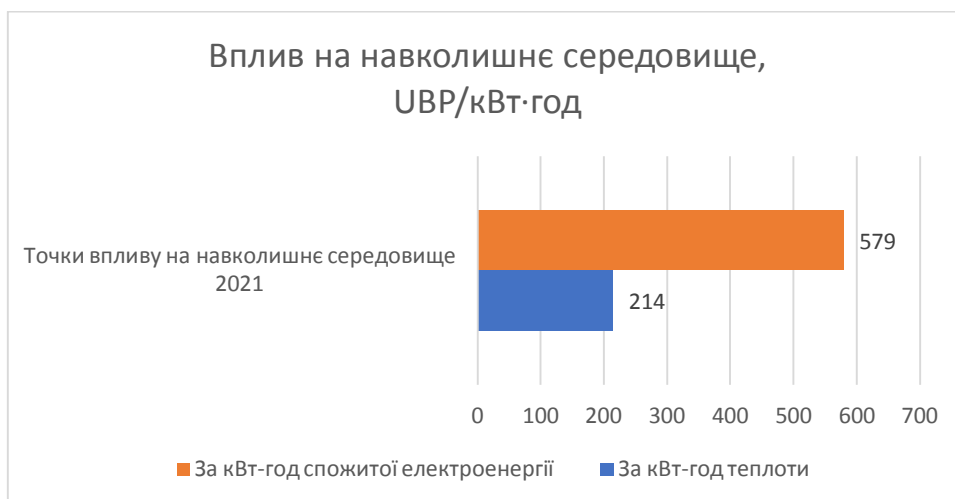


Рисунок В.3 - Енергетичні та екологічні показники роботи теплового насоса типу «повітря-вода» у разі значення загального коефіцієнта ефективності 3, електроенергія з мережі

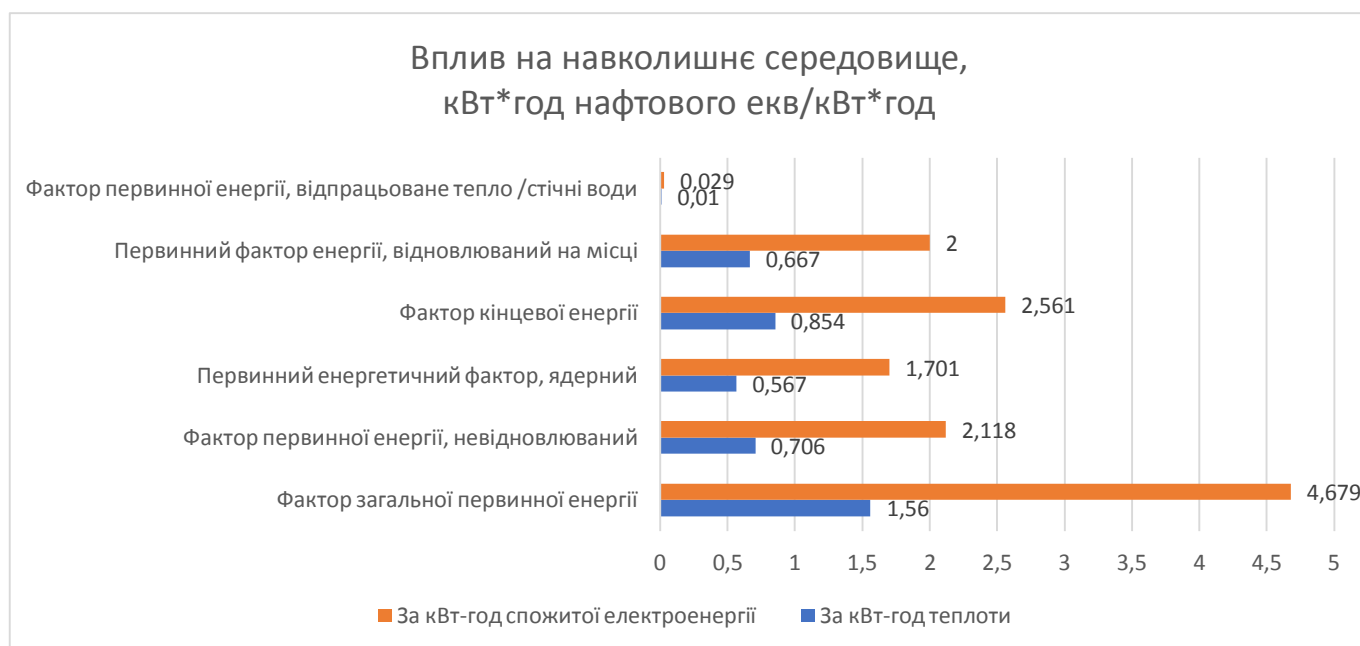


Рисунок В.4 - Енергетичні та екологічні показники роботи теплового насоса типу «повітря-вода» у разі значення локального коефіцієнта ефективності 3, електроенергія з мережі

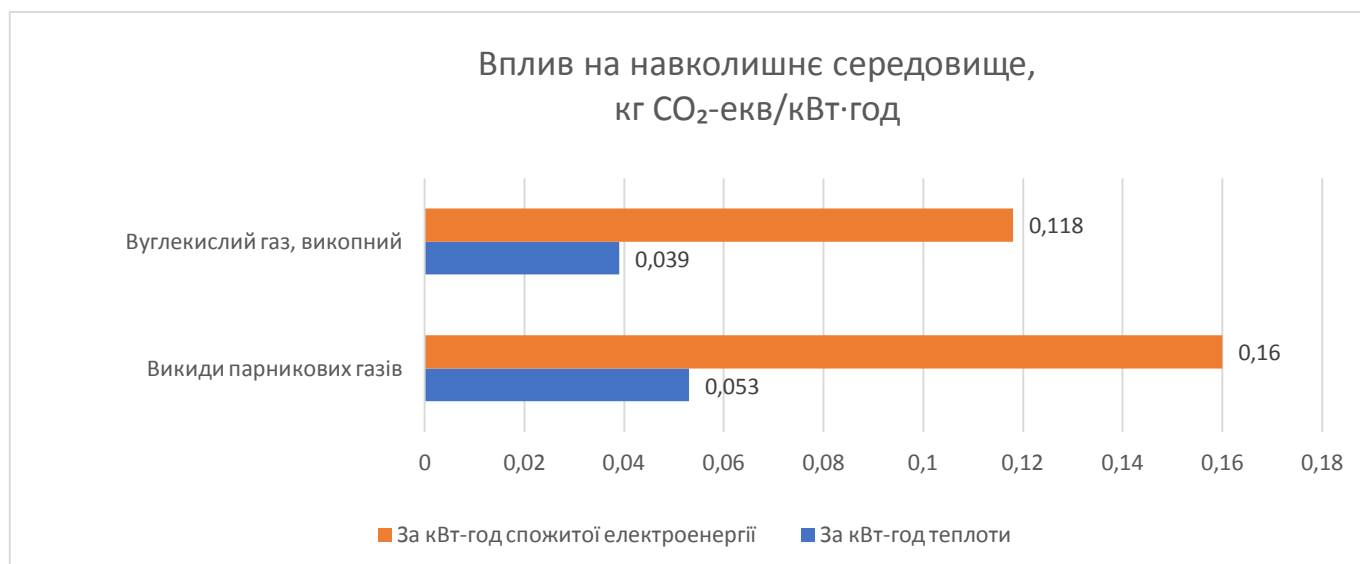


Рисунок В.5 - Енергетичні та екологічні показники роботи теплового насоса типу «повітря-вода» у разі значення локального коефіцієнта ефективності 3, електроенергія з мережі

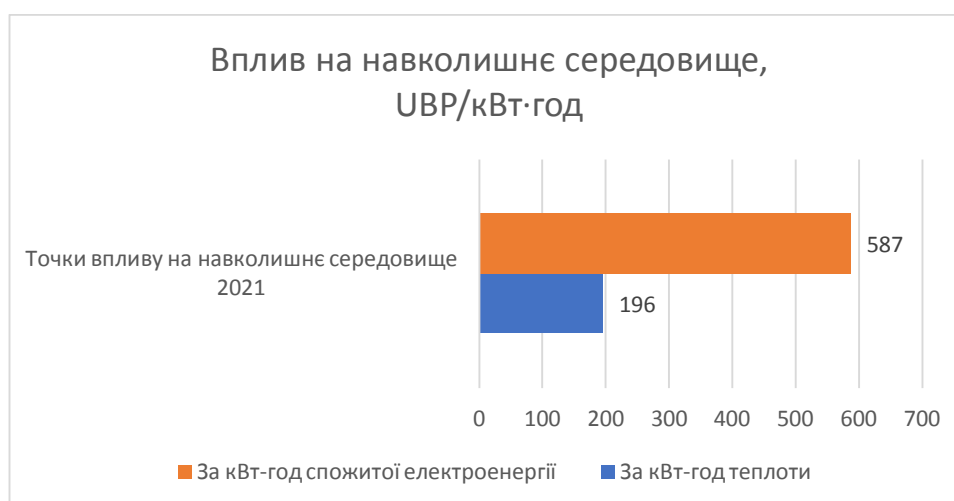


Рисунок В.6 - Енергетичні та екологічні показники роботи теплового насоса типу «повітря-вода» у разі значення локального коефіцієнта ефективності 3, електроенергія з мережі

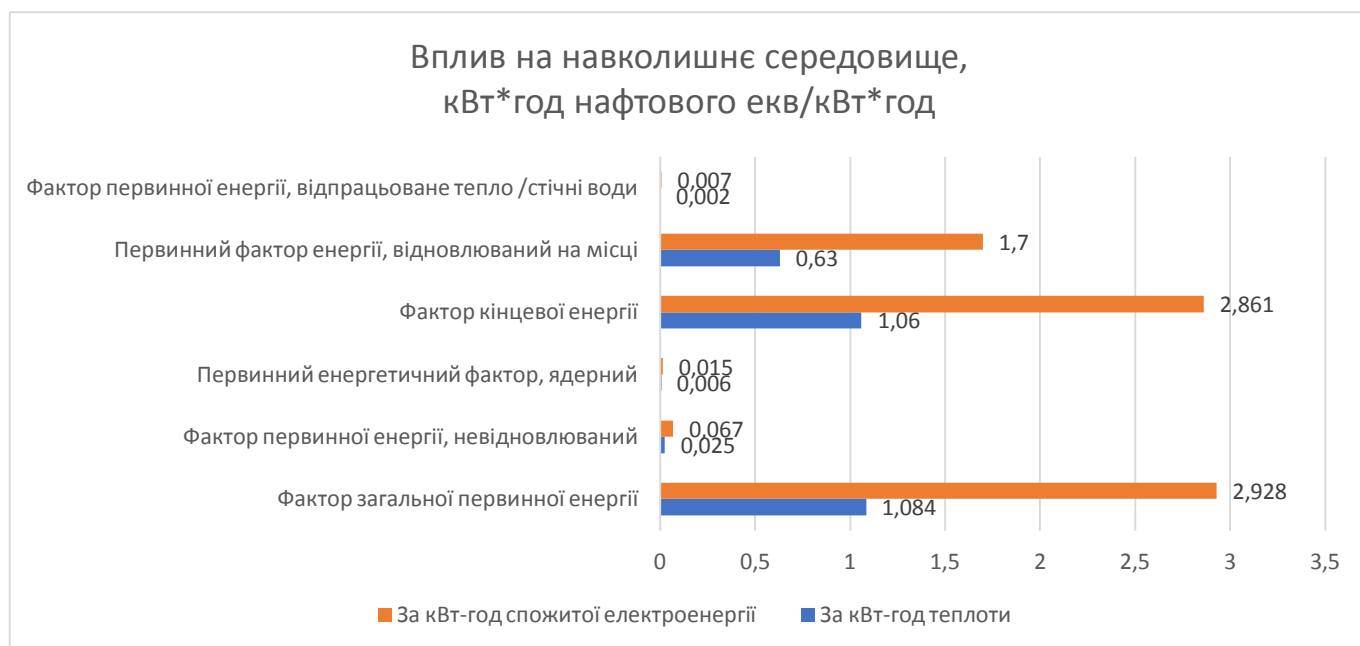


Рисунок В.7- Енергетичні та екологічні показники роботи теплового насоса типу «повітря-вода» у разі значення загального коефіцієнта ефективності 3, електроенергія з відновлюваних джерел

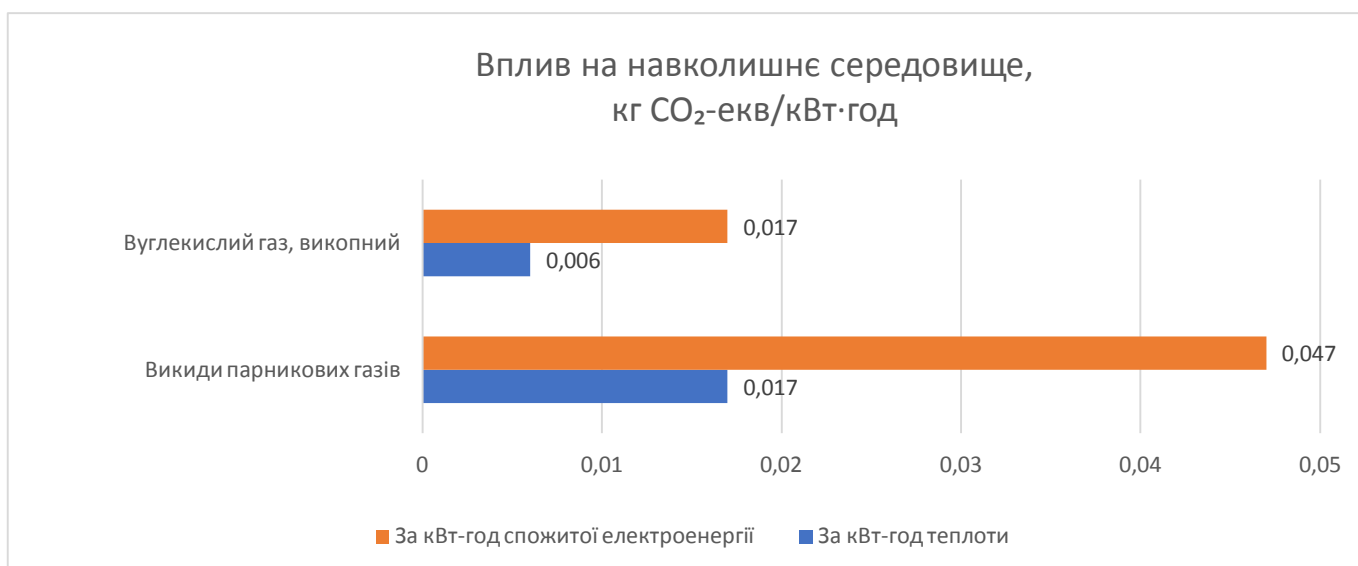


Рисунок В.8 - Енергетичні та екологічні показники роботи теплового насоса типу «повітря-вода» у разі значення загального коефіцієнта ефективності 3, електроенергія з відновлюваних джерел

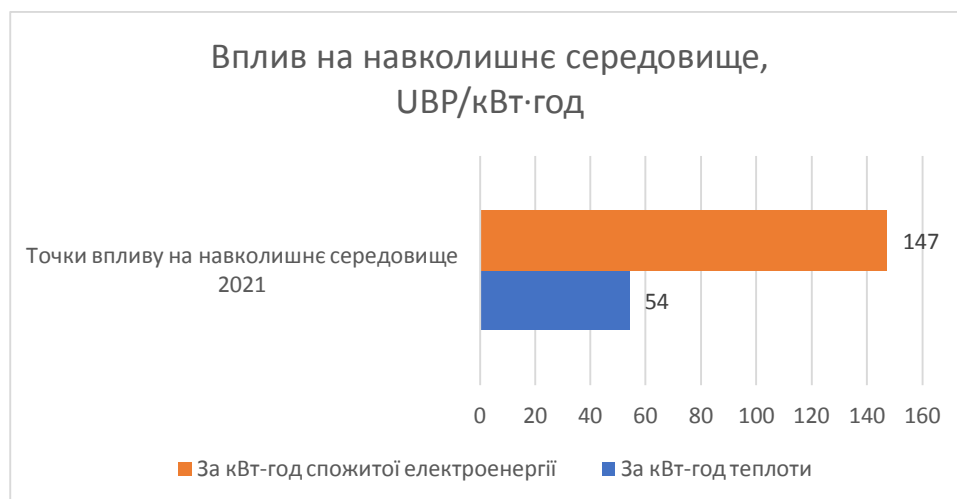


Рисунок В.9 - Енергетичні та екологічні показники роботи теплового насоса типу «повітря-вода» у разі значення загального коефіцієнта ефективності 3, електроенергія з відновлюваних джерел

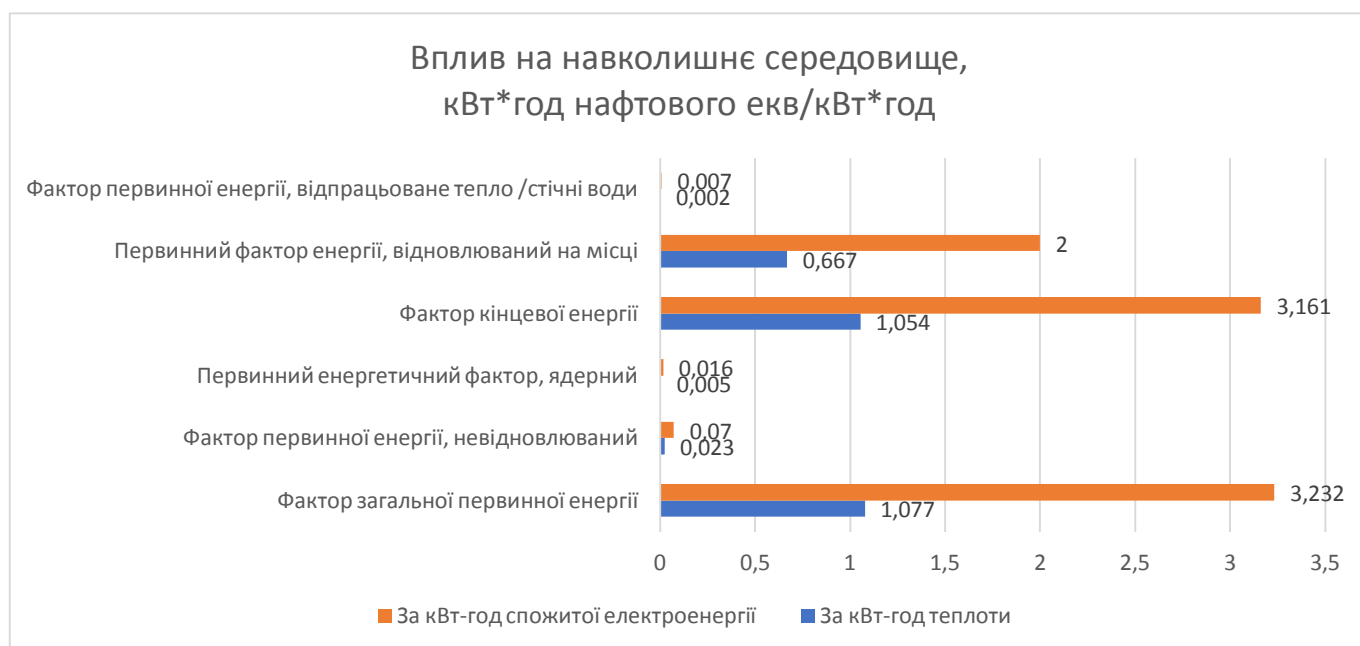


Рисунок В.10 - Енергетичні та екологічні показники роботи теплового насоса типу «повітря-вода» у разі значення локального коефіцієнта ефективності 3, електроенергія з відновлюваних джерел

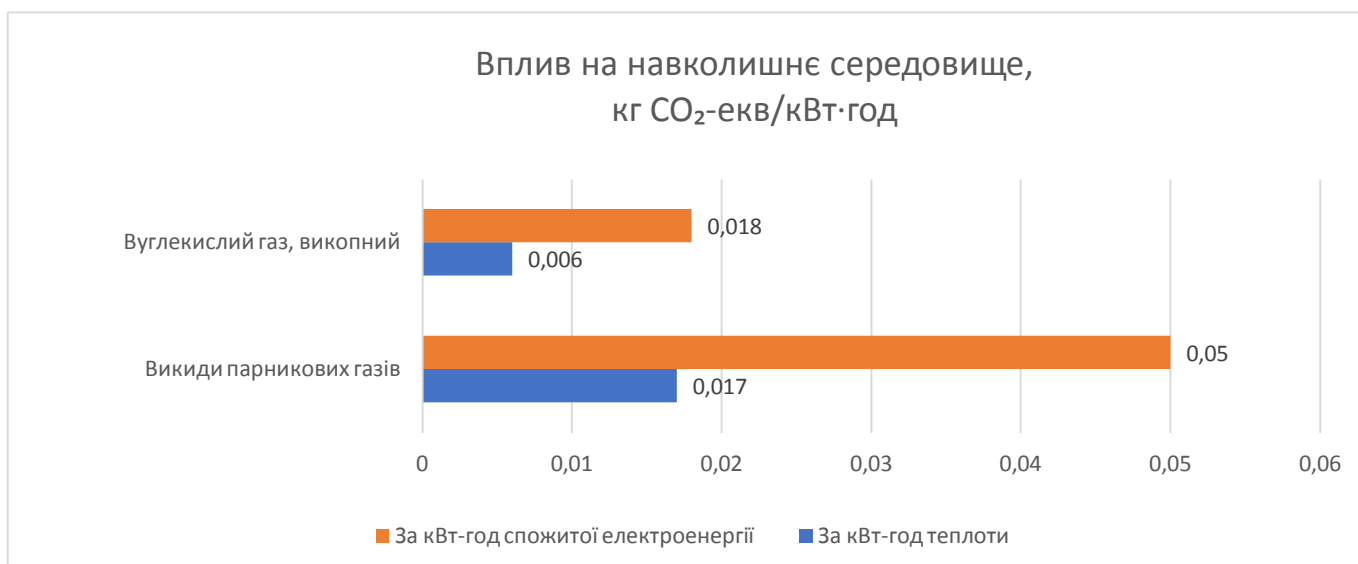


Рисунок В.11 - Енергетичні та екологічні показники роботи теплового насоса типу «повітря-вода» у разі значення локального коефіцієнта ефективності 3, електроенергія з відновлюваних джерел

