

Вінницький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії
(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра теплоенергетики
(повна назва кафедри)

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«Підвищення енергоефективності в тепловій схемі котельні
«Оболонь – Красилівське»»

08-15.МКР.008.00.00.000 ПЗ

Виконав: студент 2 курсу групи ТЕ-23м
спеціальності 144 - теплоенергетика

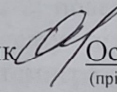
(шифр і назва спеціальності)



Сич Д. С.

(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

"24" 09 2024 р.

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

СИЧУ ДМИТРУ СЕРГІЙОВИЧУ

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Підвищення енергоефективності в тепловій схемі котельні «Оболонь – Красилівське»»

керівник роботи Остапенко О.П., к.т.н., доцент,
(прізвище, ініціали, науковий ступінь, вчене звання)

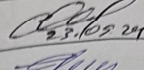
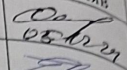
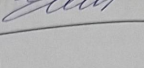
затверджені наказом вищого навчального закладу від 17.09.2024 р. № 310.

2. Строк подання студентом роботи 5 грудня 2024 року.

3. Вихідні дані до роботи: відпуск пари на потреби гарячого водопостачання 0,056 кг/с; відпуск пари на технологію 1,194 кг/с; відпуск пари на опалення 0,739 кг/с; сумарний відпуск пари 2,024 кг/с; повернення конденсату від гарячого водопостачання 95%; повернення конденсату від технології 90%; повернення конденсату від споживачів опалення 95%; температура конденсату від технології та споживачів 80 °С; температура додаткової води 5-20 °С; витрата пари на власні потреби 3,5%.

4. Зміст текстової частини: аналітичний літературний огляд; методичні основи для математичного моделювання роботи теплових насосів у складі джерел енергозабезпечення; моделювання роботи теплонасосної установки в тепловій схемі парової промислово-опалювальної котельні; моделювання екологічного впливу варіантів модернізації теплової схеми промислово-опалювальної котельні; економічна частина

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
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); схема теплової котельні з когенераційною теплонасосною установкою

6. Консультанти розділів роботи		Підпис, дата	
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	завдання видав	завдання прийняв
Розділи 1 - 4	Остапенко О. П., доц. каф. ТЕ	 23.09.24	 05.10.24
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	<i>вик</i>
2	Методичні основи для математичного моделювання роботи теплових насосів у складі джерел енергозабезпечення	06.10.2024 – 18.10.2024	<i>вик</i>
3	Моделювання роботи теплонасосної установки в тепловій схемі парової промислово-опалювальної котельні	19.10.2024 – 02.11.2024	<i>вик</i>
4	Моделювання екологічного впливу варіантів модернізації теплової схеми промислово-опалювальної котельні	03.11.2024 – 19.11.2024	<i>вик</i>
5	Економічна частина	20.11.2024 – 29.11.2024	<i>вик</i>
6	Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу	30.11.2024 – 05.12.2024	<i>вик</i>

Студент

(підпис)

Сич Д. С.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Остапенко О.П.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

УДК 621.577

Сич Д. С. Підвищення енергоефективності в тепловій схемі котельні «Оболонь – Красилівське». Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 144 – Теплоенергетика, освітня програма - Теплоенергетика. Вінниця: ВНТУ, 2024. 89 с. На укр. мові. Бібліогр.: 40 назв; рис.: 42; табл. 7.

В магістерській кваліфікаційній роботі (МКР) оцінюється підвищення енергоефективності в тепловій схемі промислово-опалювальної парової підприємства «Оболонь – Красилівське», 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. 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

Sych D. S. Increasing of energy efficiency in the thermal scheme of the boiler house "Obolon - Krasylivske". Master's qualification work in the specialty 144 - Heat and power engineering, educational program - Heat and power engineering. Vinnytsia: VSTU, 2024. 89 p. In Ukrainian. Bibliography: 40 titles; fig.: 42; table. 7.

The master's qualification work (MQW) assesses the increase in energy efficiency in the thermal scheme of the industrial heating steam boiler house of enterprise "Obolon - Krasylivske", which is provided by using a cogeneration heat pump installation using the heat of secondary energy resources. The MQW includes an analytical review of literary information, 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. 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	9
1.1 Теплові насоси: серце енергетичного майбутнього Європи.....	9
1.2 Короткі факти про технології теплових насосів в Європі.....	12
1.3 Інтенсивність викидів парникових газів при виробництві електроенергії в Європі.....	17
1.4 Висновки до розділу 1.....	26
2 МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ДЛЯ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ У СКЛАДІ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....	27
2.1 Аналіз чинників, індексів ефективності схем з тепловими насосами, деталізація структури системи, методики розрахунків.....	27
2.2 Методика досліджень систем енергозабезпечення з тепловими насосами	47
2.3 Математичне програмне забезпечення розрахунків схем з ТНУ	50
2.4 Висновки до розділу 2	51
3 МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ТЕПЛОНАСОСНОЇ УСТАНОВКИ В ТЕПЛОВІЙ СХЕМІ ПАРОВОЇ ПРОМИСЛОВО-ОПАЛЮВАЛЬНОЇ КОТЕЛЬНІ.....	52
3.1 Показники роботи теплової схеми котельні	52
3.2 Результати моделювання роботи теплонасосної установки в тепловій схемі промислово-опалювальної котельні.....	53
3.3 Висновки до розділу 3.....	60
4 МОДЕЛЮВАННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО ВПЛИВУ ВАРІАНТІВ МОДЕРНІЗАЦІЇ ТЕПЛОВОЇ СХЕМИ ПРОМИСЛОВО-ОПАЛЮВАЛЬНОЇ КОТЕЛЬНІ	61
5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	71
ВИСНОВКИ.....	82
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	84

Додаток А (обов'язковий). ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ.....	91
Додаток Б (обов'язковий). ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ.....	92
Додаток В. ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА.....	97

ВСТУП

Актуальність теми. У 2022 році в Україні питання енергоефективності набуло нового значення та стратегічного значення не лише для низьковуглецевого розвитку та надійного енергопостачання, а й безпосередньо для суверенітету та незалежності держави. Актуальним стало питання зменшення залежності від імпорту викопного палива, а енергоефективність стала справжньою невід’ємною складовою енергетичної безпеки. Більше того, для України питання енергоефективності є наскрізним у реконструкції, щоб цей процес був сталим. 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 котельні підприємства «Оболонь-Красилівське» шляхом застосування ефективної когенераційної теплонасосної установки.

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

1. Виконати аналітичний літературний огляд наявної інформації з підвищення енергоефективності від застосування теплонасосних установок.
2. Оцінити чинники, що впливають на ефективність систем енергозабезпечення з тепловими насосами, оцінити індекси ефективності, проаналізувати математичну модель та обрати програмне забезпечення для проведення досліджень з 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 котельні.
4. Виконати оцінку економічних показників обраного варіанту модернізації теплової схеми котельні у разі використання когенераційної теплонасосної установки в схемі котельні.

Об'єктом дослідження є теплова схема промислово-опалювальної парової котельні підприємства «Оболонь-Красилівське», що відпускає теплоту на технологію, опалення та гаряче водопостачання.

Предметом дослідження є способи та засоби з підвищення енергоефективності в тепловій схемі парової промислово-опалювальної 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, покращення економічних показників 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 в тепловій схемі котельні.

Апробація роботи

Основні результати досліджень МКР було представлено та обговорено на Міжнародній науково-практичній конференції.

Публікації результатів МКР. Результати наукових досліджень опубліковані у тезах доповіді Міжнародної науково-технічної конференції [1].

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 89 сторінок. МКР містить ілюстрації, графічні залежності, необхідні креслення.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

1.1 Теплові насоси: серце енергетичного майбутнього Європи

Пріоритети ЕНРА для політики ЄС на 2024-2029 рр.

Майже 50% усієї енергії, споживаної в ЄС, використовується для опалення та охолодження. Більше 70% все ще надходить з викопного палива, яке в основному імпортується.

Теплові насоси пропонують економічно ефективний, чистий спосіб опалення, охолодження, виробництва гарячої води та пари, одночасно сприяючи клімату та європейській економіці. Приблизно в три-п'ять разів енергоефективніші, ніж газові котли, вони можуть скоротити імпорт викопного палива в Європу, споживання енергії та викиди. Разом з реконструкцією будівель теплові насоси також можуть захистити споживачів від непередбачуваних рахунків за електроенергію.

ЄС поставив теплові насоси в центр свого плану досягнення енергетичної безпеки – REPowerEU. Але заохочення швидшого впровадження теплових насосів є більш ніж стратегічним вибором; він закладає основи для більш екологічного, більш стійкого та конкурентоспроможного Європейського Союзу [2].

Щоб скористатися кліматичними та соціально-економічними перевагами всіх типів теплових насосів, законодавці та особи, які приймають рішення ЄС, повинні взяти на себе провідну роль у розробці необхідної політики та фінансових умов для прискорення переходу на чисту енергію. Першим ключовим кроком має стати негайна публікація Плану дій Європейської Комісії щодо теплових насосів.

Цей маніфест визначає ключові пріоритети та завдання для розкриття повного потенціалу теплових насосів у 2024-2029 роках і далі. Він закликає політиків поставити чисте опалення та охолодження в центр енергетичної системи Європи сьогодні для світлого завтра.

Забезпечення послідовної, спрощеної та амбітної довгострокової політики щодо теплових насосів є життєво важливим для залучення як попиту на них, так і інвестицій у виробництво та робочу силу ЄС.

Виробники теплових насосів запланували 7 мільярдів євро інвестицій у європейські заводи, виробництво, дослідження та розробки та навчання з 2022 по 2025 рік. Але останні дані показують, що продажі впали у 2023 році. Попит на теплові насоси та ці мільярдні інвестиції можуть опинитися під загрозою. Вкрай важливо розвивати ринок теплових насосів шляхом постійної відданості технологіям, стабільної політики, рішучих послідовних і перспективних заходів і ринкового середовища, сформованого так, щоб зробити чисті технології найбільш економічно привабливими.

Щоб допомогти збільшити попит, закріпити ці інвестиції та європейське лідерство та робочі місця в цьому ключовому секторі з нульовим чистим виходом, ясність напрямків руху від політичних лідерів, зокрема через План дій теплового насоса, є ключовою. Подібні ініціативи для таких галузей, як вітрова та сонячна енергетика, допомогли цим галузям процвітати. Впроваджувати узгоджене законодавство, як-от пакет «Fit For 55», і надавати вказівки для урядів ЄС, коли вони впроваджують це у власні закони [3].

Зниження вартості теплових насосів робить їх більш привабливими для споживачів і промисловості. У більшості країн початкова вартість теплового насоса набагато вища, ніж вартість котла на викопному паливі. У багатьох країнах експлуатаційні витрати теплових насосів все ще вищі, ніж витрати на котли, що працюють на викопному паливі, незважаючи на те, що теплові насоси в три-п'ять разів енергоефективніші.