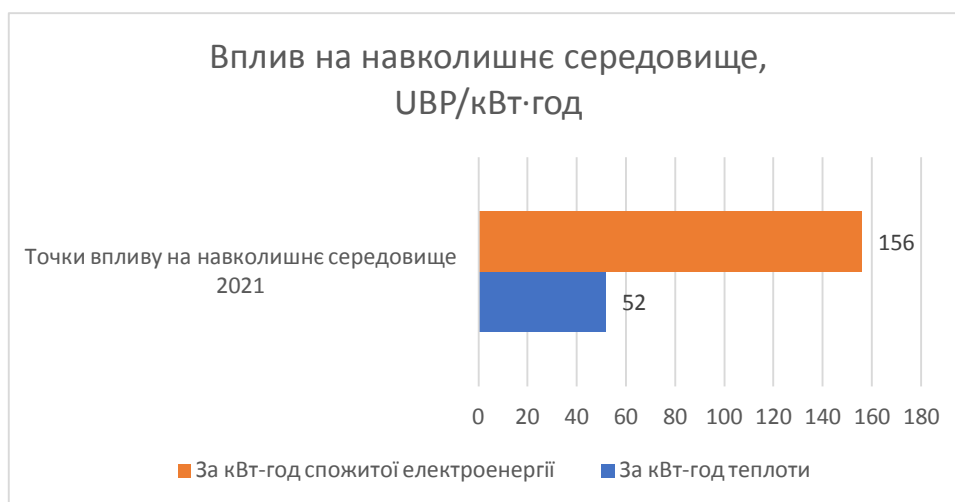


Рисунок В.12 - Енергетичні та екологічні показники роботи теплового насоса типу «повітря-вода» у разі значення локального коефіцієнта ефективності 3, електроенергія з відновлюваних джерел

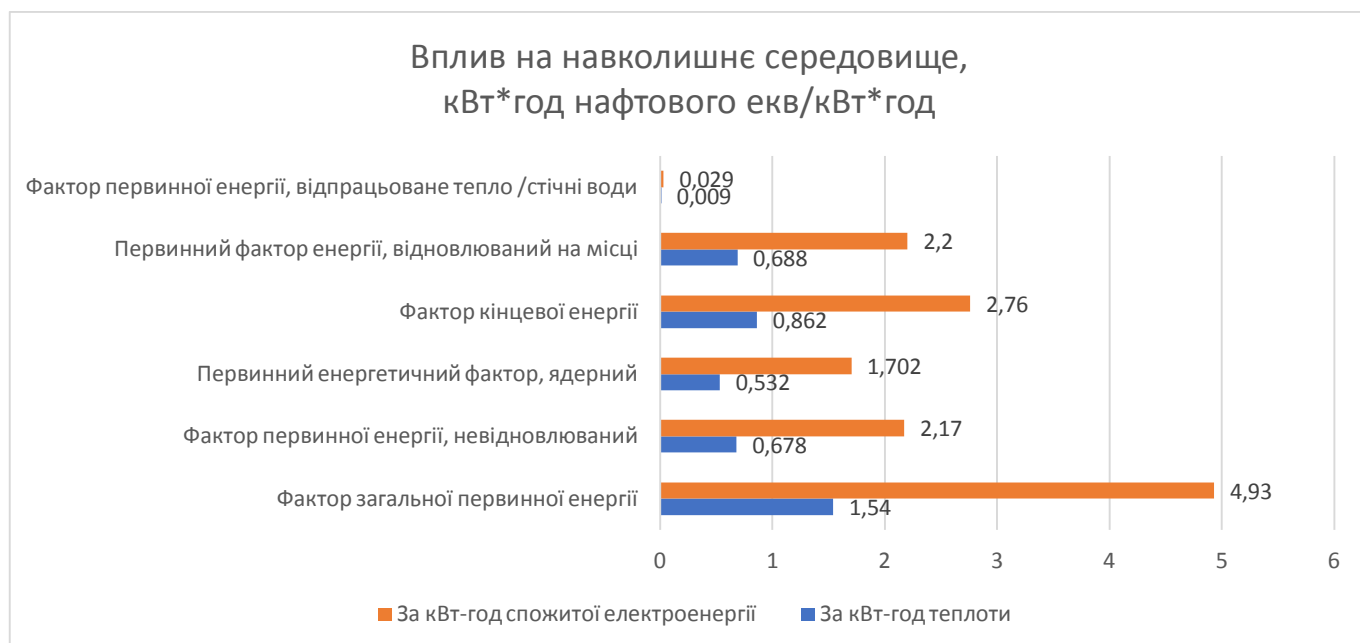


Рисунок В.13 - Енергетичні та екологічні показники роботи теплового насоса типу «розсіл-вода» у разі значення загального коефіцієнта ефективності 3, електроенергія з мережі

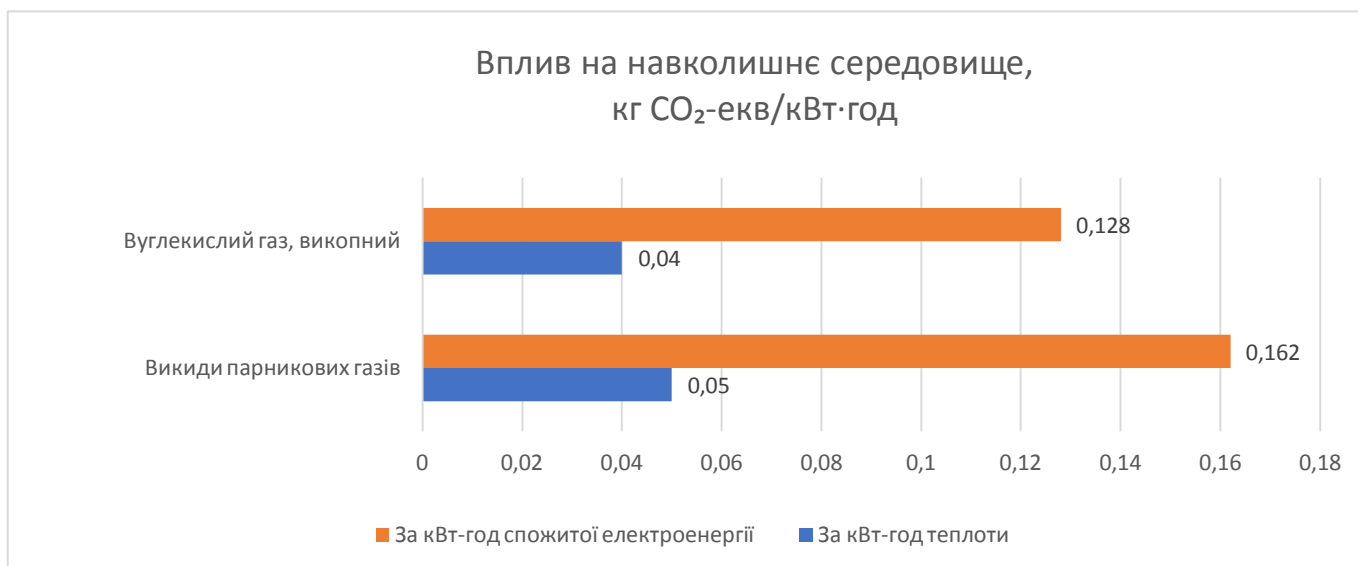


Рисунок В.14 - Енергетичні та екологічні показники роботи теплового насоса типу «розсіл-вода» у разі значення загального коефіцієнта ефективності 3, електроенергія з мережі

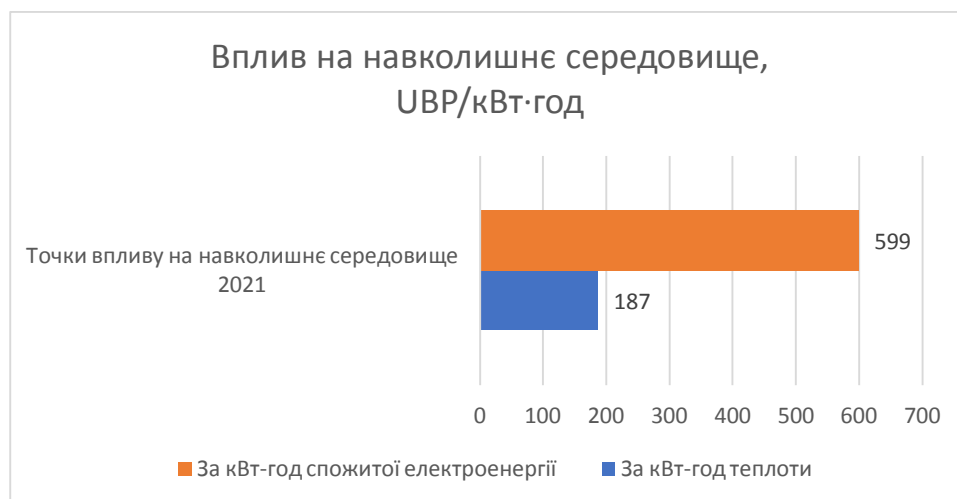


Рисунок В.15 - Енергетичні та екологічні показники роботи теплового насоса типу «розсіл-вода» у разі значення загального коефіцієнта ефективності 3, електроенергія з мережі

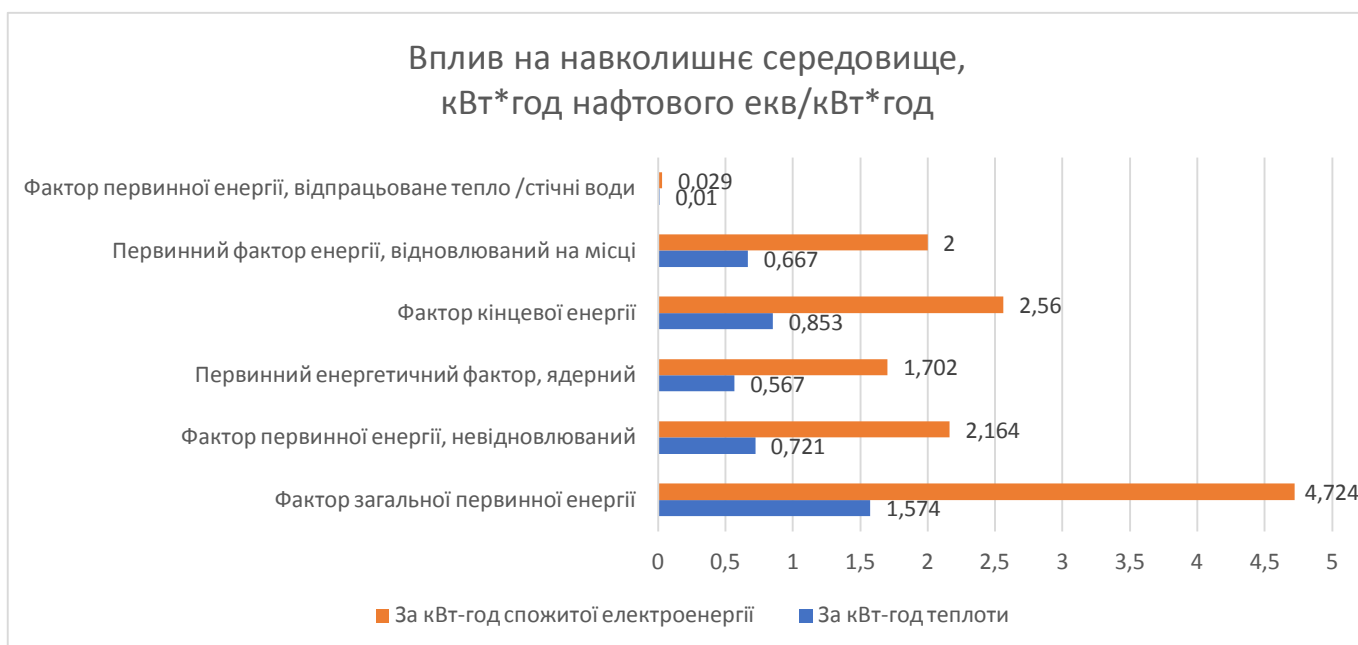


Рисунок В.16 - Енергетичні та екологічні показники роботи теплового насоса типу «розсіл-вода» у разі значення локального коефіцієнта ефективності 3, електроенергія з мережі

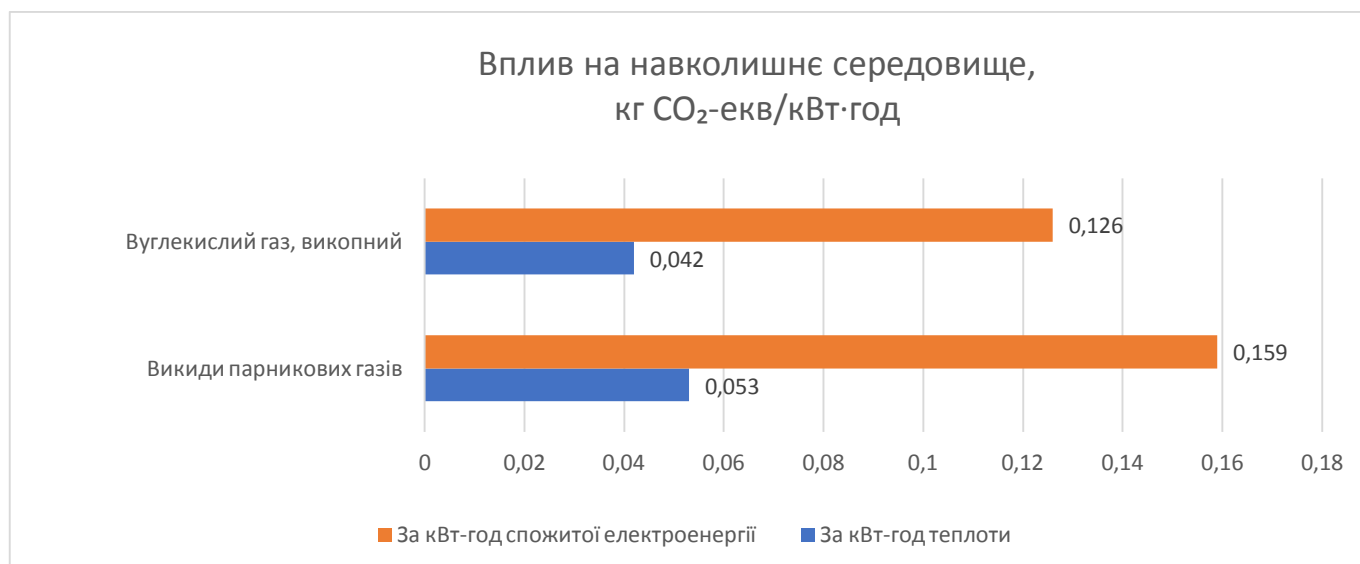


Рисунок В.17 - Енергетичні та екологічні показники роботи теплового насоса типу «розсіл-вода» у разі значення локального коефіцієнта ефективності 3, електроенергія з мережі

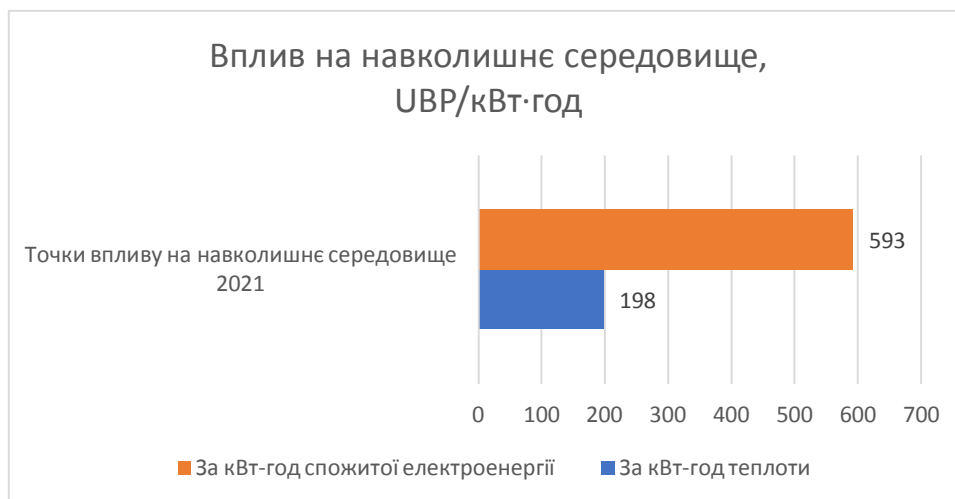


Рисунок В.18 - Енергетичні та екологічні показники роботи теплового насоса типу «розсіл-вода» у разі значення локального коефіцієнта ефективності 3, електроенергія з мережі

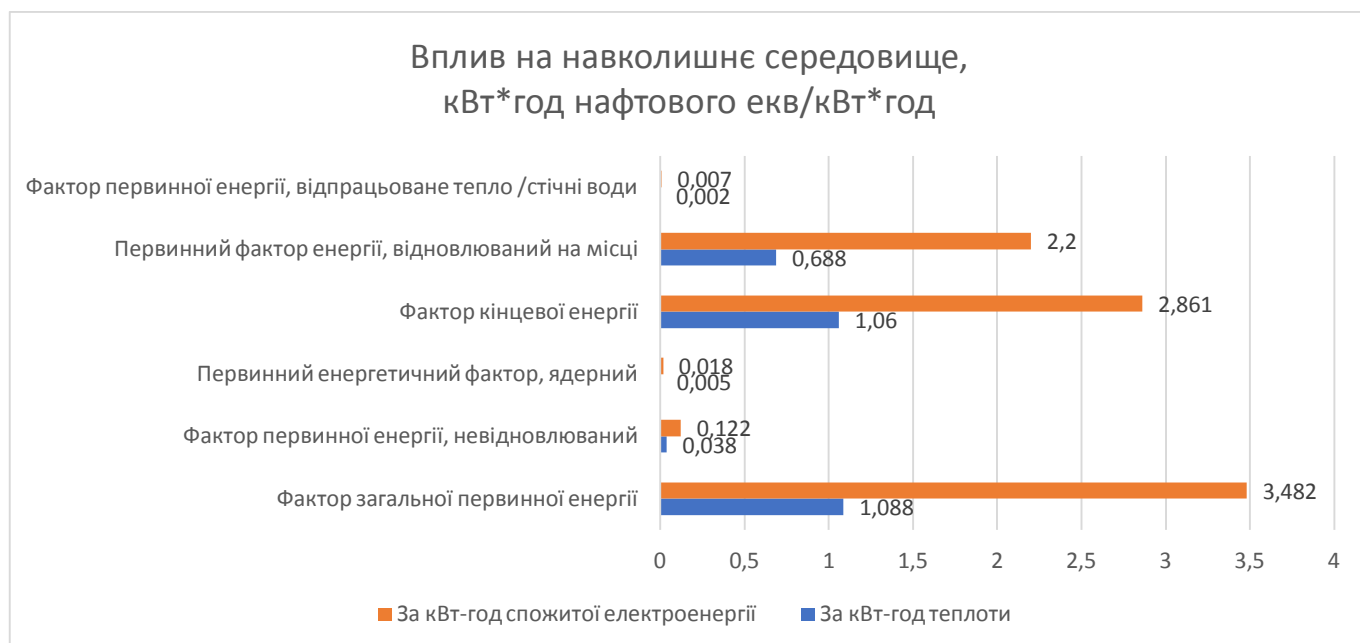


Рисунок В.19 - Енергетичні та екологічні показники роботи теплового насоса типу «розсіл-вода» у разі значення загального коефіцієнта ефективності 3, електроенергія з відновлюваних джерел