Щоб спонукати людей купувати теплові насоси, вони повинні бачити швидку окупність інвестицій. Для цього вартість електроенергії повинна бути не більш ніж удвічі дорожчою за газ. Витрати на електроенергію можна зменшити, якщо відмінити податки та збори від рахунків за електроенергію, запровадити ціноутворення на викиди вуглецю та надати споживачам можливість переходу на нижчий або змінний тариф на електроенергію, якщо вони перейдуть на гнучкі теплові насоси з відновлюваними джерелами енергії.

Крім того, фінансові інструменти, державна підтримка, фінансування приватного сектору та різні бізнес-концепції для зменшення витрат є важливими, щоб

допомогти споживачам понести ці витрати та використовувати енергозберігаючі теплові насоси.

Існує особливо нагальна потреба захистити домогосподарства з низькими доходами від високих цін на енергоносії та підтримати їхній доступ до більш чистих і, зрештою, дешевших рішень для опалення та охолодження, таких як теплові насоси.

Європейський сектор теплових насосів є світовим лідером. Уже сьогодні він забезпечує понад 161 000 безпосередніх робочих місць, з потенціалом для багатьох інших.

Збільшення виробничих і монтажних потужностей є необхідною умовою успіху REPowerEU і Зеленого промислового плану [4].

Сектор теплових насосів нарощує виробництво, щоб досягти та перевершити цілі ЄС, але йому потрібна належна підтримка.

У той же час необхідно підвищити попит, щоб забезпечити довгострокову конкурентоспроможність сектору теплових насосів у Європі, наприклад, за допомогою стабільної політики, згаданої вище.

Необхідно налагодити чистий перехідний діалог між Європейською Комісією та сектором теплових насосів для подальшого посилення його конкурентоспроможності.

Консолідація сектору теплових насосів як ключової галузі з нульовим чистим виходом шляхом розробки промислової стратегії ЄС для теплових насосів та їх компонентів для підтримки виробничих потужностей і європейської конкурентоспроможності

Великі теплові насоси відіграють важливу роль в електрифікації промисловості та інтеграції енергетичних систем. Вже сьогодні вони можуть досягати температури до 200°C, що достатньо для таких галузей, як харчова та паперова промисловість.

Великі теплові насоси є надзвичайно ефективними та можуть забезпечити циркулярність, використовуючи відходи промислових процесів та інших джерел, включаючи стічні води, центри обробки даних і тунелі метро для систем централізованого опалення та охолодження або опалення в промислових процесах на місці. Цей потенціал слід розкрити.

Теплові насоси надзвичайно гнучкі. Їх можна вмикати для опалення, коли витрати на електроенергію нижчі, і вимикати в години пік. Це збалансує мережу та зменшить витрати для енергетичної системи ЄС і для споживачів.

Однак для цього потрібні стимули для зменшення та/або переміщення попиту на електроенергію теплових насосів від піків навантаження на мережу (наприклад, за допомогою динамічних тарифів на електроенергію або прямих пропозицій гнучкості). Оператори електромережі повинні знати про потенціал гнучкості теплових насосів і враховувати це при плануванні мережі [5].

1.2 Короткі факти про технології теплових насосів в Європі

Теплові насоси пропонують різноманітні рішення для опалення, охолодження та виробництва гарячої води для побутових потреб. Теплові насоси використовують відновлювану теплову енергію з повітря, води, землі або стічних вод. Вони застосовують принципи циклічної економії під час відновлення енергії та відпрацьованого тепла.

Теплові насоси — це зріла технологія, готова до використання для переважної більшості житлових і комерційних будівель у Європі, а також для промислових процесів. Теплові насоси підходять для сектору реконструкції та широкого діапазону будівель від пасивних будинків до будівель культурної спадщини.

Промислові та комерційні теплові насоси покращують енергоефективність і сприяють декарбонізації систем централізованого опалення, охолодження та промислових процесів.

Теплові насоси є найефективнішим способом забезпечення опалення та охолодження, навіть паралельно, при одночасному зниженні загальних викидів CO₂. Вони також сприяють покращенню якості повітря в приміщенні та на вулиці.

Теплові насоси також реалізують принцип «ефективність перш за все». Вони розширюють переваги зростання частки декарбонізованої електроенергії в європейському енергетичному балансі та можуть сприяти стабілізації електричних мереж.

Теплові насоси є частиною нових бізнес-моделей і цифрових систем, які сприяють використанню електромобілів, відновлюваної електроенергії та розумної побутової техніки. Вони полегшують інтеграцію сектору та термічне зберігання.

Нові розрахунки Європейської асоціації теплових насосів (ЕНРА) показують, що теплові насоси уникають більших викидів газу та вуглекислого газу в Європі, ніж будь-коли. Незважаючи на це, продажі в першому півріччі 2024 року впали на 47% порівняно з аналогічним періодом минулого року [6].

24 мільйони теплових насосів, які зараз встановлені в Європі, дозволяють уникнути 5,5 мільярдів кубічних метрів газу. Це 1,6% від загального річного споживання газу в ЄС.

Нові дані ЕНРА також показують, що теплові насоси дозволяють уникнути викидів вуглекислого газу в Європі на 45 мегатонн щороку. Це становить приблизно 4,9% від загальних викидів будівель в ЄС – і стільки ж, скільки річний обсяг виробництва Угорщини.

Якщо до 2030 року ЄС досягне своєї амбіції щодо 60 мільйонів встановлених теплових насосів*, вони уникають 112 мегатонн викидів вуглекислого газу та 13,7 мільярдів кубічних метрів газу на рік.

Незважаючи на ці переваги, лише 765 000 теплових насосів було продано в 13 європейських країнах у першій половині 2024 року – на 47% менше, ніж 1,44 мільйона теплових насосів, проданих у тих самих країнах у першій половині 2023 року.

В основному це пов'язано зі зміною національної політики та схем підтримки споживачів та низькими цінами на газ, тоді як ціни на електроенергію знижуються повільніше.

Пол Кенні, генеральний директор Європейської асоціації теплових насосів, сказав: «У викопного палива немає майбутнього – з економічних, геополітичних чи кліматичних міркувань. Як для забезпечення довгострокової конкурентоспроможності Європи, так і для усунення вугілля, нафти та газу в секторі опалення та охолодження, нам потрібно терміново змінити тенденцію до уповільнення ринку теплових насосів».

Найбільше газу вдається економити завдяки встановленню теплового насоса в Люксембурзі, а найменше – на Кіпрі. Що стосується загальних кліматичних переваг теплових насосів, то вони найсильніші в Австрії (див. графік нижче). Це пов'язано з тим, що суміші енергії та електроенергії відрізняються в різних країнах [7].

Окрім свого внеску в декарбонізацію, теплові насоси є важливою частиною європейського лідерства в галузі чистих технологій із сильною та конкурентоспроможною національною промисловістю, яка може похвалитися майже 300 виробничими майданчиками.

Європейська асоціація теплових насосів оприлюднила дані, приурочені до дня відкриття Форуму теплових насосів у 2024 році в Брюсселі.

На рис.1.1 показано обсяг продажів теплових насосів у першій половині 2023 року порівняно з першою половиною 2024 року в 13 країнах Європи.

На рис. 1.2 показані значення економії газу на тепловий насос у кожній країні ЄС у 2024 р.

На рис. 1.3 показані значення уникнення викидів CO₂ на один тепловий насос у кожній країні у 2024 році.

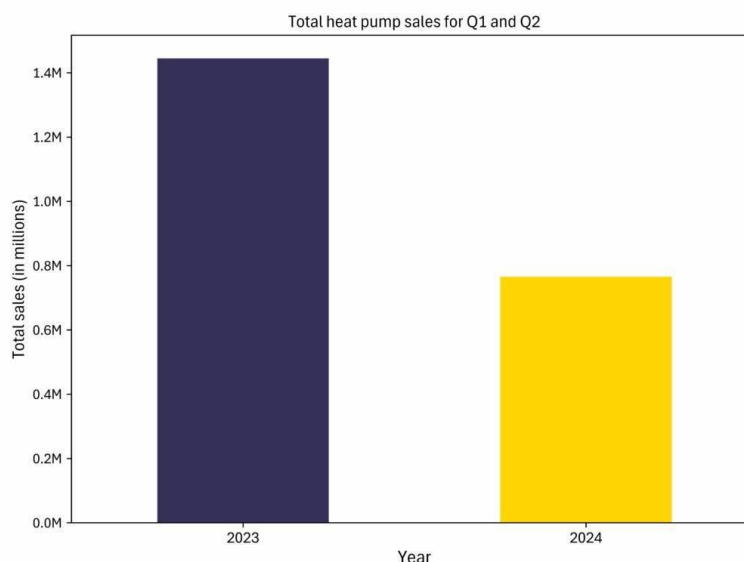


Рисунок 1.1 - Продажі теплових насосів у першій половині 2023 року порівняно з першою половиною 2024 року в 13 країнах Європи. Візуальний матеріал: Європейська асоціація теплових насосів