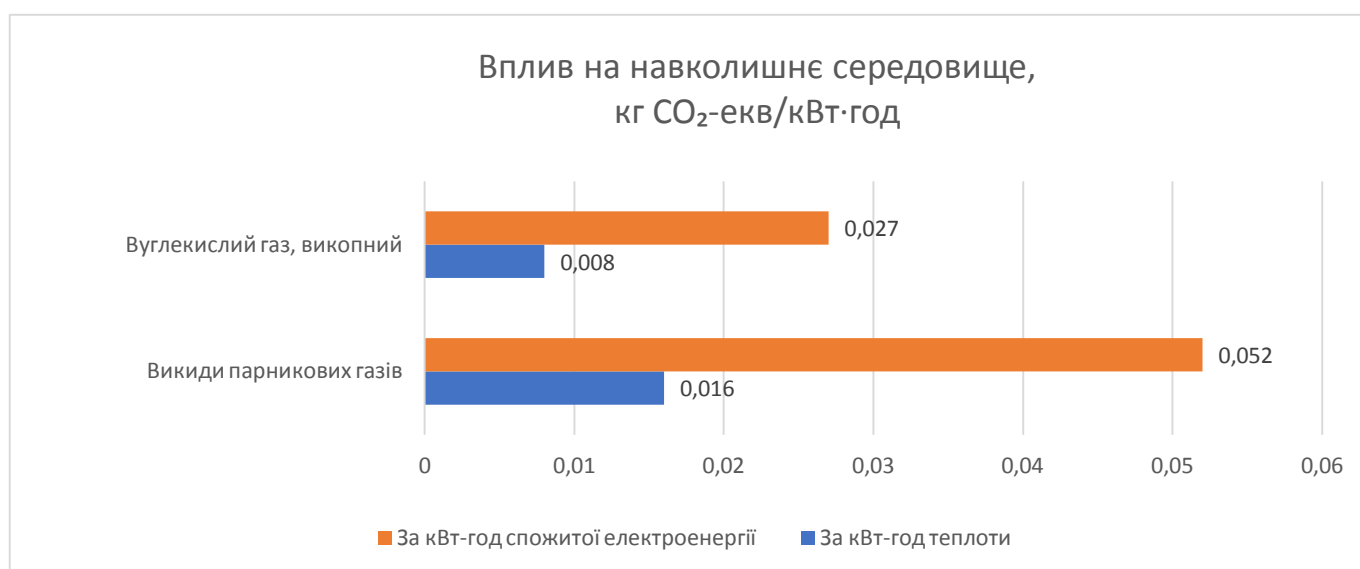


Рисунок В.20 - Енергетичні та екологічні показники роботи теплового насоса типу «розсіл-вода» у разі значення загального коефіцієнта ефективності 3, електроенергія з відновлюваних джерел

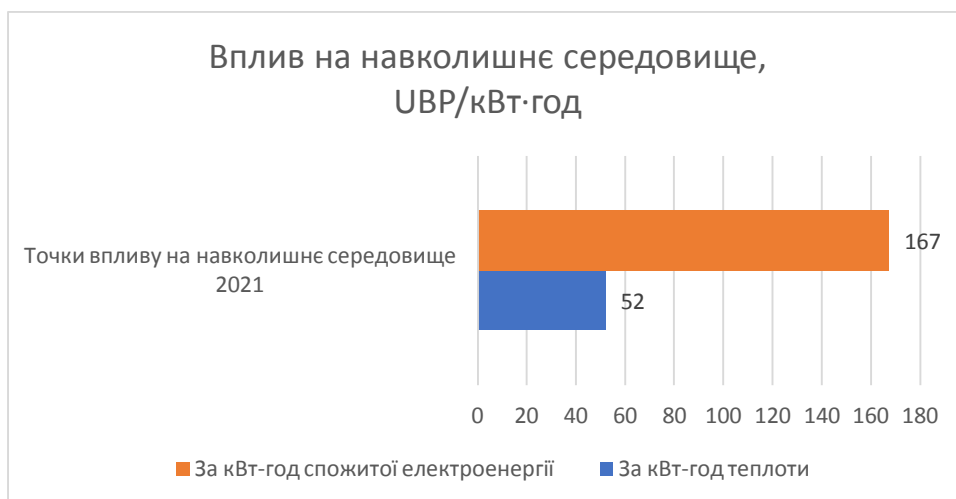


Рисунок В.21 - Енергетичні та екологічні показники роботи теплового насоса типу «розсіл-вода» у разі значення загального коефіцієнта ефективності 3, електроенергія з відновлюваних джерел

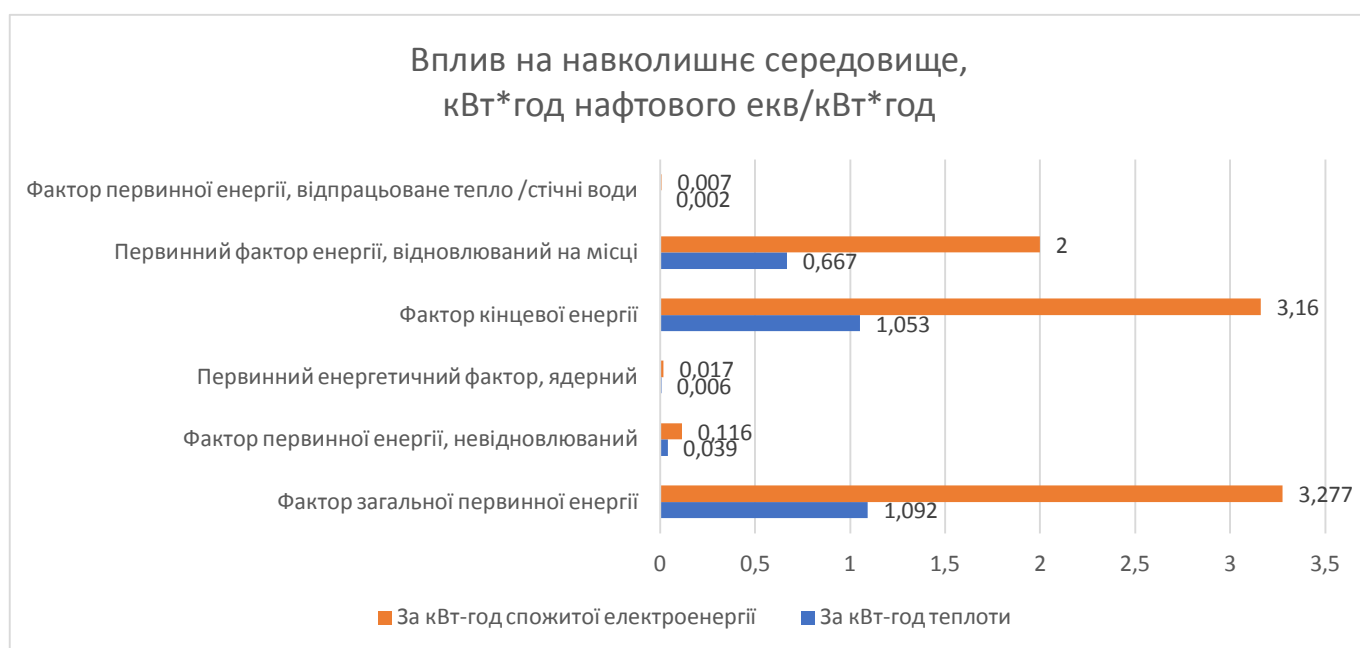


Рисунок В.22 - Енергетичні та екологічні показники роботи теплового насоса типу «розсіл-вода» у разі значення локального коефіцієнта ефективності 3, електроенергія з відновлюваних джерел

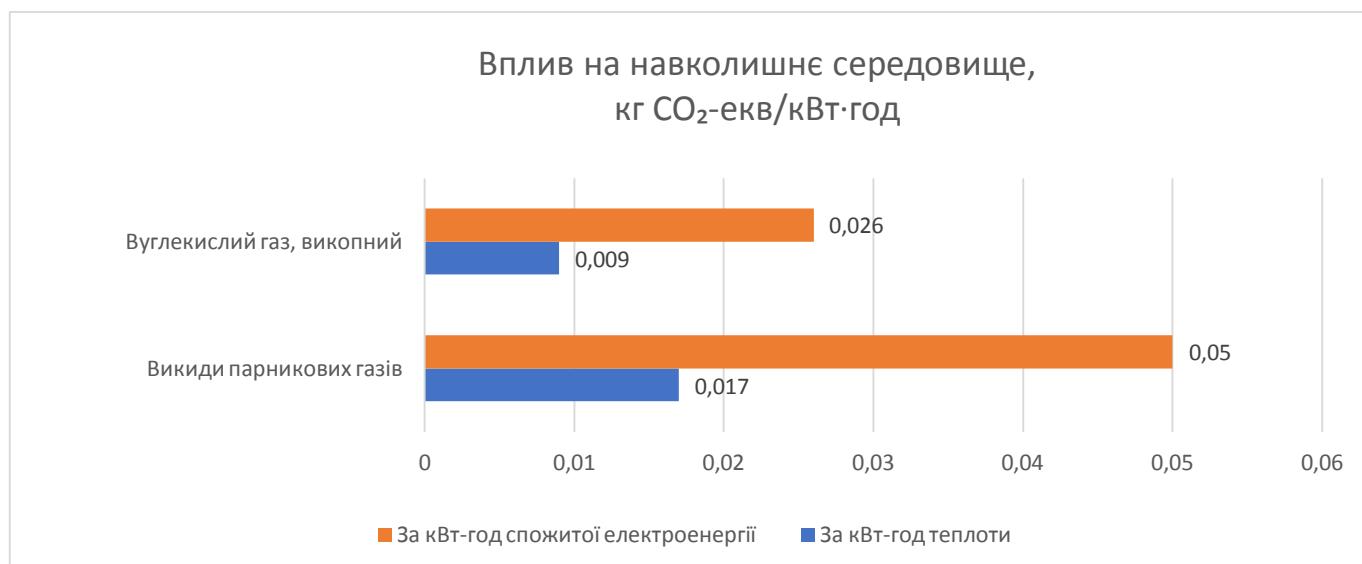


Рисунок В.23 - Енергетичні та екологічні показники роботи теплового насоса типу «розсіл-вода» у разі значення локального коефіцієнта ефективності 3, електроенергія з відновлюваних джерел

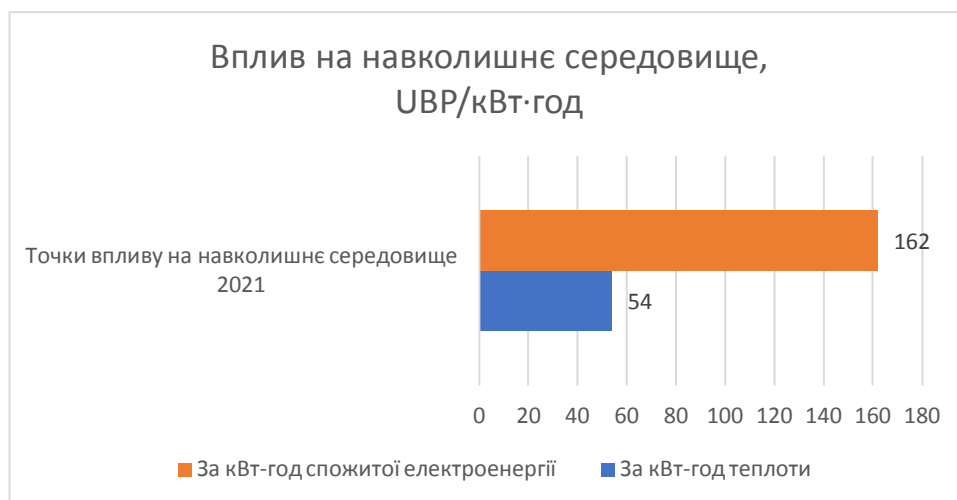


Рисунок В.24 - Енергетичні та екологічні показники роботи теплового насоса типу «розсіл-вода» у разі значення локального коефіцієнта ефективності 3, електроенергія з відновлюваних джерел

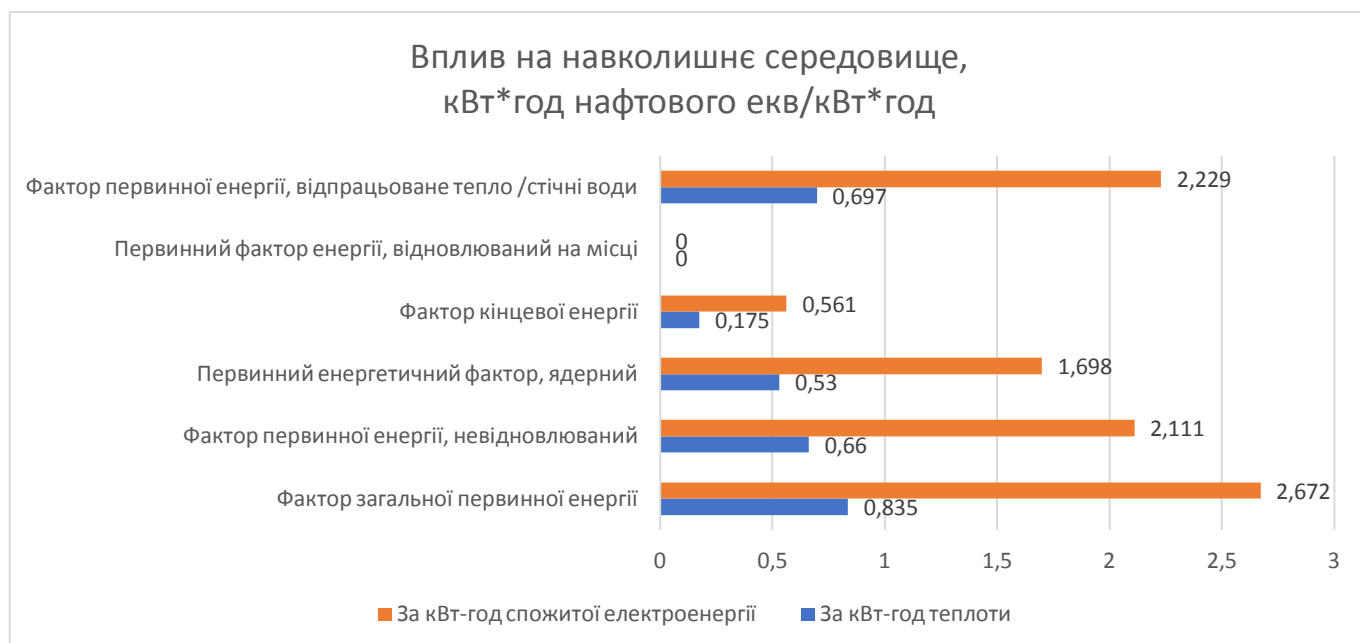


Рисунок В.25 - Енергетичні та екологічні показники роботи теплового насоса типу «стічні води-вода» у разі значення загального коефіцієнта ефективності 3, електроенергія з мережі

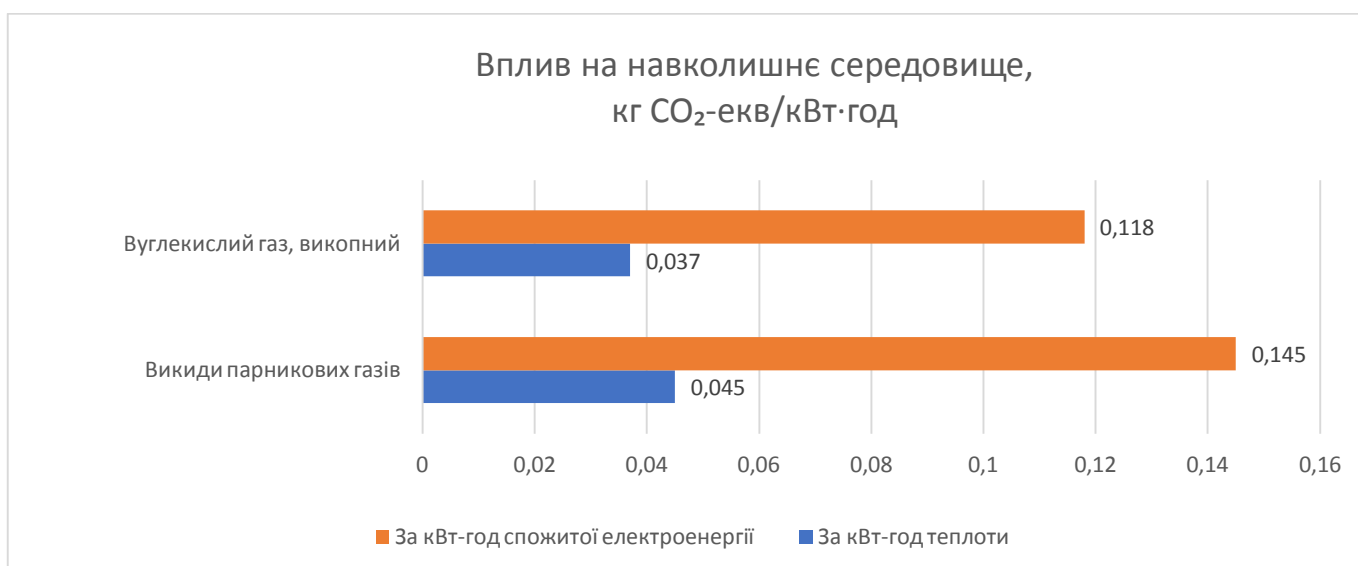


Рисунок В.26 - Енергетичні та екологічні показники роботи теплового насоса типу «стічні води-вода» у разі значення загального коефіцієнта ефективності 3, електроенергія з мережі

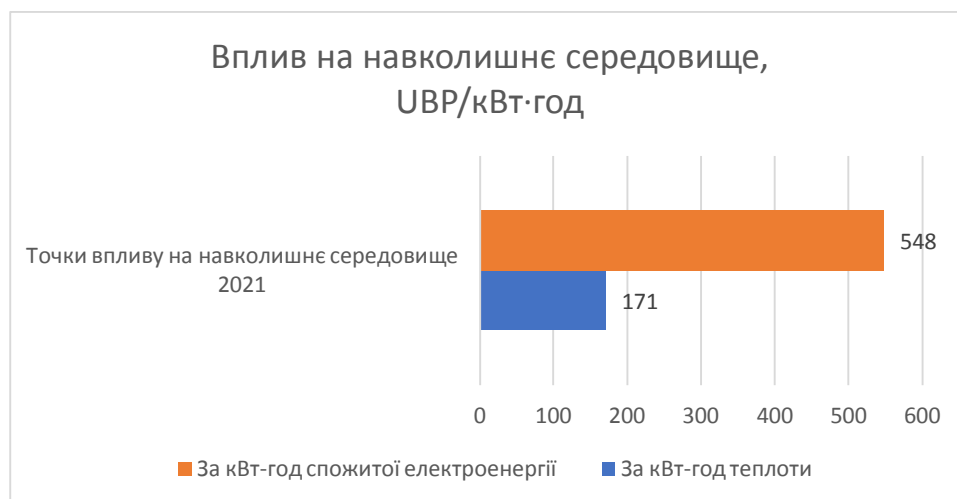


Рисунок В.27 - Енергетичні та екологічні показники роботи теплового насоса типу «стічні води-вода» у разі значення загального коефіцієнта ефективності 3, електроенергія з мережі

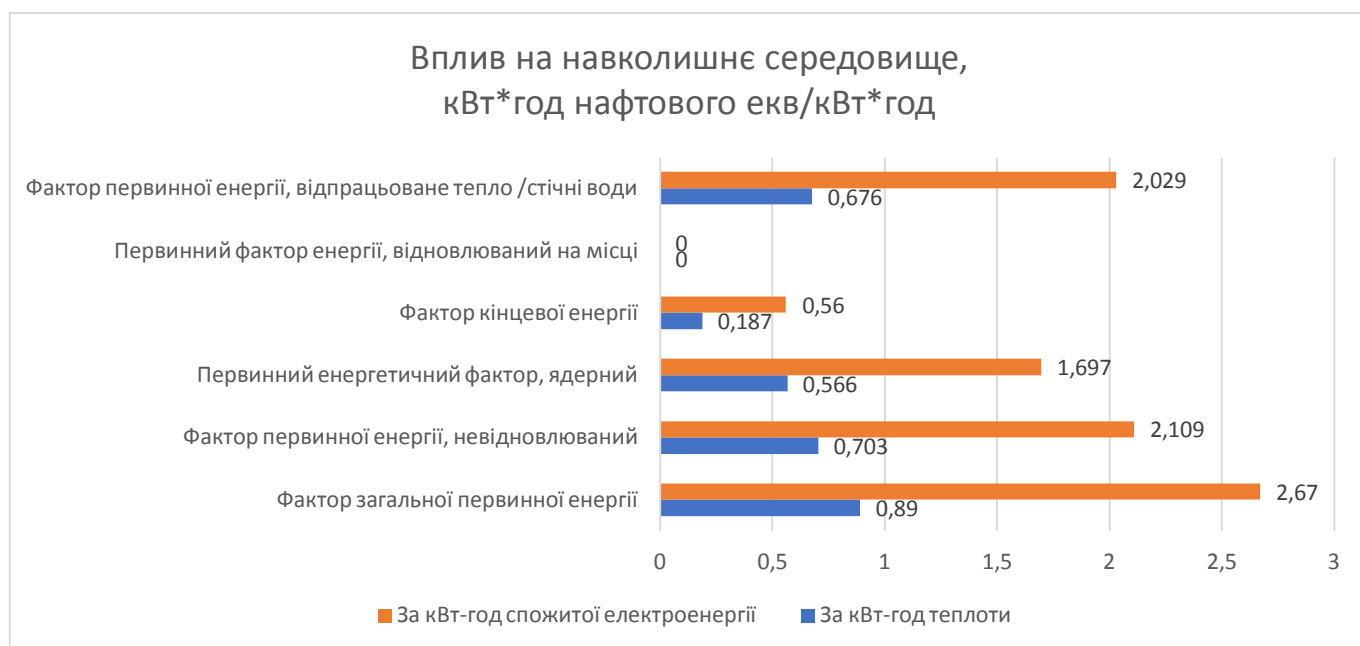


Рисунок В.28 - Енергетичні та екологічні показники роботи теплового насоса типу «стічні води-вода» у разі значення локального коефіцієнта ефективності 3, електроенергія з мережі