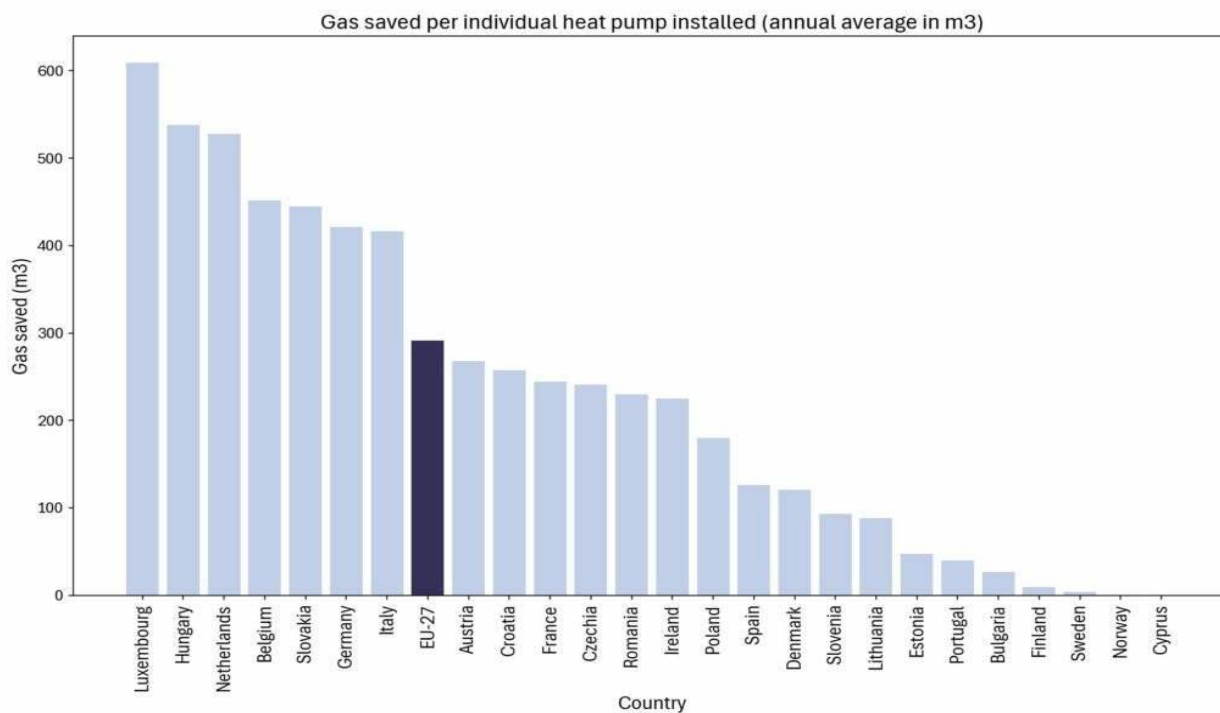


Рисунок 1.2 - Економія газу на тепловий насос у кожній країні у 2024 р.

Зображення: Європейська асоціація теплових насосів

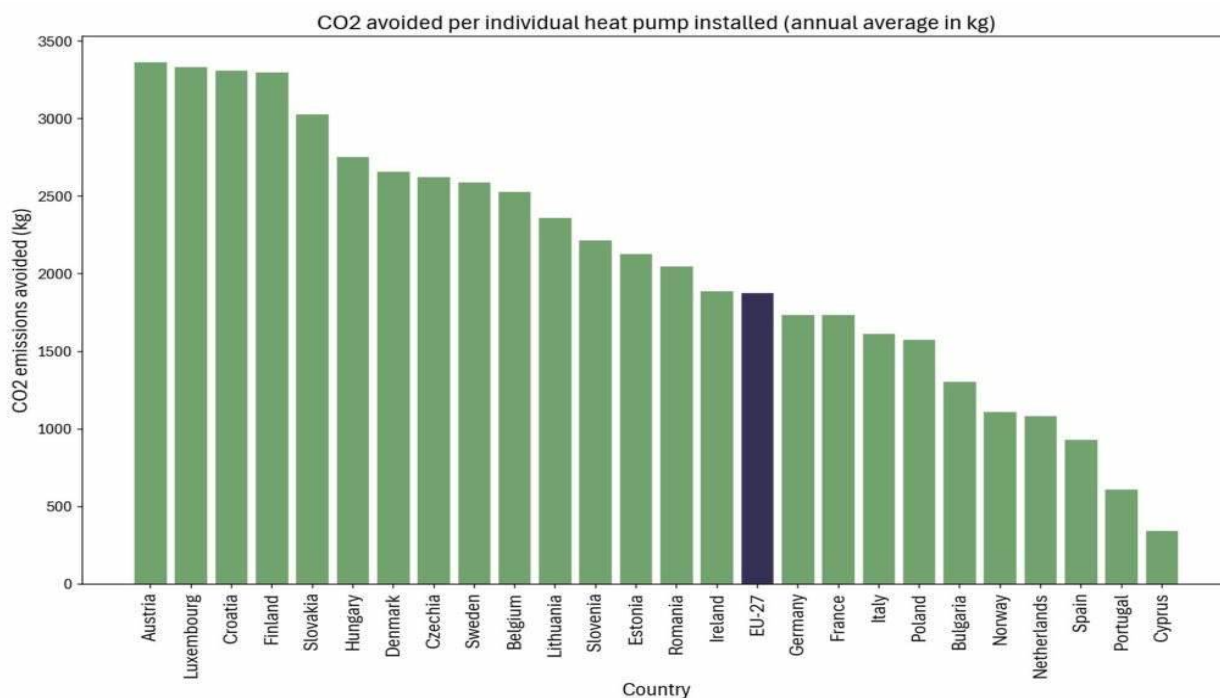


Рисунок 1.3- Уникнення викидів CO2 на один тепловий насос у кожній країні у 2024 році. Зображення: Європейська асоціація теплових насосів

З їх допомогою був створений аналіз впливу заміни існуючої системи опалення тепловим насосом для кожної домогосподарства на основі таких припущень [8]:

- Кількість встановлених теплових насосів відповідає даним про продажі ЕНРА за останні 20 років (за 2023 рік).

- З 2022 року один встановлений тепловий насос замінює нинішній і минулий баланс кінцевого споживання енергії для домогосподарства (комбіноване опалення приміщень і нагрівання води). Включно з існуючим навколишнім теплом з урахуванням коефіцієнта заміщення.

- Набір припущених значень викидів CO₂ для різних типів палива, а також ефективності для того самого набору видів палива з урахуванням переходу між енергією кінцевого споживання та корисною енергією

- CO₂, якого уникають для одного домогосподарства, є різницею між інтенсивністю CO₂ суміші у 2022 році для задоволення середніх потреб в опаленні за вирахуванням інтенсивності CO₂ мережі в країні для живлення теплового насоса на заміну.

- Економія газу розраховується так само, як уникнення CO₂. Додатково враховується газ, який використовується для виробництва електроенергії, яка буде використовуватися тепловим насосом замість суміші ФЕС (використовує газ безпосередньо як спосіб опалення, а також через виробництво електроенергії).

- Продажі від ЕНРА використовуються для заміни кінцевого викиду CO₂ і газу на домогосподарство. Передбачається, що Велика Британія та Швейцарія поділяють середню структуру кінцевого споживання ЄС-27, оскільки записи для цих двох країн недоступні в наборах даних Євростату.

1.3 Інтенсивність викидів парникових газів при виробництві електроенергії в Європі

Інтенсивність викидів парникових газів при виробництві електроенергії в Європейському Союзі повернулася до загальної тенденції зниження, яка спостерігалася за останні десятиліття. Це сталося після незначного збільшення використання викопного палива протягом 2021 та 2022 років, пов'язаного з відновленням після COVID та війною в Україні. За оцінками, виробництво однієї кіловат-години викидає в середньому на 19% менше CO₂ у 2023 році, ніж у 2022 році, і на 35% менше, ніж десять років тому. Політика щодо зміни клімату та енергетичної політики з часом фактично зменшила викиди електроенергії з інтенсивним викидом вуглецю, що призвело до зменшення використання вугілля, збільшення кількості відновлюваних джерел енергії та більш ефективного генерування в ЄС [9].

На рис. 1.4 представлено інтенсивність викидів парникових газів при виробництві електроенергії, рівень ЄС.

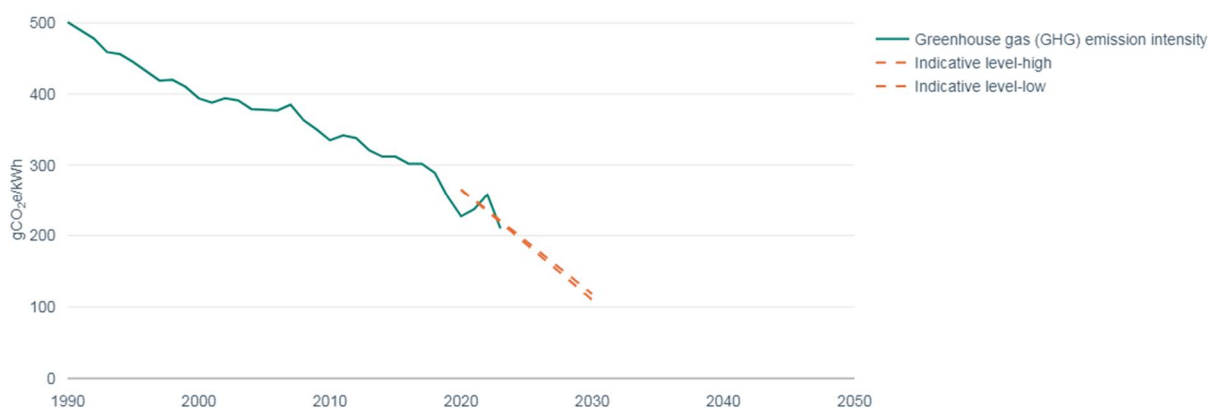


Рисунок 1.4 - Інтенсивність викидів парникових газів при виробництві електроенергії, рівень ЄС

Очікується, що до 2030 року електроенергетичний сектор ЄС зробить один із найбільш значних внесків у пом'якшення наслідків зміни клімату та стане наріжним

каменем для досягнення Союзом чистої кліматичної нейтральності до 2050 року відповідно до сценаріїв, що стоять за спільними цілями. Щоб це сталося, інтенсивність викидів парникових газів (ПГ) у цьому секторі має різко впасти до кінця цього десятиліття.

У 2023 році електроенергетичний сектор ЄС був на 58% менш інтенсивним, ніж у 1990 році, і на 19% менше, ніж у 2022 році. Гідро- та атомна енергетика повернулася до середнього рівня виробництва, сонячна та вітрова енергетика продовжили своє зростання, а виробництво вугілля відновилося. тривалий спад. Виробництво електроенергії зазнало обмеженого скорочення (3%, порівняно з 2022 роком), частково пов'язаного зі зниженням виробництва в окремих промислових секторах ЄС [10].

До 2010 року необхідність дотримання законодавства про промислові викиди, наприклад Директиви про великі спалювальні установки та перехід від викопного палива до відновлюваних джерел електроенергії, призвели до зниження вуглецевої інтенсивності постачання електроенергії в ЄС. Станом на 2010 рік зниження було майже виключно пов'язане з переходом від викопного палива до відновлюваних джерел електроенергії, при цьому ціни на квоти на викиди відповідно до Схеми торгівлі викидами ЄС зросли, особливо з 2019 року.

Щоб скоротити чисті викиди парникових газів ЄС на 55% до 2030 року (порівняно з 1990 роком) і досягти вуглецевої нейтральності до 2050 року, виробництво електроенергії в ЄС має декарбонізувати швидше. На рисунку 1 візуалізовано орієнтовні рівні інтенсивності, які будуть узгоджуватися з кліматичними цілями ЄС [11].

На рис. 1.5 показано інтенсивність викидів парникових газів при виробництві електроенергії, рівень країни.