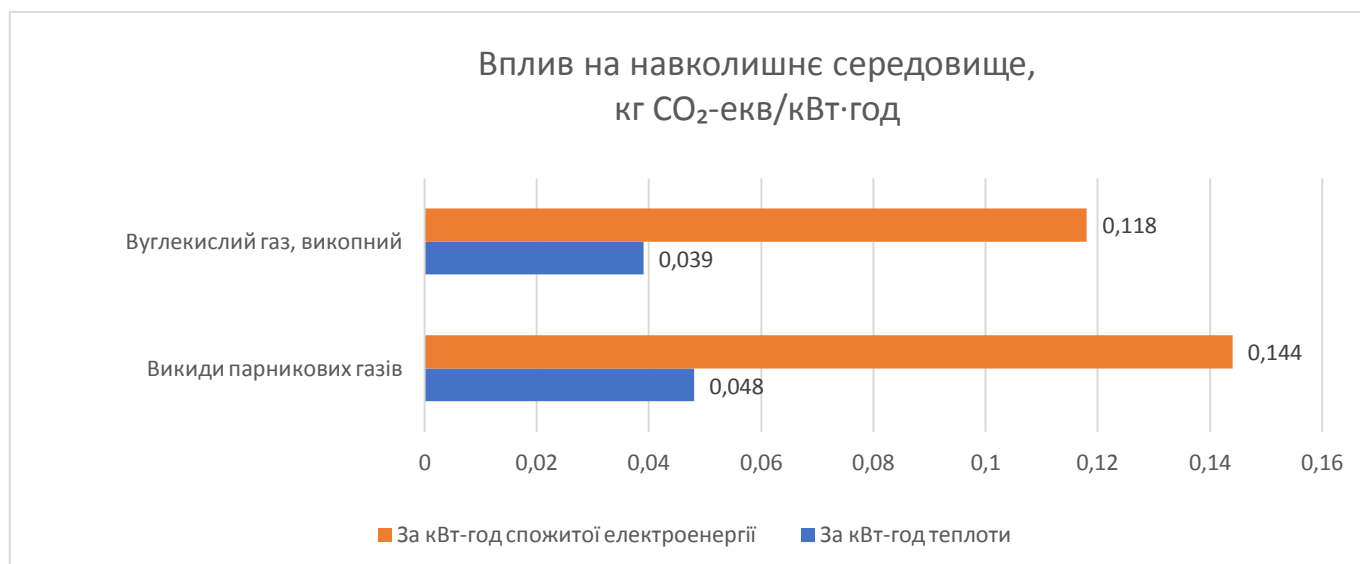


Рисунок В.29 - Енергетичні та екологічні показники роботи теплового насоса типу «стічні води-вода» у разі значення локального коефіцієнта ефективності 3, електроенергія з мережі

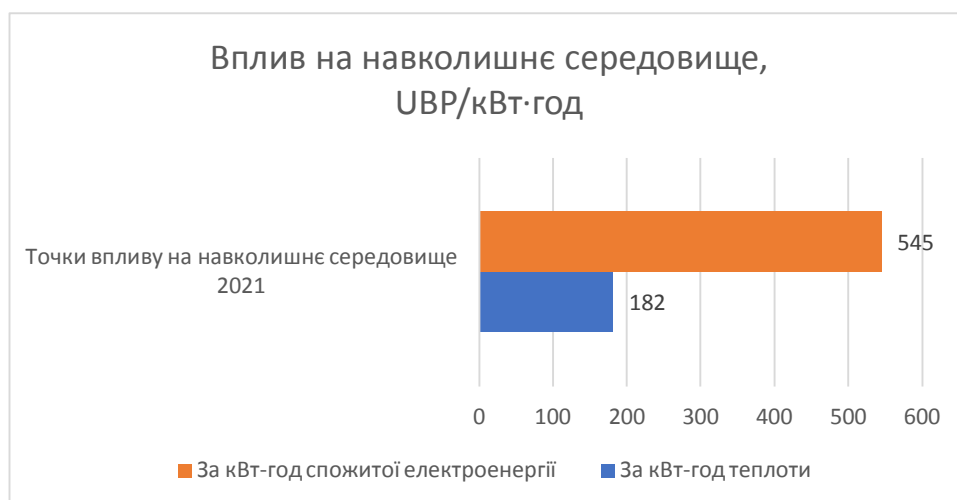


Рисунок В.30 - Енергетичні та екологічні показники роботи теплового насоса типу «стічні води-вода» у разі значення локального коефіцієнта ефективності 3, електроенергія з мережі

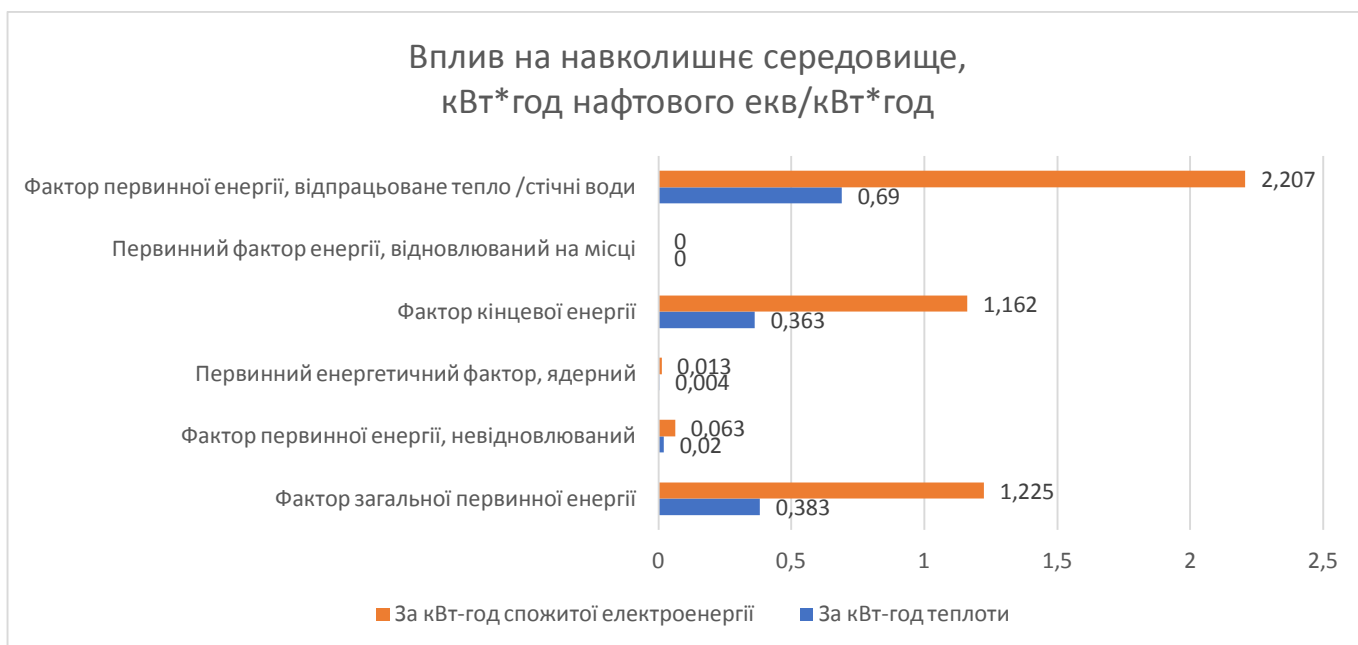


Рисунок В.31- Енергетичні та екологічні показники роботи теплового насоса типу «стічні води-вода» у разі значення загального коефіцієнта ефективності 3, електроенергія з відновлюваних джерел

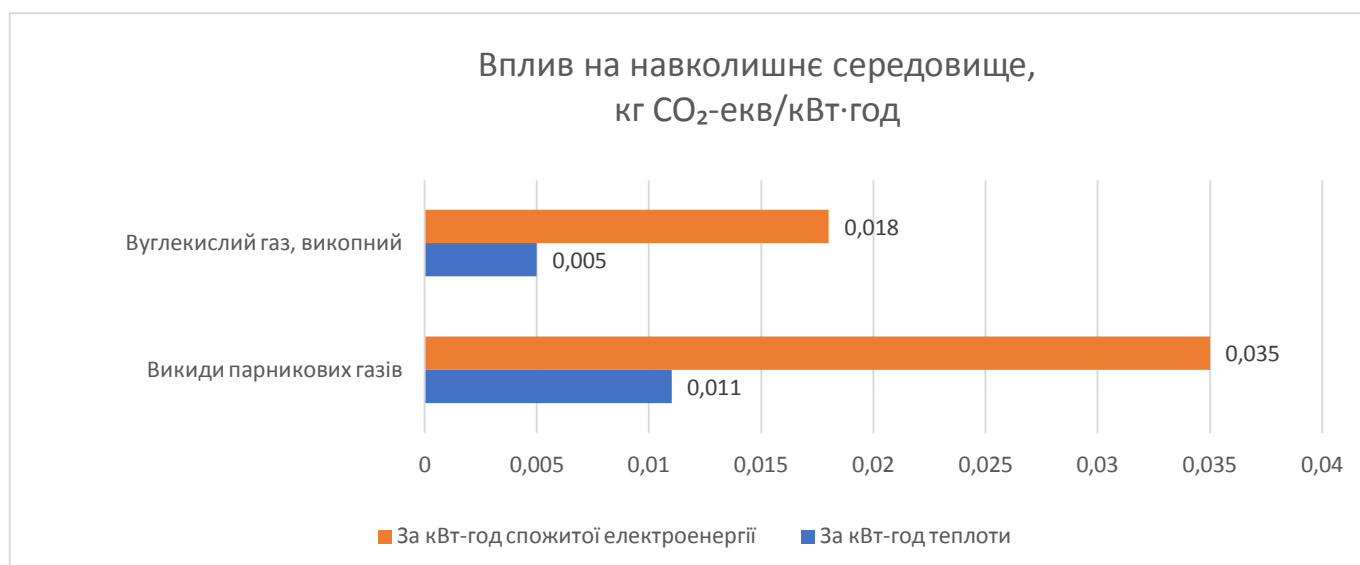


Рисунок В.32 - Енергетичні та екологічні показники роботи теплового насоса типу «стічні води-вода» у разі для значення загального коефіцієнта ефективності 3, електроенергія з відновлюваних джерел

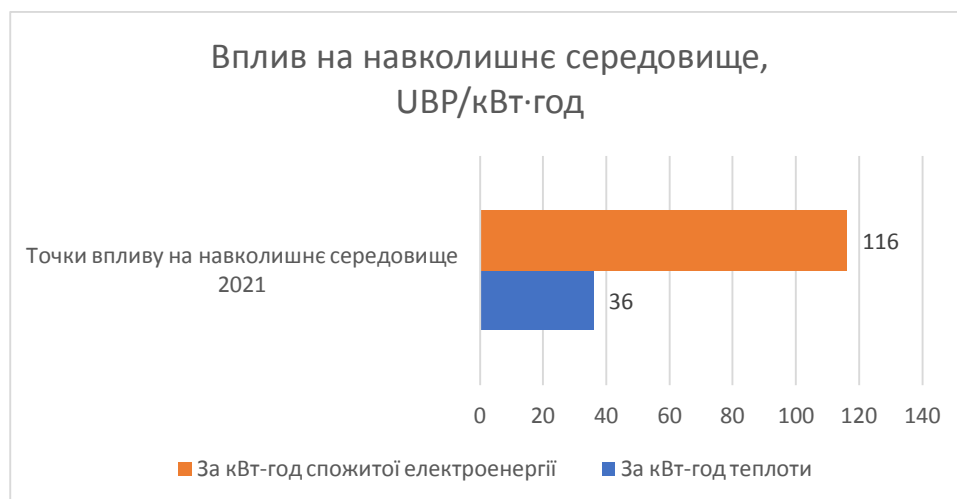


Рисунок В.33 - Енергетичні та екологічні показники роботи теплового насоса типу «стічні води-вода» у разі значення загального коефіцієнта ефективності 3, електроенергія з відновлюваних джерел

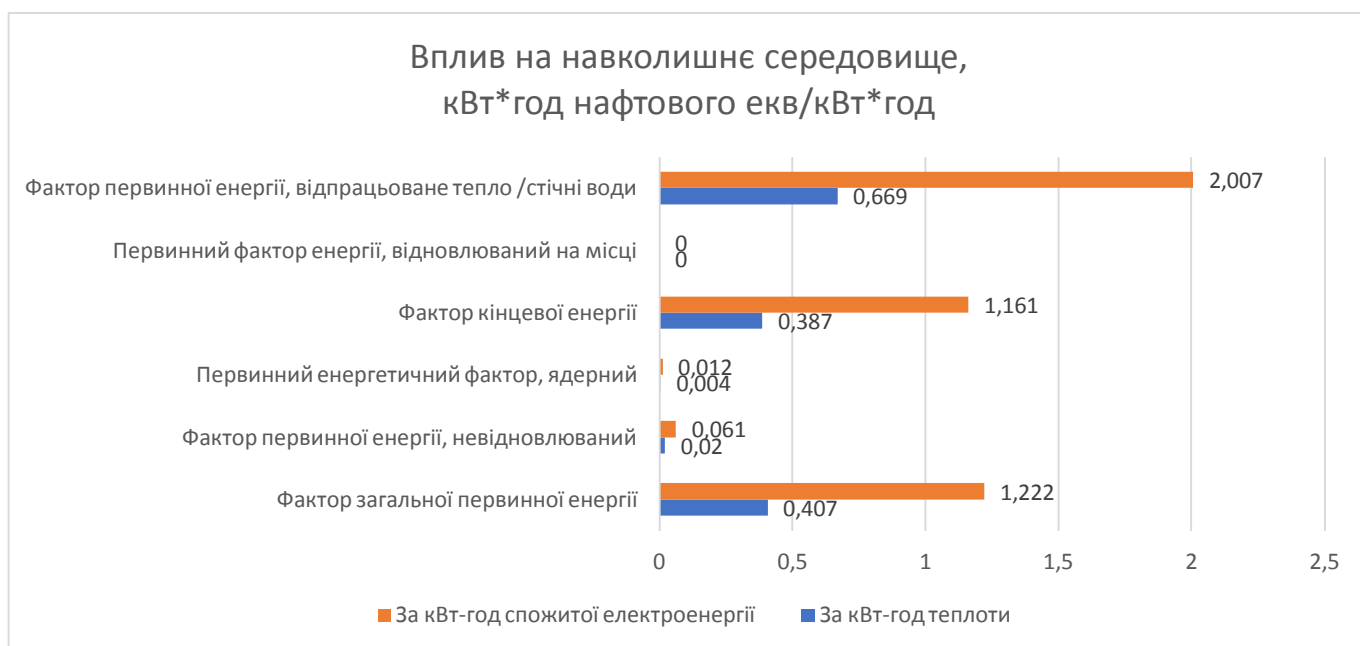


Рисунок В.34 - Енергетичні та екологічні показники роботи теплового насоса типу «стічні води-вода» у разі значення локального коефіцієнта ефективності 3, електроенергія з відновлюваних джерел

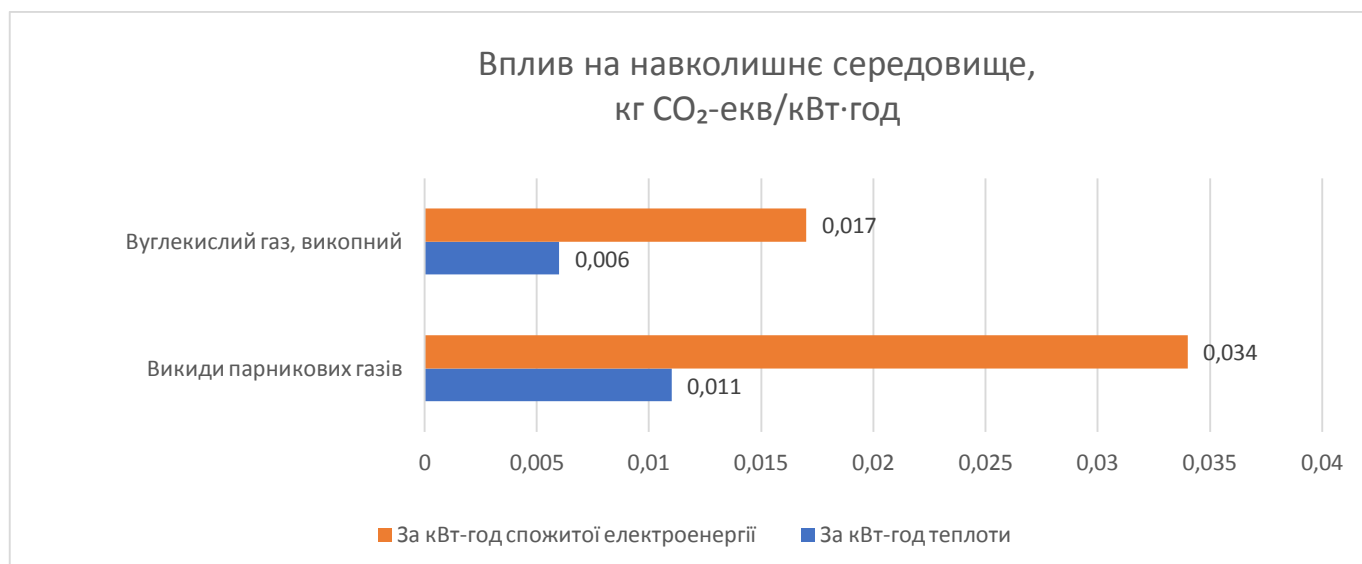


Рисунок В.35 - Енергетичні та екологічні показники роботи теплового насоса типу «стічні води-вода» у разі значення локального коефіцієнта ефективності 3, електроенергія з відновлюваних джерел

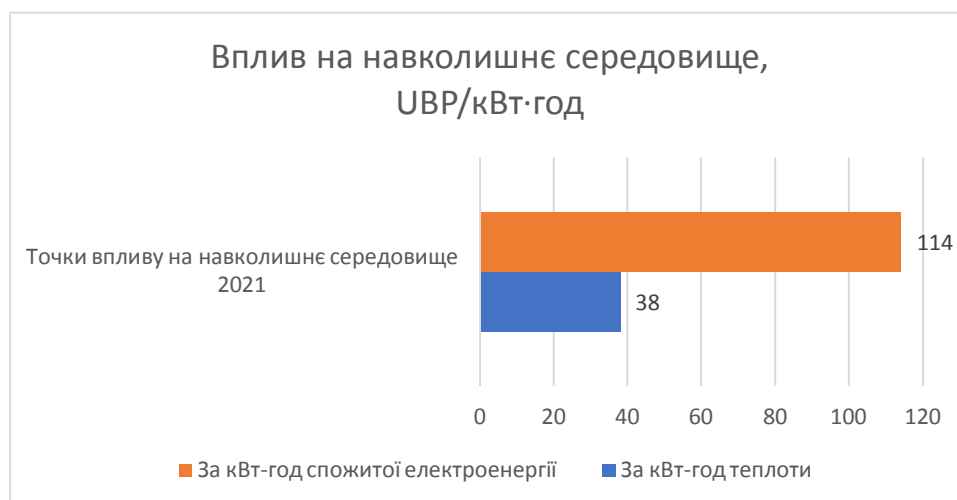


Рисунок В.36 - Енергетичні та екологічні показники роботи теплового насоса типу «стічні води-вода» у разі значення локального коефіцієнта ефективності 3, електроенергія з відновлюваних джерел

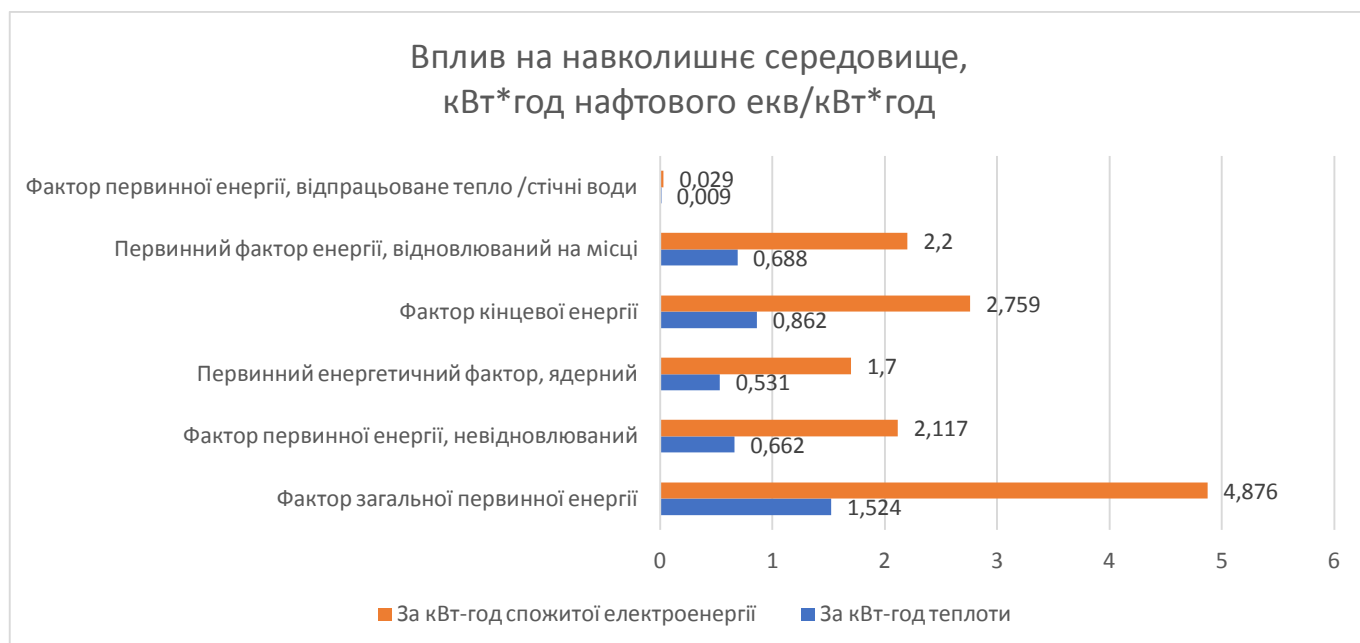


Рисунок В.37 - Енергетичні та екологічні показники роботи теплового насоса типу «грунтові води-вода» у разі значення загального коефіцієнта ефективності 3, електроенергія з мережі

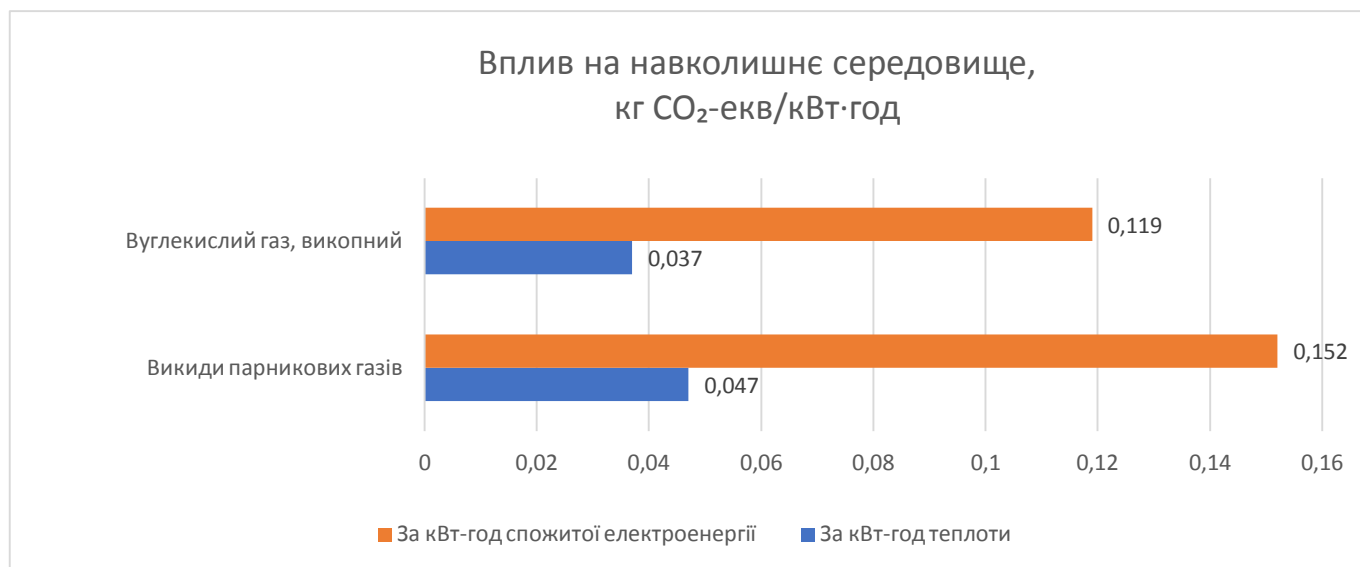


Рисунок В.38 - Енергетичні та екологічні показники роботи теплового насоса типу «грунтові води-вода» у разі значення загального коефіцієнта ефективності 3, електроенергія з мережі

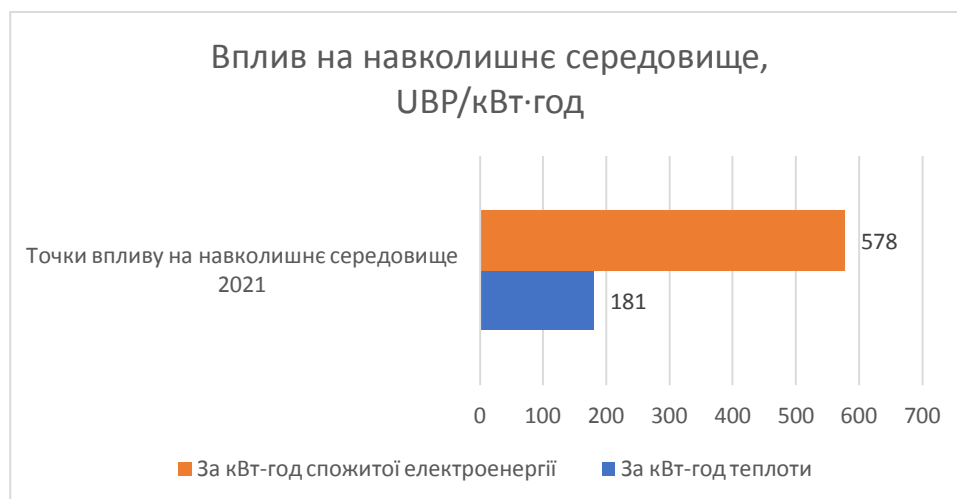


Рисунок В.39 - Енергетичні та екологічні показники роботи теплового насоса типу «грунтові води-вода» у разі значення загального коефіцієнта ефективності 3, електроенергія з мережі

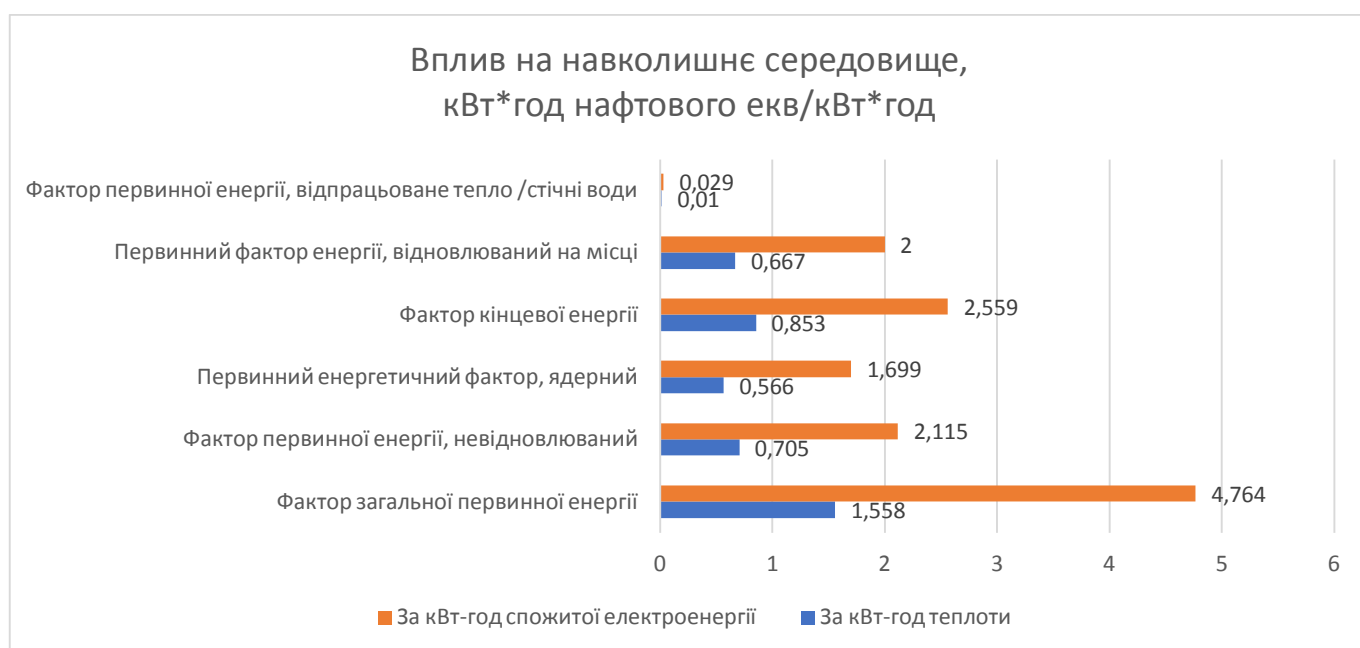


Рисунок В.40 - Енергетичні та екологічні показники роботи теплового насоса типу «грунтові води-вода» у разі значення локального коефіцієнта ефективності 3, електроенергія з мережі

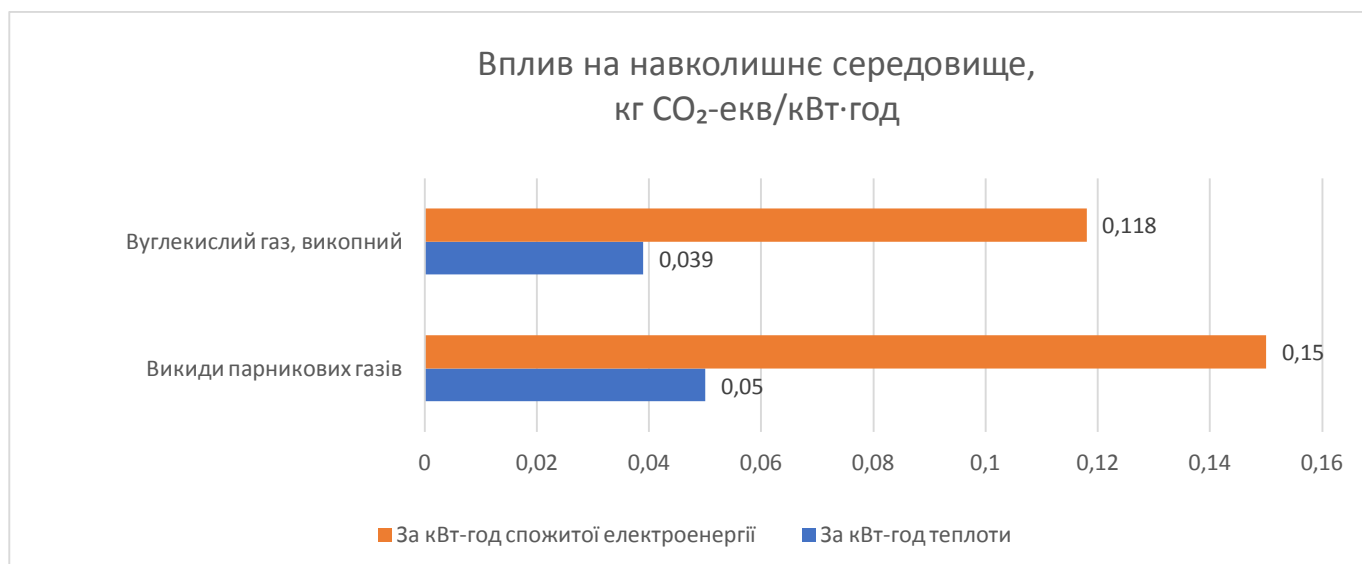


Рисунок В.41 - Енергетичні та екологічні показники роботи теплового насоса типу «грунтові води-вода» у разі значення локального коефіцієнта ефективності 3, електроенергія з мережі

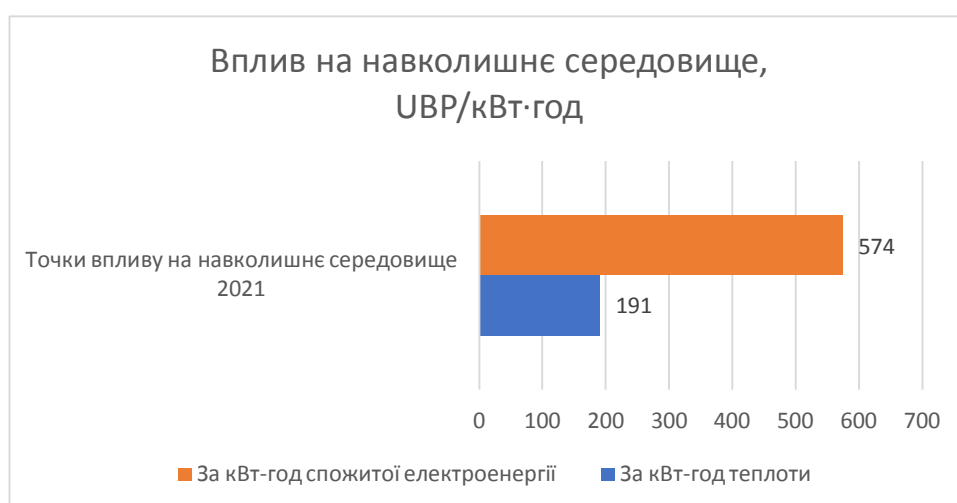


Рисунок В.42 - Енергетичні та екологічні показники роботи теплового насоса типу «грунтові води-вода» у разі значення локального коефіцієнта ефективності 3, електроенергія з мережі

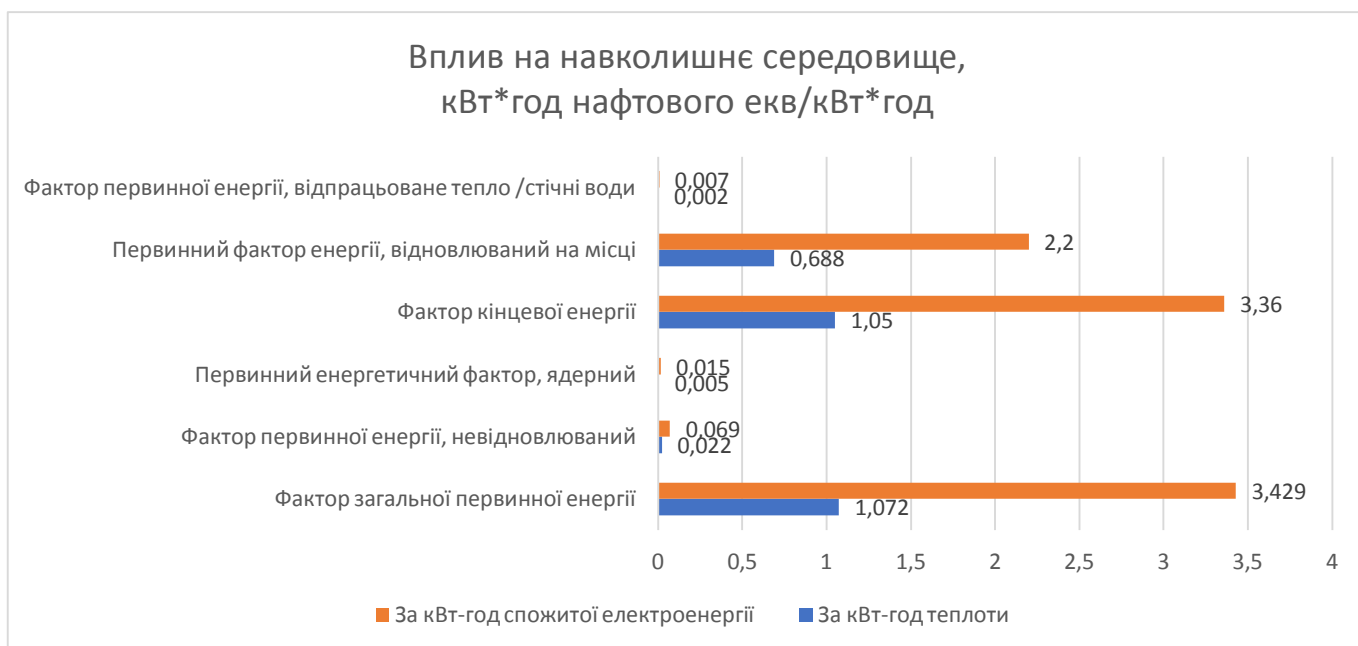


Рисунок В.43 - Енергетичні та екологічні показники роботи теплового насоса типу «грунтові води-вода» у разі значення загального коефіцієнта ефективності 3, електроенергія з відновлюваних джерел

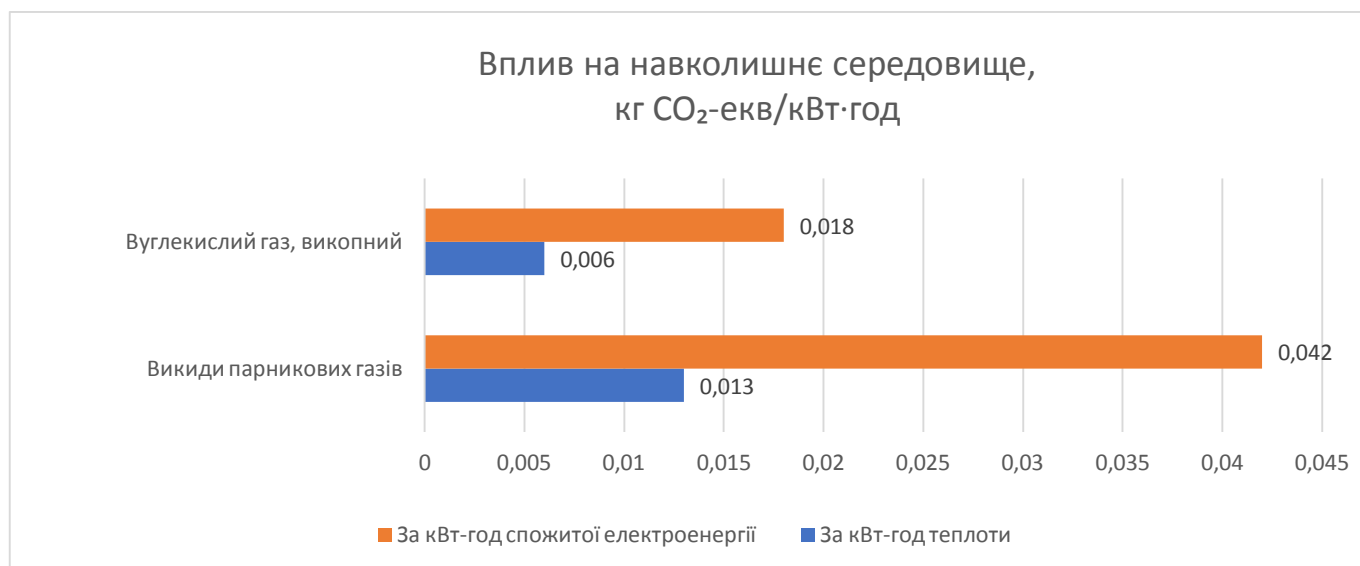


Рисунок В.44 - Енергетичні та екологічні показники роботи теплового насоса типу «грунтові води-вода» у разі значення загального коефіцієнта ефективності 3, електроенергія з відновлюваних джерел

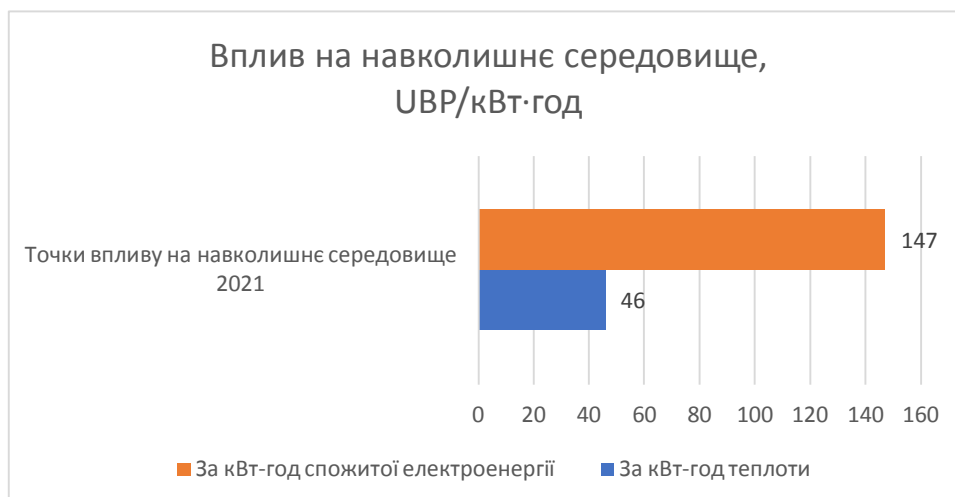


Рисунок В.45 - Енергетичні та екологічні показники роботи теплового насоса типу «грунтові води-вода» у разі значення загального коефіцієнта ефективності 3, електроенергія з відновлюваних джерел