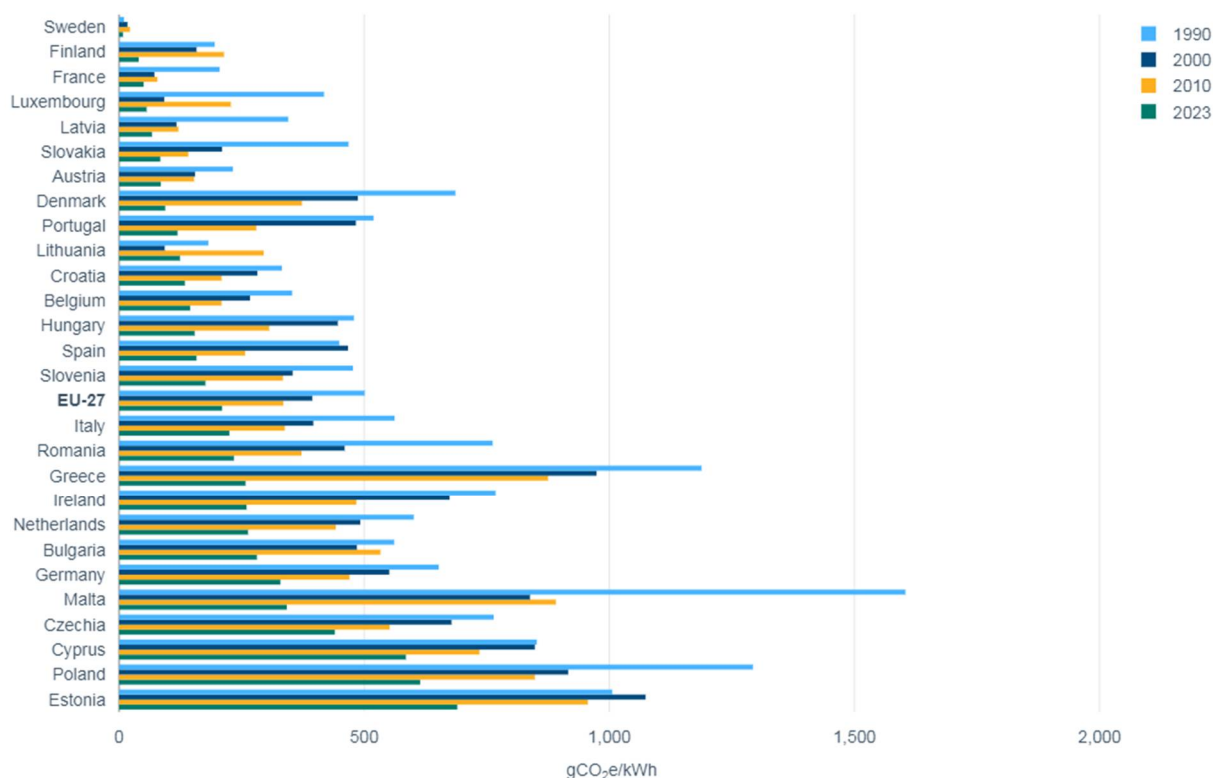


Рисунок 1.5 - Інтенсивність викидів парникових газів при виробництві електроенергії, рівень країни

Сучасний геополітичний контекст також вимагає швидкої декарбонізації, щоб замінити використання газу, вугілля та нафти в енергопостачанні, опаленні та транспорті. Це також сприяло б покращенню енергетичної безпеки та зниженню цін на електроенергію в довгостроковій перспективі. Необхідні додаткові політики та заходи для швидшого розгортання джерел відновлюваної енергії, стимулювання користувачів до економії енергії та активної участі на ринку електроенергії, а також забезпечення оптимізованої побудови електроенергетичної інфраструктури в Європейському Союзі.

Інтенсивність викидів ПГ у виробництві електроенергії суттєво відрізняється між державами-членами. За оцінками, у 2023 році Естонія, Польща, Кіпр і Болгарія мали найвищу інтенсивність викидів вуглецю у виробництві електроенергії. Це

пов'язано з використанням твердого викопного палива, відносно малою кількістю відновлюваних джерел енергії та обмеженими або відсутніми ядерними джерелами в їхніх національних балансах електроенергії.

У восьми додаткових державах-членах інтенсивність викидів вуглецю була вищою, ніж у середньому по ЄС (Чехія, Греція, Німеччина, Мальта, Нідерланди, Ірландія, Італія та Румунія). Проте інтенсивність викидів парникових газів для виробництва електроенергії була найнижчою у Швеції, Люксембурзі та Фінляндії через високу частку джерел електроенергії з низьким вмістом вуглецю (відновлювані джерела енергії та атомна енергетика) [12].

Що стосується національних досягнень, оцінки показують найвищі темпи декарбонізації у виробництві електроенергії за період 1990-2023 років у Люксембурзі (зниження на 87%), Данії (86%), Словаччині (82%) та Латвії (81%). У країнах ЄЗЗ, що не входять до ЄС, вся електроенергія, вироблена в Ісландії, і більша частина виробленої в Норвегії, надходить з відновлюваних джерел, тому їх інтенсивність викидів ПГ дуже низька. Туреччина має відносно високу інтенсивність викидів ПГ при виробництві електроенергії.

Інтенсивність викидів CO₂ розраховується як співвідношення викидів CO₂ від виробництва електроенергії та валового виробництва електроенергії.

Інтенсивність викидів парникових газів у загальному виробництві електроенергії береться як відношення викидів CO₂-еквіваленту від усього виробництва електроенергії (як від виробників основної діяльності, так і від власних виробників) до загального виробництва електроенергії, включаючи електроенергію на атомних станціях і відновлюваних джерелах.

ЄС прагне бути кліматично нейтральним (тобто його економіка матиме нульові викиди парникових газів) до 2050 року. Ця мета лежить в основі Європейської зеленої угоди та відповідає зобов'язанню ЄС щодо глобальних кліматичних заходів згідно з Паризькою угодою. . Декарбонізація постачання електроенергії, наприклад, шляхом істотного прискорення впровадження відновлюваних джерел енергії для досягнення частки майже 70% у виробництві електроенергії до 2030 року та понад 80% до 2050 року, має вирішальне значення для досягнення цієї мети.