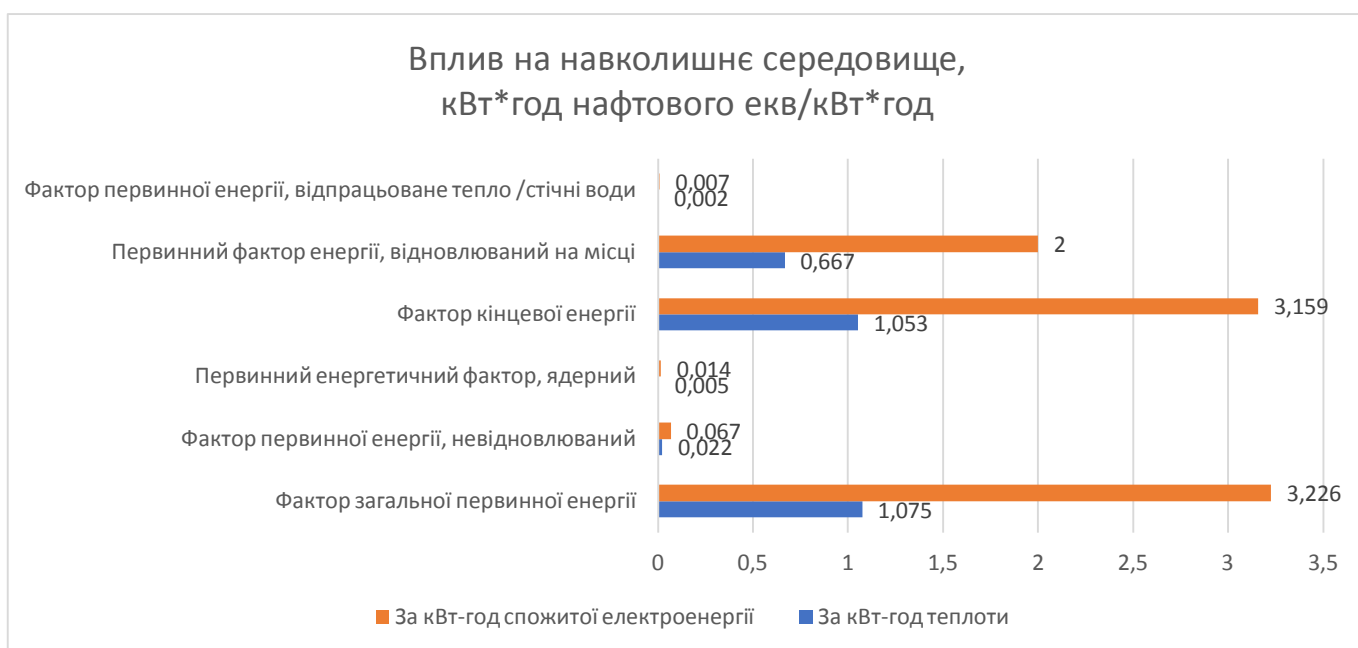


Рисунок В.46 - Енергетичні та екологічні показники роботи теплового насоса типу «грунтові води-вода» у разі значення локального коефіцієнта ефективності 3, електроенергія з відновлюваних джерел

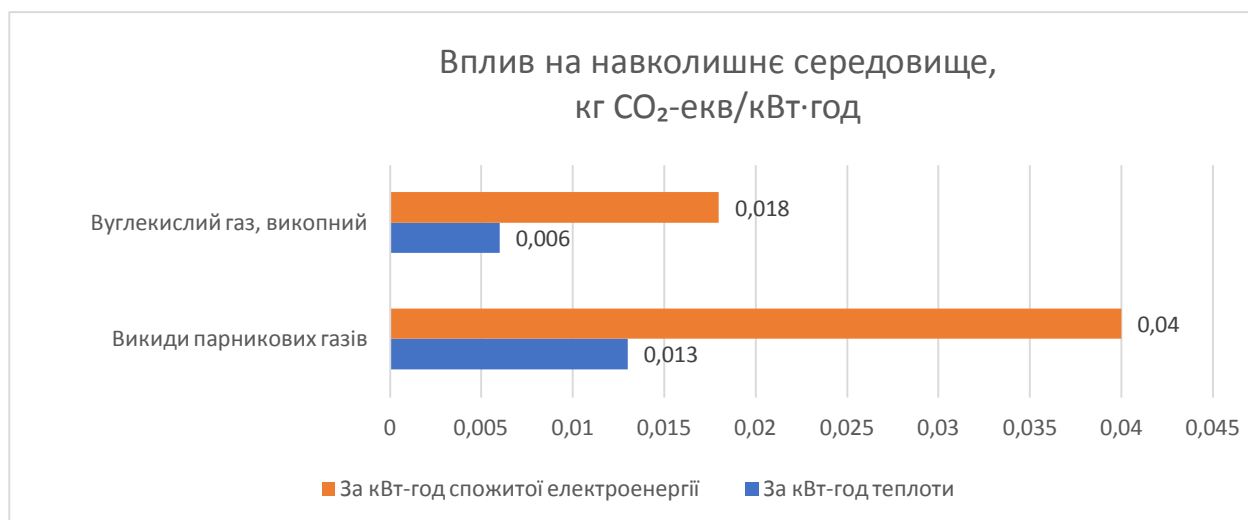


Рисунок В.47 - Енергетичні та екологічні показники роботи теплового насоса типу «грунтові води-вода» у разі значення локального коефіцієнта ефективності 3, електроенергія з відновлюваних джерел

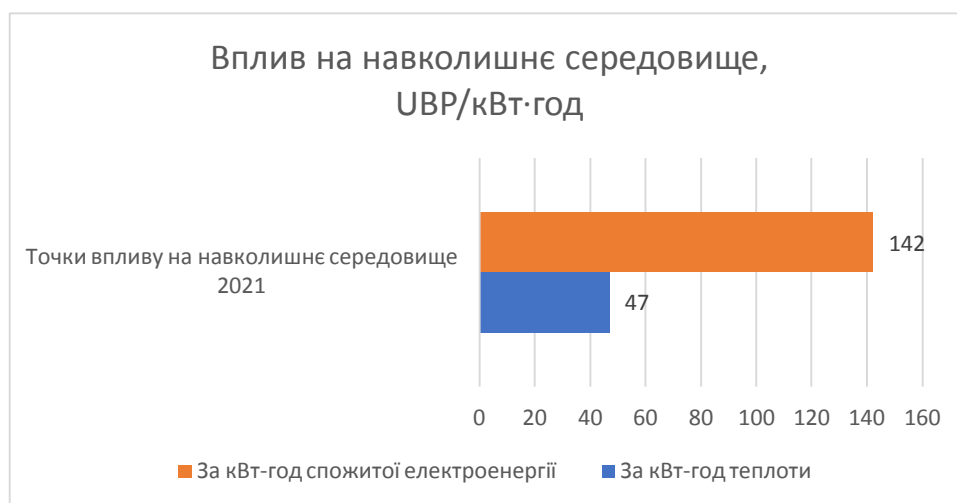


Рисунок В.48 - Енергетичні та екологічні показники роботи теплового насоса типу «грунтові води-вода» у разі значення локального коефіцієнта ефективності 3, електроенергія з відновлюваних джерел

Додаток Г
(довідковий)
**МОНТАЖ ОБЛАДНАННЯ КОГЕНЕРАЦІЙНОЇ
ТЕПЛОНАСОСНОЇ УСТАНОВКИ**

Г.1 Розрахунок і підбір допоміжного обладнання

Підбір насосного обладнання

Мережні насоси забезпечують циркуляцію теплоносія в тепловій мережі. Їх подача визначається за максимальною масовою витратою мережної води.

Витрата в контурі мережа–конденсатор

$$V_{\text{мн}} = \frac{(1,1 \dots 1,2) \cdot G_{\text{мв}} \cdot 3600}{\rho_{\text{мв}}}, \quad (\text{Г.1})$$

де ρ – густина мережної води на вході в мережний насос, кг/м³;

$G_{\text{мв}}$ – витрата мережної води, кг/с;

$$V_{\text{мн}} = \frac{1,1 \cdot 1,89 \cdot 3600}{992,2} = 7,6 \text{ (м}^3\text{/год.)}.$$

Насос циркуляційний розрахований на максимальну витрату – 11 м³/ год., максимальний напір – 0,174 МПа, та потужністю електродвигуна 1,5 кВт.

Витрата в контурі теплообмінник-випарник за формулою (Г.1)

$$V_{\text{мн}} = \frac{1,1 \cdot 2,6 \cdot 3600}{992,2} = 10,4 \text{ (м}^3\text{/год.)}.$$

Насос циркуляційний розрахований на максимальну витрату – 11 м³/ год., максимальний напір – 0,174 МПа, та потужністю електродвигуна 1,5 кВт.

Г.2 Розрахунок та комплектування основних та допоміжних матеріалів та виробів, складання відомостей

Розрахунок та комплектування основних та допоміжних матеріалів та виробів показано у таблиці Г.1.

Таблиця Г.1 – Відомість витрат матеріалів

№ п.п	Найменування матеріалу	Одиниці вимірювання	Кількість	Маса одиниці, кг	Маса, кг
1	2	3	4	5	6
Потреба в основних матеріалах					
1	Труби сталеві безшовні водо- газопровідні чорні Ø 20 мм	м	50	1,5	75
2	Труби сталеві безшовні водо- газопровідні чорні Ø 40 мм	м	30	3,33	99,9
3	Вентилі запірні Ø 40 мм	шт	15	4,5	67,5
4	Ізоляційний матеріал для ізоляції труб марки k-flex	м ³	5,6	20	112
5	Зворотній клапан Ø 20 мм	шт	7	5	35
6	Кронштейни	шт	168	0,4	67,2
7	Тепловий насос марки	шт	2	4500	9000
8	Газопоршневий двигун-генератор Generac	шт	2	878	1756
9	КТАН-утилізатор КТАН-0,1УГ	шт	1	682	682
10	Циркуляційний насос 1,5КМ–8/19	шт	4	25	100
Потреба у допоміжних матеріалах					
11	Ацетилен розчинений технічний, марка А	т	0,00013		10,4
12	Кисень технічний газоподібний	м ³	14,47		236,46

Продовження табл. Г.1

1	2	3	4	5	6
13	Білило цинкове МА-011-1	т	0,00012		9,6
14	Дріт зварний легований, 4 мм	т	0,00057		25,1
15	Електроди, діаметр 5 мм, марка Э42А	т	0,00214		120,14
16	Оліфа натуральна	кг	0,06		4,8
17	Вузли укрупнені монтажні, діаметр 20 мм	м	100		50
18	Вузли укрупнені монтажні, діаметр 40 мм	м	100		30
19	Вода	м ³	2,2		74,8
20	Очіс льняний	т	0,00006		4,8
21	Болти з гайками та шайбами, діаметр 16 мм	т	0,00237		21,58
22	Прокладка із пароніту, марка ПМБ, товщина 2 мм, діаметр 50 мм	1000 шт	0,004		0,044
23	Фланці сталі Ø 40 мм	шт	2	0,3	11,1
24	Арматура фланцева Ø 40 мм	шт	1	0,1	2,2
25	Стрічка сталі упаковальна, м'яка, 0,7х(20-50) мм	т	0,0229		839
26	Сталь листові оцинкована, товщина 0,8 мм	кг	2,8		224
27	Листи алюмінієві, марка АД1Н, товщина 1 мм	кг	0,3		24
28	Напівциліндри із мінеральної вати Ø 40 мм	м ³	2,11		83,5
29	Болти з гайками та шайбами, діаметр 12 мм	т	0,0011		7,7
30	Рейки залізничні, тип Р43, зі сталі марки НБ-61	м	16,72	44,65	746,55

Продовження табл. Г.1

1	2	3	4	5	6
31	Шпали непросочені, І тип, довжина 2,75 м	шт	10	50	500
32	Скоби будівельні	кг	5,4		8,4
33	Масло дизельне моторне М-10ДМ	т	0,022		44
34	Паливо дизельне із малосірчистої нафти	т	0,03		60
35	Електроди, діаметр 4 мм, марка 350А	т	0,01125		17,65
36	Прокат широко стрічковий, товщина 10-12 мм, сталь СтЗсп	т	0,21		420
37	Шпали просочені	шт	17,4	80	2784
38	Рейси залізничні, тип Р43 із сталі НБ-61	м	0,28	70	39,2
39	Вода технічна	т	0,12		240
40	Пропан-бутанова суміш	т	0,00327		3,31
41	Сталеві прокладки	т	0,003		3
42	Електроди, діаметр 5 мм, Э42А	т	0,00039		1,56
43	Прокладка гумова	кг	0,07		0,28
44	Фланці плоскі приварні Ø 40 мм	шт	1		2
45	Розчин готовий кладочний, М50	м ³	0,014		56

Загальна маса всіх вантажів визначається як сума мас основного і допоміжного обланання та всі пристроїв і інструментів .

Загальна маса становить:

$$\Sigma M_{\text{заг.}} = \Sigma M_{\text{осн.обл}} + \Sigma M_{\text{доп.обл}} = 11994,6 + 6705,16 = 18699,76 \text{ (кг)}. \quad (\text{Г.2})$$

Г.3 Визначення складу і об'єму робіт

Склад робіт:

1. Доставка деталей до місця монтажу.
2. Розмітка місць прокладання трубопроводу.
3. Транспортування допоміжного обладнання.
4. Монтаж двох теплових насосів.
5. Монтаж двох газопоршневих двигунів-генераторів марки Generac.
6. Монтаж КТАН-утилізатора марки КТАН-0,1УГ.
7. Прокладання водогазопровідних трубопроводів діаметром 20 мм.
8. Прокладання водогазопровідних трубопроводів діаметром 40 мм.
9. Встановлення запірно-регулюючої арматури $\varnothing$ 40 мм.
10. Встановлення зворотного клапана $\varnothing$ 20 мм.
11. Випробування трубопроводів.
12. Ізоляція трубопроводів діаметром 20 мм.
13. Ізоляція трубопроводів діаметром 40 мм.
14. Монтаж циркуляційних насосів марки 1,5KM–8/19.
15. Кінцева перевірка системи і здача в експлуатацію.

Об'єм робіт:

1. Доставка деталей до місця монтажу. Одиниці вимірювання в тонах. Загальна вага усіх деталей 18699,76 кг (18,699 т). Приймаємо об'єм $V=18,699$ т.
2. Транспортування допоміжного обладнання. Загальна маса допоміжного обладнання складає 6705,16 кг. Одиниці вимірювання в тоннах. Отже, $V = 6,71$ т.
3. Розмітка місць прокладання трубопроводу. Одиниці вимірювання 100 м. Довжина всієї мережі трубопроводу складає $L=80$ м. Приймаємо $V = 0,8$ м.
4. Монтаж теплового насосу. Одиниці вимірювання в штуках. Отже, приймаємо $V=2$ шт.
5. Монтаж газопоршневих двигунів-генераторів марки Generac. Одиниці вимірювання в тоннах. Отже, приймаємо $V=1,756$ т.
6. Монтаж КТАН-утилізатора марки КТАН-0,1УГ. Одиниці вимірювання в тоннах. Отже, приймаємо $V=0,682$ т.
7. Прокладання водогазопровідних трубопроводів діаметром 20 мм. Одиниці вимірювання 100 м. Довжина труб з діаметром 20 мм складає 50 м, отже, приймаємо $V=0,5$ м.
8. Прокладання водогазопровідних трубопроводів діаметром 40 мм. Одиниці вимірювання 100 м. Довжина труб з діаметром 40 мм складає 30 м, отже, приймаємо $V=0,3$.
9. Встановлення запірно-регулюючої арматури $\varnothing$ 40 мм. Одиниці вимірювання 100 шт. Кількість 15 шт. Отже, об'єм становить $V=0,15$.
10. Встановлення зворотнього клапана $\varnothing$ 20 мм. Одиниці вимірювання 100 шт. Кількість 7 шт. Отже, об'єм становить $V=0,07$.

11. Випробування трубопроводів. Одиниці вимірювання 100 м. Об'єм приймається як загальна довжина зворотних та подавальних трубопроводів і становить $V=0,8$ м.

12. Ізоляція трубопроводів діаметром 20 мм. Одиниця виміру 10 м. Загальна довжина трубопроводів, які ізолюють 50 м. $V = 5$ м.

13. Ізоляція трубопроводів діаметром 40 мм. Одиниця виміру 10 м. Загальна довжина трубопроводів, які ізолюють 30 м. $V = 3$ м.

14. Монтаж циркуляційних насосів марки 1,5KM–8/19. Одиниці вимірювання в штуках. Отже, приймаємо $V=4$ шт.

15. Кінцева перевірка системи і здача в експлуатацію. Одиниці вимірювання в метрах. Загальна довжина зворотних та подавальних трубопроводів становить: 80 м. Отже, $V= 80$ м.

Г.4 Підбір машин, механізмів, пристосувань

Труби, деталі, конструкції та обладнання для монтажу теплонасосної установки завозяться централізовано автомашиною «Ivesco EuroTrakker MP 190 E 38 H». Оскільки загальна вага усіх деталей становить 18,699 т, то доставка деталей та обладнання до місця монтажу проводиться за два рази. Технічні характеристики автомашини наведені в табл. 6.3.

Для встановлення обладнання використовуємо Автокран КС-6572 технічна характеристика якого наведена в табл. Г.2.

Для зварювання стиків трубопроводу використовується зварювальний напівавтомат інверторного типу KIND MIG-300. Його характеристики вказані в таблиці Г.3.

Таблиця Г.2 – Технічна характеристика автокрана КС-6572

Найменування	Одиниця виміру	Значення
Вантажопідйомність	т	6,3
Виліт стріли	м	3,5
Колія коліс: передніх задніх	м	2,5 1,95
Маса	т	13,6

Таблиця Г.3 – Технічні характеристики Ivesco EuroTrakker MP 190 E 38 H

Найменування	Одиниця виміру	Значення
Довжина платформи	м	6,8
Вантажопідйомність	кг	10000
Габарити: Довжина Ширина Висота	мм	9350 2489 3195
Маса	кг	19000

Таблиця Г.4 – Технічні характеристики зварювального напівавтомату інверторного типу KIND MIG-300

Величина	Одиниця виміру	Значення
Номінальна напруга мережі	В	380
Номінальний зварювальний струм	А	250
Діаметр зварювальної проволочи	мм	0,8-1,4
Споживана потужність	кВт	6,4
Діаметр касети з проволокою	мм	300
Маса	кг	25

Для влаштування кріплень трубопроводів та кронштейнів використовують перфоратор BOSH-GBH 2-18 RE з такими технічними характеристиками:

- енергія удару – 1,7 Дж;
- число ударів при номінал. числі обертів – 3,960 1/хв ;
- потужність – 550 Вт;
- вага – 3,9 кг.

Трубні заготовки комплектуються по гілкам. Труби подавальних та зворотних магістралей зв'язують в пакети, які мають відповідне маркування, що не допускає помилок між ділянками.

В зв'язку з тим, що ми отримаємо фасонні частини трубопроводів в готовому вигляді, то ми маємо потребу тільки в монтажних інструментах, які наведені в табл. Г.6.

Таблиця Г.6 – Набір інструментів та пристосувань для монтажників системи трубопроводів

Найменування	ГОСТ, марка	Кількість, шт.	Загальна маса, кг
1	2	3	4
Ключ гайковий двохсторонній М17х19мм, М19х22 мм	ГОСТ2839-80	6	0,9
Плоскогубці комбіновані	ГОСТ 5547-75	6	1,6
Викрутки	ГОСТ 5423 - 79	6	0,31
Молоток слюсарний	ГОСТ 2310-77	6	1,8
Зубило слюсарне довжиною 200 мм	ГОСТ 7211-72	6	2,1
Молоток гумовий		6	1,9
Стрічка вимірювальна, 20 м	ГОСТ 7502 - 61	6	0,12
Рівень металевий	ГОСТ 7948-80	2	0,22
Висок	ГОСТ 7948-80	2	0,2
Ящик переносний для інструменту		12	3,2
Всього:			11,75

Витрати допоміжних матеріалів зводимо в таблицю Г.7.

Загальна маса всіх інструментів і пристосувань складає

$$\Sigma M_{\text{інст.}} = 25 + 6,5 + 3,9 + 11,75 + 6,05 = 53,2 \text{ (кг)}. \quad (\text{Г.3})$$

Таблиця Г.7 – Витрати допоміжних матеріалів на монтаж теплотехнічної частини

Допоміжні матеріали	Одиниця виміру	Витрати матеріалів		
		Шифр	Вага	Об'єм
Прокладки гумові	кг	111-1746	5,45	-
Прокладка з пароніта, ПМБТ,	шт/кг		15/0,04	-
$\Sigma = 6,05$				

Г.5 Витрати на паливні та енергетичні ресурси

Витрати електроенергії на роботи електроприладів визначаються за формулою

$$E = P \cdot \tau \cdot k, \quad (\text{Г.4})$$

де P – потужність приладу чи механізму, кВт;
 τ – термін роботи приладу, год;
 k – коефіцієнт, що враховує періодичність дії електричного обладнання.

Витрати електроенергії на роботу зварювального напівавтомату типу KIND MIG-300

$$k = 0,1, \tau = 3 \text{ год}, p = 1,6 \text{ (кВт)};$$

$$E_1 = 1,6 \cdot 3 \cdot 0,1 = 0,48 \text{ (кВт} \cdot \text{год)}.$$

Витрати електроенергії на роботу перфоратора BOSH-GBH 2-18 RE

$$k = 0,1, \tau = 16 \text{ год}, p = 0,55 \text{ (кВт)};$$

$$E_2 = 0,55 \cdot 16 \cdot 0,1 = 0,88 \text{ (кВт} \cdot \text{год)}.$$

Витрата пального для доставки матеріалів та виробів:

- відстань 30 (км);
- кількість ходок $n = 2$;
- витрата пального $Q = 18$ (л/100 км).

Необхідна кількість пального для доставки труб визначається за формулою

$$Q_{\text{п}} = Q \cdot 2 \cdot n \cdot l = 0,18 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 30 = 21,6 \text{ (л)}. \quad (\text{Г.5})$$

Г.6 Визначення трудомісткості виконання монтажних робіт

Трудомісткість монтажних робіт

$$Q = \frac{V \cdot H_{\text{ч}}}{B} \text{ [люд/дні]}, \quad (\text{Г.6})$$

де V – об'єм робіт;
 $H_{\text{ч}}$ – норма часу на одиницю виміру, люд/год;

B – кількість годин в зміні, год.

Тривалість монтажних робіт

$$T = \frac{Q}{n} \text{ [дні]}, \quad (\text{Г.7})$$

де Q – трудомісткість монтажних робіт, люд/дні

n – кількість робітників, люд.

Результати розрахунку наведені в таблиці Г.8.

Таблиця Г.8 – Визначення трудомісткості виконання монтажних робіт

№ роботи	Найменування робіт	Одиниця виміру	Об'єм робіт	Норма часу	Трудомісткість, люд/год	Тривалість днів	Виконавці	
							Кількість	Професійний склад
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Доставка деталей до місця монтажу	т	18,699	3	7,01	1,75	4	робітник 3р.-3 1 водій

Продовження табл. Г.8

1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	Транспортування допоміжного обладнання	т	6,705	3	2,51	1,26	2	робітник 4р.-1, 2р.-1
3	Розмітка місць прокладання трубопроводів	100 м	0,8	1,3	0,13	0,033	4	Монтажн. 5р.-2, 3р.-2
4	Монтаж теплового насосу	шт	2	352,8	88,2	22,05	4	Монтажники 3р.-2, 7р.-2
5	Монтаж двигуна-генератора Generac	т	0,878	239,69	26,31	2,6	10	Монтажники 3р.-4, 4р.-4, 7р.-2
6	Монтаж КТАН-утилізатора	т	0,682	246,4	21,01	7	3	Монтажники 5р.-1, 4р.-1, 3р.-1
7	Прокладання водогазопровідних трубопроводів діаметром 20 мм	100м	0,5	48,71	3,04	1,01	3	ел.зв. 6р.-1, 5р.-1, сл.-сантехнік 4 р.-1

Продовження табл. Г.8

1	2	3	4	5	6	7	8	9
8	Прокладання водогазопро- відних трубо- проводів діаметром 40 мм	100м	0,3	48,71	1,83	0,61	3	ел.зв. 6р.-1, 5р.-1, сл.-сантехнік 4 р.-1
9	Встановлення запірної арматури Ø 40 мм	шт	15	36,15	4,52	1,51	3	Монтаж- ники 5р-1, 4р-1, 3р.-1
10	Встановлення зворотнього клапана Ø 20 мм	шт	7	16,87	2,11	0,7	3	Монтаж- ники 5р-1, 4р-1, 3р.-1
11	Випробування трубопроводів	100 м	0,8	8,22	0,822	0,27	3	Монтаж- ники. 4р-1, 3р-2
12	Ізоляція трубопроводів діаметром 20 мм	100 м	0,5	48,79	6,09	3,05	2	Слюсар 4, 2 розряд
13	Ізоляція трубопроводів діаметром 40 мм	100 м	0,3	29,27	3,65	1,83	2	Слюсар 4, 2 розряд
14	Монтаж циркуляцій- ного насоса	шт	4	21,32	10,66	2,67	4	Монтаж- ники 3р-2, 4р-2

Продовження табл. Г.8

1	2	3	4	5	6	7	8	9
15	Кінцева перевірка системи і здача в експлуатацію	100 м	0,8	2,4	0,24	0,12	2	Слюсар-сантехнік 3,5

Г.7 Визначення складу бригад і підбір монтажних інструментів

Склад бригад та середній розряд робітників для виконання монтажних робіт визначається згідно нормативних документів.

Доставка деталей до місць монтажу та їх складування. Троє робітників, один водій.

Транспортування допоміжного обладнання. Два робітника 4, 2 розряду.

Розмітка місць прокладання трубопроводу. Четверо монтажників 5 розряду і 3 розряду.

Монтаж теплового насосу. Чотири монтажника 7, 3 розряду.

Монтаж двигуна-генератора Generac. Десять монтажників 3, 4, 7 розрядів.

Монтаж КТАН-утилізатора. Три монтажника 5, 4, 3 розряду.

Прокладання водогазопровідних трубопроводів діаметром 20 мм. Двоє електрозварників 6, 5 розряду, один слюсар-сантехнік 4 розряду.

Прокладання водогазопровідних трубопроводів діаметром 40 мм. Двоє електрозварників 6, 5 розряду, один слюсар-сантехнік 4 розряду.

Встановлення запірної арматури Ø 40 мм. Три монтажника 5, 4, 3 розряду.

Встановлення зворотного клапана Ø 20 мм. Три монтажника 5, 4, 3 розряду.

Випробування трубопроводів. Шість монтажників 5, 4, 3 розряду.

Ізоляція трубопроводів діаметром 20 мм. Два слюсара 4, 2 розряду.

Ізоляція трубопроводів діаметром 40 мм. Два слюсара 4, 2 розряду.

Монтаж циркуляційного насоса 1,5КМ–8/19. Чотири монтажника 4, 3 розряду.

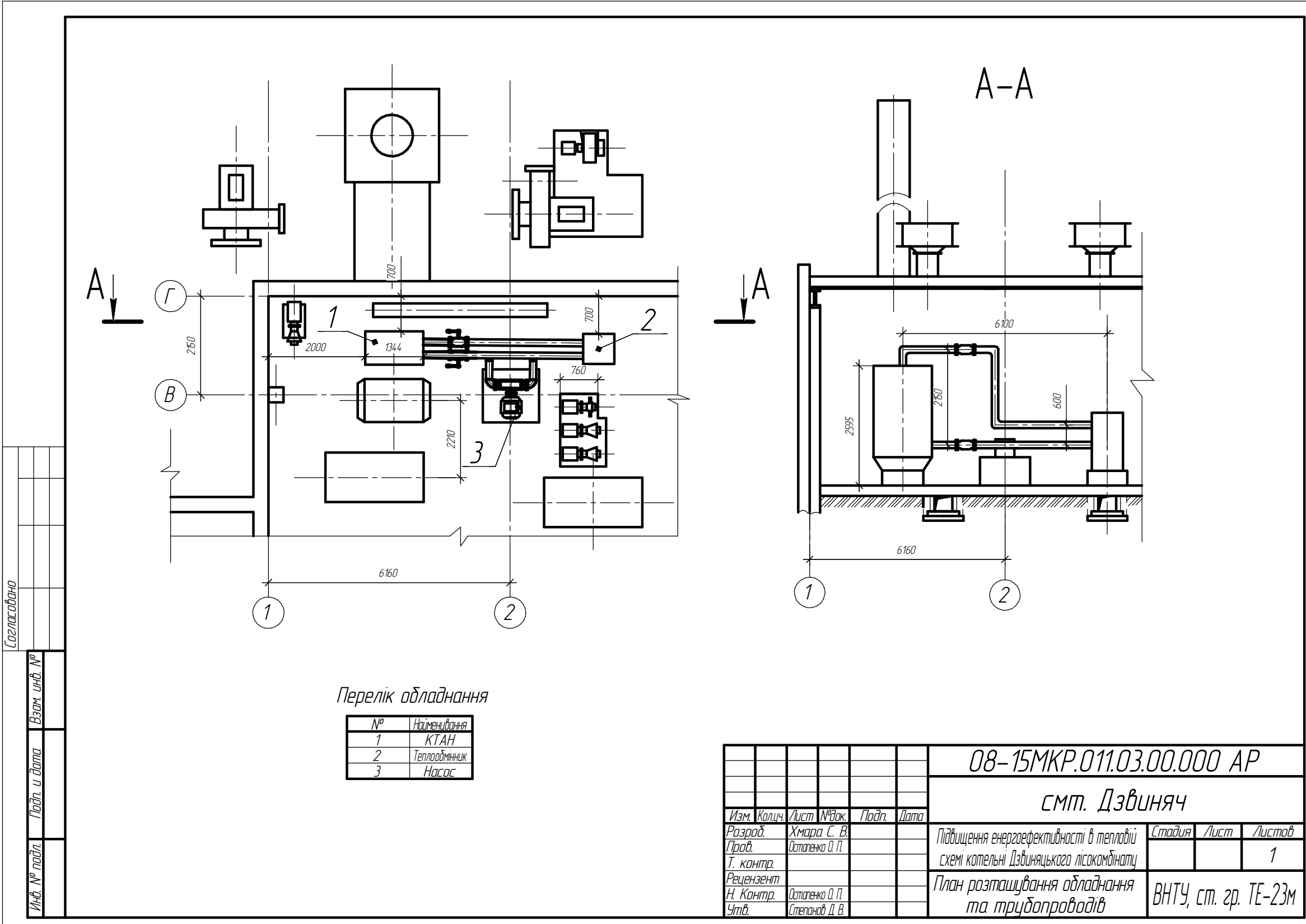
Кінцева перевірка системи і здача в експлуатацію. Четверо слюсарів-сантехніків 5 розряду.

Додаток Д

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

Поз. познач.	Найменування	Кіл.	Примітка
1	Паровий котел	1	2.5-0.9ГМ
2	Паровий котел (резервний)	1	2.5-0.9ГМ
3	Бак зберігання хімоочищеної води	1	10000л
4	Конденсатний бак котельні	1	3500
5	Конденсатний бак преса	1	1000л
6	Система хімводоочистки	1	
7	Насос циркуляційний мережний	5	ЦВ-4/85
8	Насос циркуляційний підживлення	3	ЦВ-4/85
9	Насос циркуляційний живильний	4	ЦВ-4/85
10	Дросельний вентиль	92	
11	Зворотний клапан	19	
12	Фільтр	3	
13	Труба сталева електрозварна	30	Ду 57х3
14	Труба сталева електрозварна	20	Ду 108х4
15	Конденсатовідвідник	1	
16	Манометр	35	
17	Газопоршневий двигун-генератор	1	Generac SG-100
18	КТАН-утилізатор	1	КТАН-0,8УГ
19	Теплонасосна установка	1	
20	Утилізатор теплоти відхідних газів ДВЗ	1	
21	Проміжний теплообмінник	1	
		</	

Формат А3

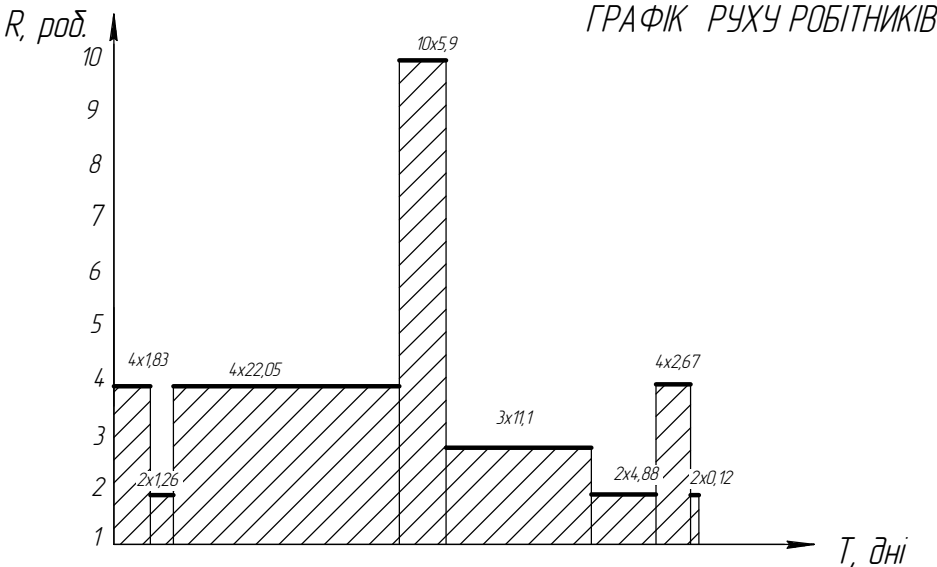


КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН МОНТАЖУ ТЕПЛОНАСОСНОЇ УСТАНОВКИ

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН МОНТАЖУ ТЕПЛОНАСОСНОЇ УСТАНОВКИ									2025														
№ п/п	Найменування робіт	Одін. вим.	Об'єми	Норма часу люд./год	Трудо- міст- кість	Склад бригади	К-сть чоловік	Трива- лість	Березень				Квітень				Травень						
									2-6	9-13	16-20	23-27	2-6	9-13	16-20	23-27	30-3	6-10	13-17	20-24	27-1		
									1-5	6-10	11-15	16-20	21-25	26-30	31-35	36-40	41-45	46-50	51-55	56-60	61-65		
1	Доставлення деталей до місць монтажу	т	18,699	3	7,01	3 робітника 1 вантаж	4	1,75	4х175														
2	Розмітка місць прокладання трубопроводу	100 м	0,8	1,3	0,13	Монтажник 5 розряд - 2, 3 розряд - 2	4	0,033	4х0,033														
3	Транспортування допоміжного обладнання	т	6,705	3	2,51	Робітник 4р. - 1, 3р. - 1	2	1,26	2х1,26														
4	Монтаж теплового насосу	шт	2	352,8	88,2	Монтажники 3р-2, 7р-2	4	22,05		4х22,05													
5	Монтаж двигуна-генератора Genepac SGO60-380	т	1,756	273	59,9	Монтажники 3р-4, 4р-4, 7р-2	10	5,9				10х5,9											
6	Монтаж КТАН-утилізатора	т	0,682	246,4	21,01	Монтажники 3р-1, 4р-1, 5р-1	3	7					3х7										
7	Прокладання водогазопровідних трубопроводів діаметром 20 мм	100 м	0,5	48,71	3,04	ел.зб. 6р-1, 5р-1, сл.-сантехнік 4р-1	3	1,01						3х1,01									
8	Прокладання водогазопровідних трубопроводів діаметром 40 мм	100 м	0,3	48,71	1,83	ел.зб. 6р-1, 5р-1, сл.-сантехнік 4р-2	3	0,61							3х0,61								
9	Встановлення запірної арматури ф40 мм	шт	15	2,41	4,52	Монтажники 5р-1, 4р-1, 3р-1	3	1,51								3х1,51							
10	Встановлення зворотнього клапана ф20 мм	шт	7	2,41	2,11	Монтажники 5р-1, 4р-1, 3р-1	3	0,7									3х0,7						
11	Випробування трубопроводів	100 м	0,8	8,22	0,822	Монтажники , 4р-1, 3р-2	3	0,27										3х0,27					
12	Ізоляція трубопроводів діаметром 20 мм	100 м	0,5	97,58	6,09	Слюсар 4,2 розряд	2	3,05											2х3,05				
13	Ізоляція трубопроводів діаметром 40 мм	100 м	0,3	97,58	3,65	Слюсар 4,2 розряд	2	1,83												2х1,83			
14	Монтаж циркуляційного насосу 15KM-8/19	шт	4	2132	10,66	Монтажники 3р-2, 4р-2	4	2,67													4х2,67		
15	Кінцева перевірка системи і здача в експлуатацію	100 м	0,8	2,4	0,24	Слюсар-сантехнік 3р-1, 5р-1	2	0,12														2х0,12	

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ
ГРАФІКУ РУХУ РОБІТНИКІВ

№	Позначення	Формула	Результат	Од.виміру
1	$Q_{зоз.}$	Q_i	211,72	люд./дні
2	$T_{зоз.}$	-	49,76	дні
3	R_{max}	-	10	люд
4	$R_{сер}$	$Q_{зоз.} / T_{зоз.}$	4	люд
5	$T_{вст.}$	-	7,6	дні
6	$\pm_1$	$R_{сер} / R_{max}$	0,5	-
7	$\pm_2$	$T_{вст.} / T_{зоз.}$	0,08	-



ГРАФІК РОБОТИ МАШИН ТА МЕХАНІЗМІВ

Iveco EuroTrakker	183								
УРАЛ КС-6572		38,04							
KIND MIG-300					2188				
BOSH-GBH 2-18 RE		0,045							

						08-15.МКР.011.04.00.000 АР			
						с.м.т. Дзвиняч			
Изм.	Колыч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Підвищення енергоефективності в тепловій схемі котельні Дзвиняцького лісокомбінату	Стадія	Лист	Листов
Розроб	Хмара С. В.								1
Проб.	Остапенко О. П.								
Т. Контр									
Опонент									
Н. Контр	Остапенко О. П.					Календарний план	ВНТУ, ст. гр. ТЕ-23м		
Затв.	Степанов Д. В.								

РЕЗУЛЬТАТИ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Тепловий насос «повітря-вода» Стара будівля Загальний коефіцієнт ефективності 3 Електроенергія з мережі Вплив на навколишнє середовище		Per kWh of heat	Per kWh of consumed electricity
Greenhouse gas emissions	kg CO ₂ -eq/kWh	0,058	0,156
Carbon dioxide, fossil	kg CO ₂ /kWh	0,043	0,117
Total primary energy factor	kWh of oil equivalent/kWh	1,62	4,375
Primary energy factor, non-renewable	kWh of oil equivalent/kWh	0,783	2,115
Primary energy factor, nuclear	kWh of oil equivalent/kWh	0,63	1,7
Final energy factor	kWh of oil equivalent/kWh	0,837	2,26
Primary energy factor, on-site renewable	kWh of oil equivalent/kWh	0,63	1,7
Primary energy factor, waste heat/waste water	kWh of oil equivalent/kWh	0,011	0,029
Environmental impact points 2021	UBP /kWh	214	579

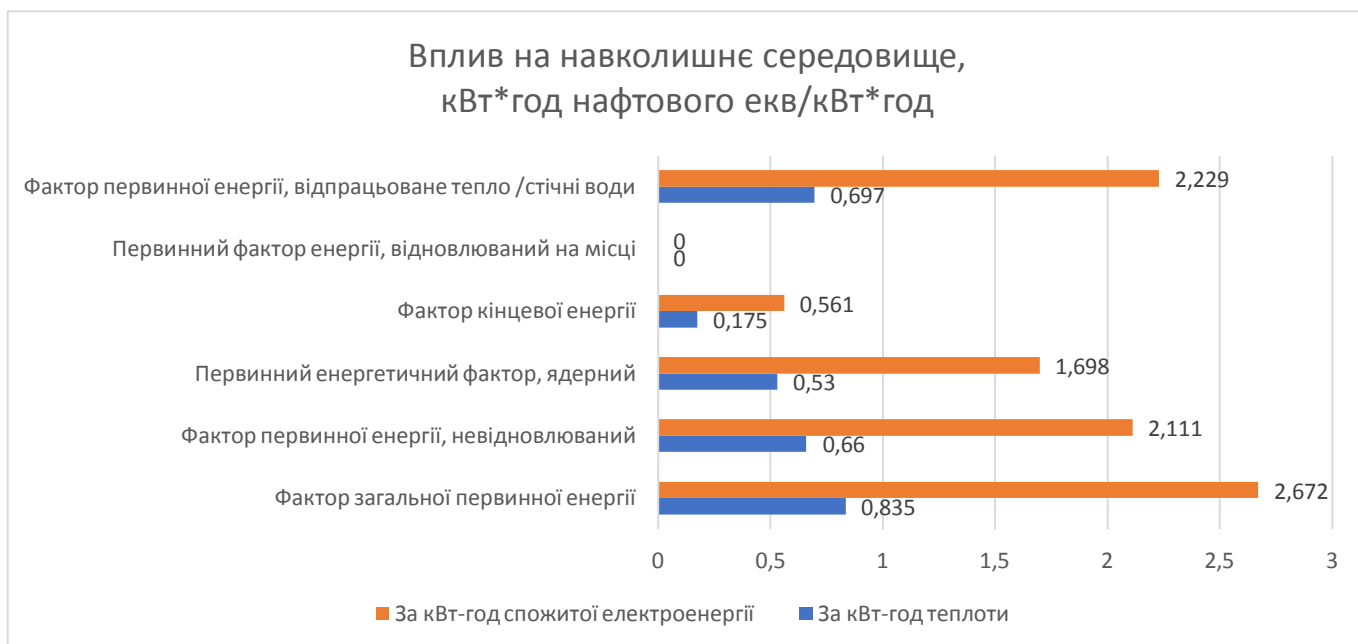
Тепловий насос «повітря-вода» Стара будівля Локальний коефіцієнт ефективності 3 Електроенергія з мережі Вплив на навколишнє середовище		Per kWh of heat	Per kWh of consumed electricity
Greenhouse gas emissions	kg CO ₂ -eq/kWh	0,053	0,16
Carbon dioxide, fossil	kg CO ₂ /kWh	0,039	0,118
Total primary energy factor	kWh of oil equivalent/kWh	1,56	4,679
Primary energy factor, non-renewable	kWh of oil equivalent/kWh	0,706	2,118
Primary energy factor, nuclear	kWh of oil equivalent/kWh	0,567	1,701
Final energy factor	kWh of oil equivalent/kWh	0,854	2,561
Primary energy factor, on-site renewable	kWh of oil equivalent/kWh	0,667	2,0
Primary energy factor, waste heat/waste water	kWh of oil equivalent/kWh	0,010	0,029
Environmental impact points 2021	UBP /kWh	196	587

РЕЗУЛЬТАТИ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

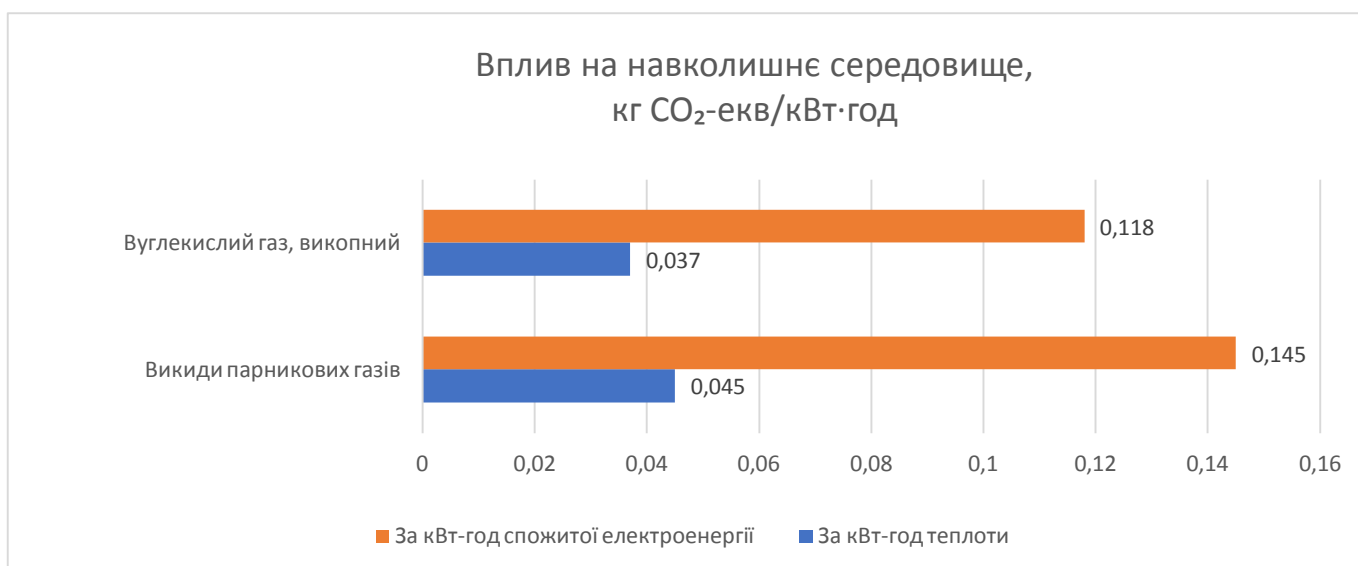
Тепловий насос «повітря-вода» Стара будівля Загальний коефіцієнт ефективності 3 Електроенергія з відновлюваних джерел Вплив на навколишнє середовище		Per kWh of heat	Per kWh of consumed electricity
Greenhouse gas emissions	kg CO ₂ -eq/kWh	0,017	0,047
Carbon dioxide, fossil	kg CO ₂ /kWh	0,006	0,017
Total primary energy factor	kWh of oil equivalent/kWh	1,084	2,928
Primary energy factor, non-renewable	kWh of oil equivalent/kWh	0,025	0,067
Primary energy factor, nuclear	kWh of oil equivalent/kWh	0,006	0,015
Final energy factor	kWh of oil equivalent/kWh	1,06	2,861
Primary energy factor, on-site renewable	kWh of oil equivalent/kWh	0,63	1,7
Primary energy factor, waste heat/waste water	kWh of oil equivalent/kWh	0,002	0,007
Environmental impact points 2021	UBP /kWh	54	147

Тепловий насос «повітря-вода» Стара будівля Локальний коефіцієнт ефективності 3 Електроенергія з відновлюваних джерел Вплив на навколишнє середовище		Per kWh of heat	Per kWh of consumed electricity
Greenhouse gas emissions	kg CO ₂ -eq/kWh	0,017	0,05
Carbon dioxide, fossil	kg CO ₂ /kWh	0,006	0,018
Total primary energy factor	kWh of oil equivalent/kWh	1,077	3,232
Primary energy factor, non-renewable	kWh of oil equivalent/kWh	0,023	0,07
Primary energy factor, nuclear	kWh of oil equivalent/kWh	0,005	0,016
Final energy factor	kWh of oil equivalent/kWh	1,054	3,161
Primary energy factor, on-site renewable	kWh of oil equivalent/kWh	0,667	2,0
Primary energy factor, waste heat/waste water	kWh of oil equivalent/kWh	0,002	0,007
Environmental impact points 2021	UBP /kWh	52	156

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ВАРІАНТІВ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕПЛОНАСОСНИХ УСТАНОВОК В ТЕПЛОВІЙ СХЕМІ КОТЕЛЬНОЇ

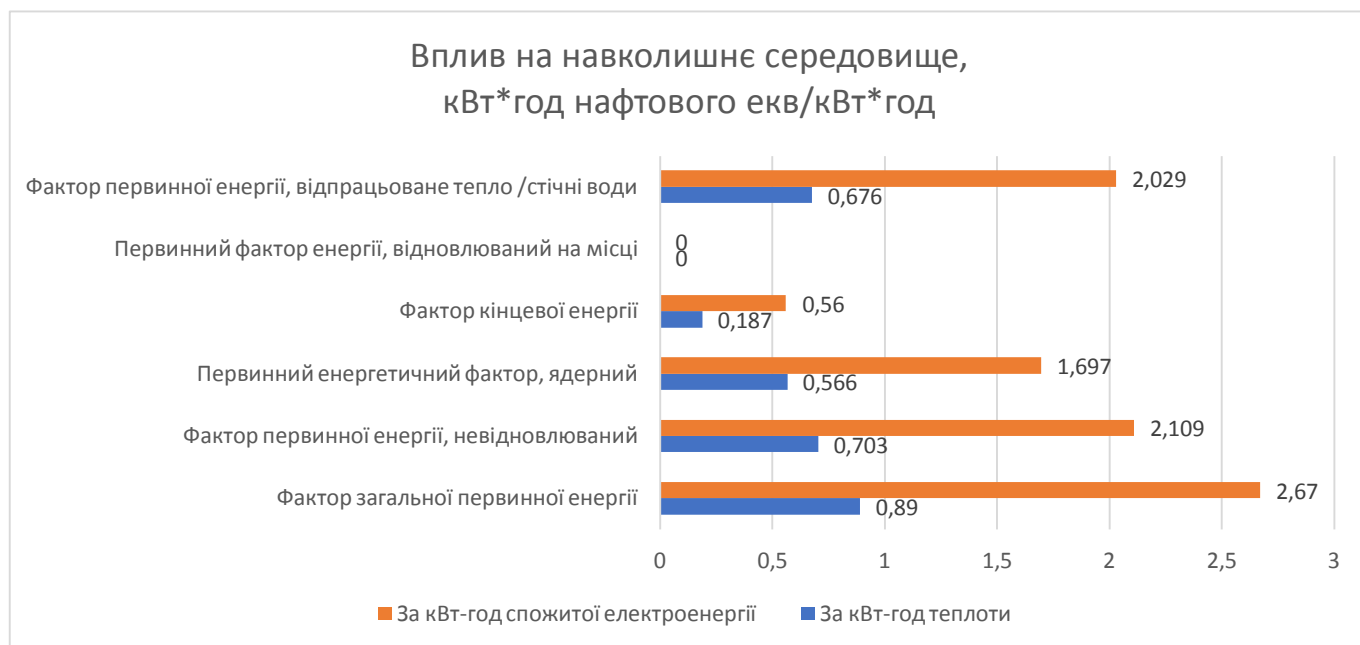


Енергетичні та екологічні показники роботи теплового насоса типу «стічні води-вода» у разі значення загального коефіцієнта ефективності 3, електроенергія з мережі

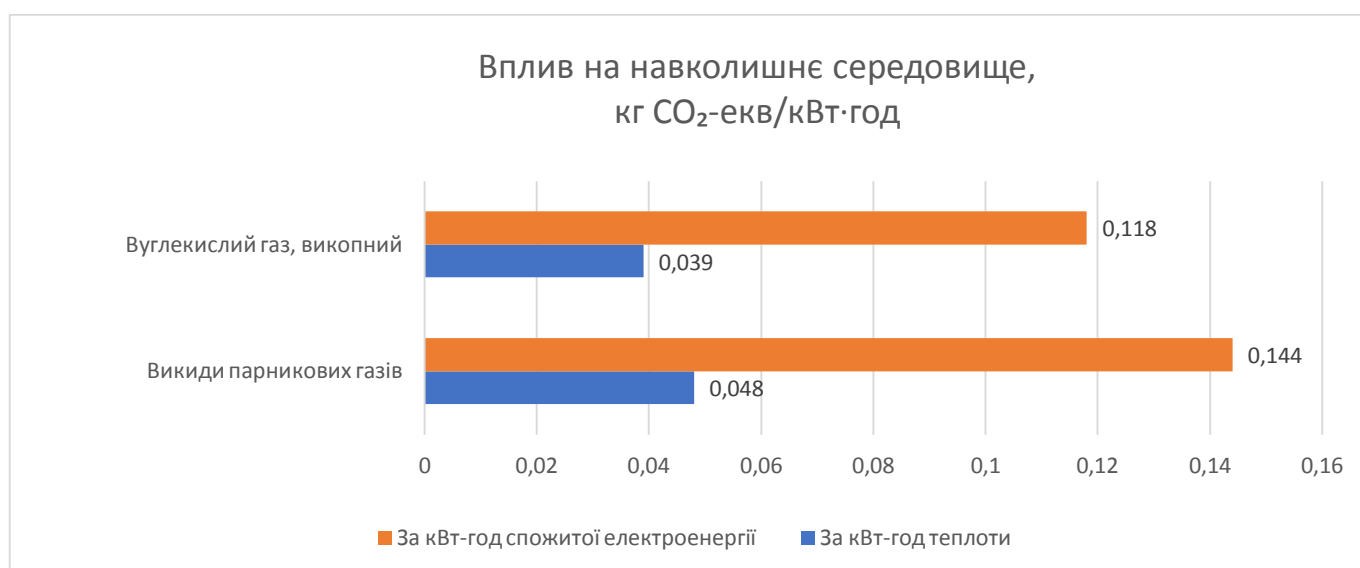


Енергетичні та екологічні показники роботи теплового насоса типу «стічні води-вода» у разі значення загального коефіцієнта ефективності 3, електроенергія з мережі

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ВАРІАНТІВ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕПЛОНАСОСНИХ УСТАНОВОК В ТЕПЛОВІЙ СХЕМІ КОТЕЛЬНІ

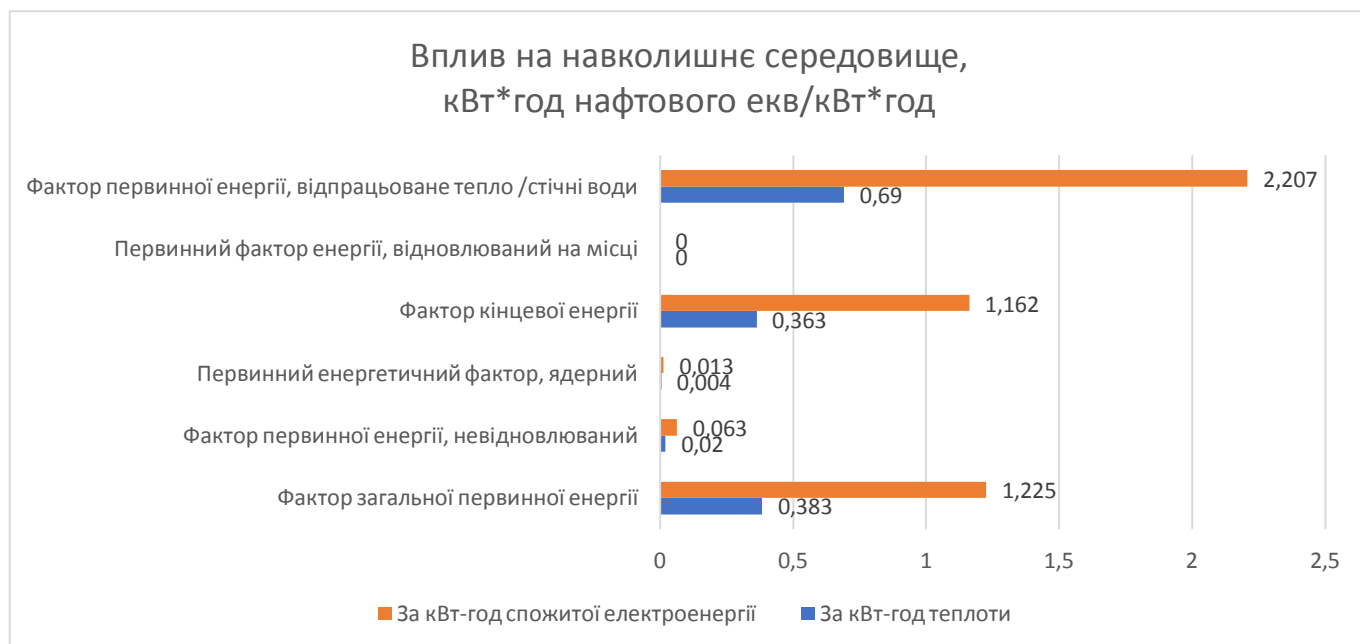


Енергетичні та екологічні показники роботи теплового насоса типу «стічні води-вода» у разі значення локального коефіцієнта ефективності 3, електроенергія з мережі

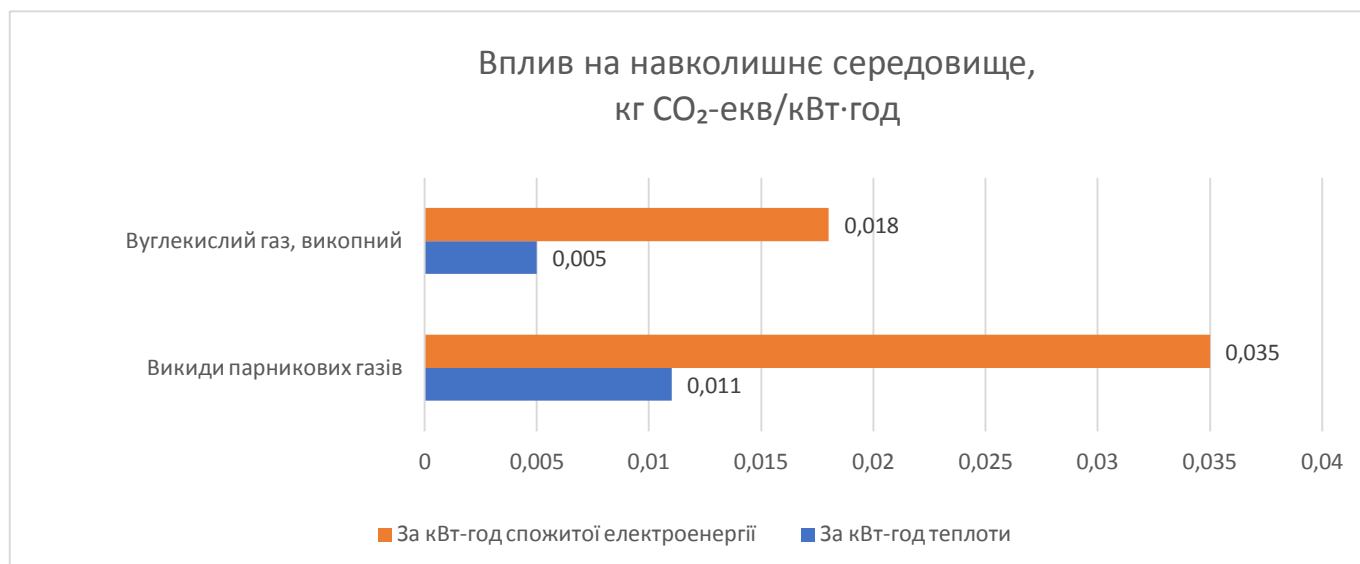


Енергетичні та екологічні показники роботи теплового насоса типу «стічні води-вода» у разі значення локального коефіцієнта ефективності 3, електроенергія з мережі

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ВАРІАНТІВ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕПЛОНАСОСНИХ УСТАНОВОК В ТЕПЛОВІЙ СХЕМІ КОТЕЛЬНОЇ

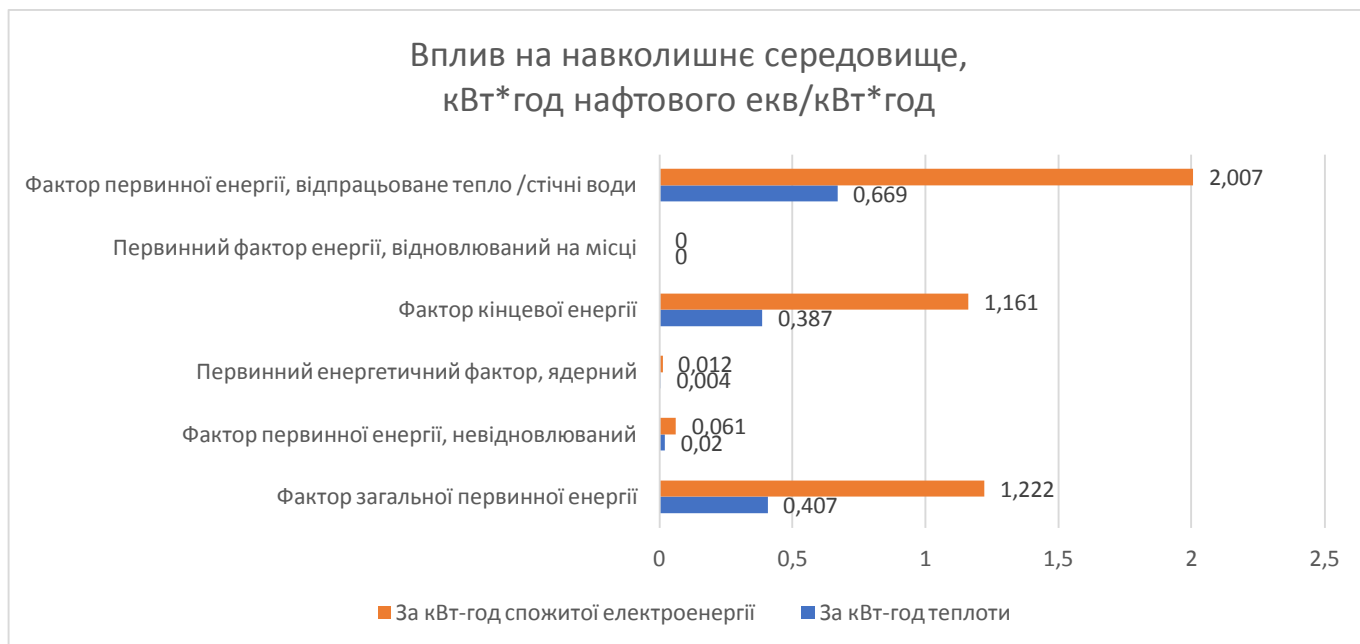


Енергетичні та екологічні показники роботи теплового насоса типу «стічні води-вода» у разі значення загального коефіцієнта ефективності 3, електроенергія з відновлюваних джерел

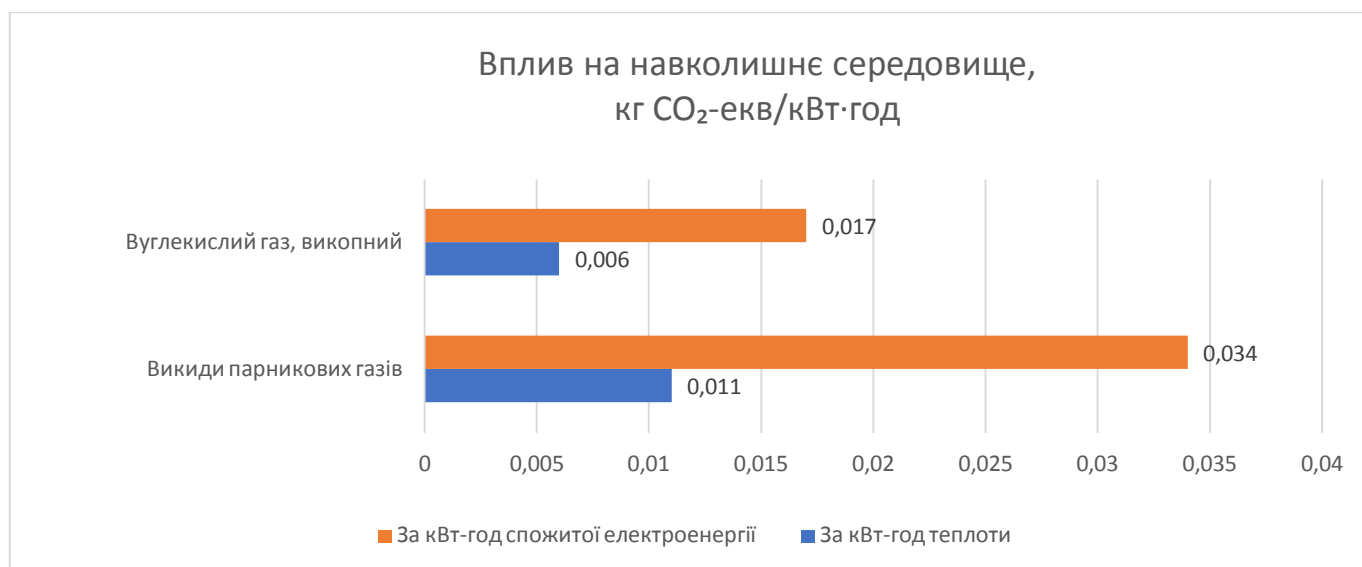


Енергетичні та екологічні показники роботи теплового насоса типу «стічні води-вода» у разі для значення загального коефіцієнта ефективності 3, електроенергія з відновлюваних джерел

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ВАРІАНТІВ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕПЛОНАСОСНИХ УСТАНОВОК В ТЕПЛОВІЙ СХЕМІ КОТЕЛЬНОЇ



Енергетичні та екологічні показники роботи теплового насоса
типу «стічні води-вода» у разі значення локального коефіцієнта ефективності 3,
електроенергія з відновлюваних джерел



Енергетичні та екологічні показники роботи теплового насоса
типу «стічні води-вода» у разі значення локального коефіцієнта ефективності 3,
електроенергія з відновлюваних джерел