У ЄС може залишитися на 15 мільйонів теплових насосів менше, ніж планується до 2030 року. Внесок опалення в кліматичні цілі ЄС до 2030 року буде значно недоотриманий, якщо поточні тенденції продажів теплових насосів збережуться. Це було б ударом по лідерству в чистих технологіях і конкурентоспроможності Європи [13].

Дані з 21 європейської країни, зібрані Європейською асоціацією теплових насосів, показують, що продажі теплових насосів у 2023 році були на 6,5% нижчими, ніж у попередньому році – перше падіння після десяти років щорічного зростання. Через 3,02 мільйона теплових насосів, проданих у 2023 році, загальна кількість встановлених теплових насосів у будівлях Європи досягла 23,96 мільйона – це на 13,7% більше, ніж у 2022 році.

Якщо річний обсяг продажів залишиться на такому рівні (3 мільйони на рік), до 2030 року буде встановлено близько 45 мільйонів теплових насосів, що приблизно на 25% менше від цілей ЄС**. Це еквівалент п'яти років продажу теплових насосів за нинішніми темпами. ЄС втратив би потенційні інвестиції та чисте нульове зростання промисловості. Це також буде втраченою можливістю уникнути викидів близько 70 Мт CO₂, що приблизно відповідає річному викиду CO₂ в Румунії.

На рис. 1. 6 показано зростання ринку теплових насосів.

З понад 250 виробничими підприємствами в Європі, кожен проданий і встановлений тепловий насос є поштовхом для сектору чистих технологій Європи та його конкурентоспроможності. Забезпечення подальшого розвитку сектора допоможе нашій енергетичній незалежності, а також нашому шляху до нульової чистої економіки. Відстрочений план дій щодо використання теплового насоса є важливим інструментом для стабілізації сектора та використання переваг, які він пропонує. Нова Європейська комісія має оприлюднити його швидко.

Heat pump growth at current rates will miss EU 2030 ambition

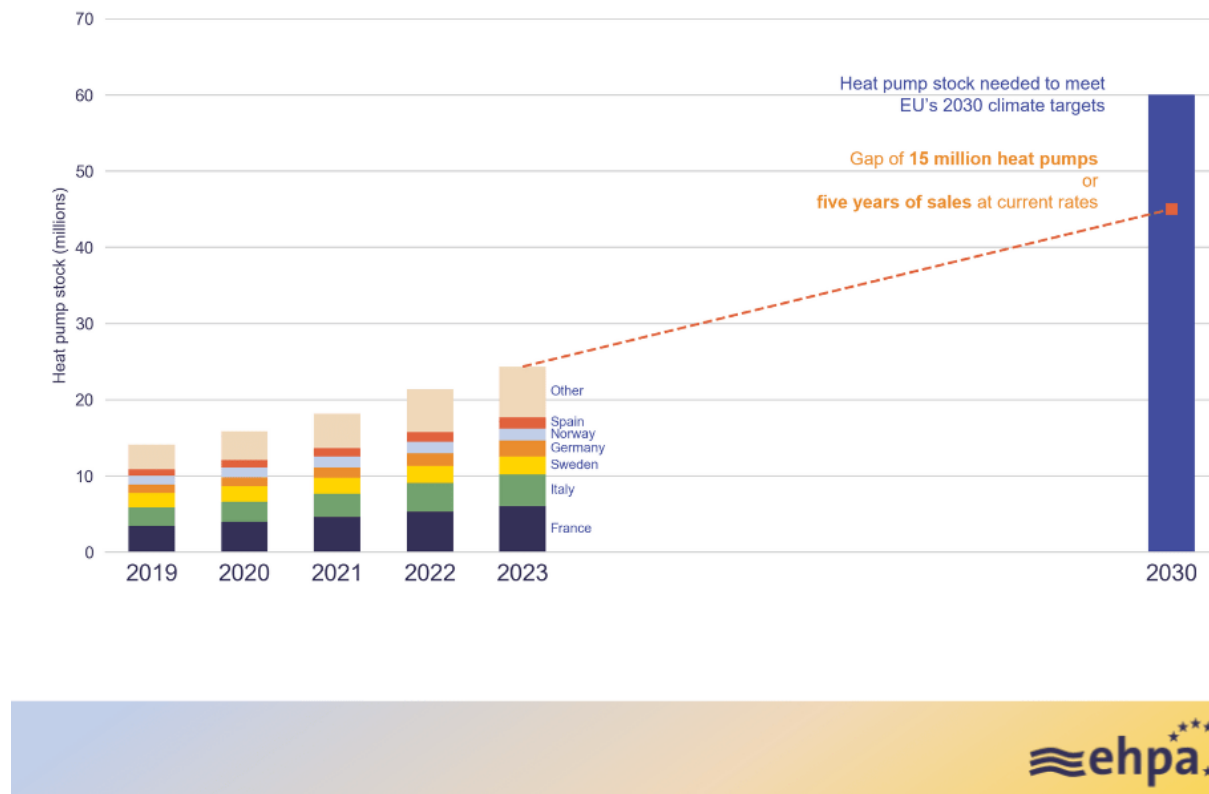


Рисунок 1. 6 – Зростання ринку теплових насосів.

Основними причинами 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. Ще одна ключова причина – ціни на газ стають дешевшими порівняно з електроенергією, де рахунки часто оподатковуються великими податками. Податки та збори потрібно відвести від електроенергії [14]. На рис. 1.7 показано співвідношення вартостей електричної енергії та газу в країнах Європи.

When electricity is more affordable, heat pumps sell more

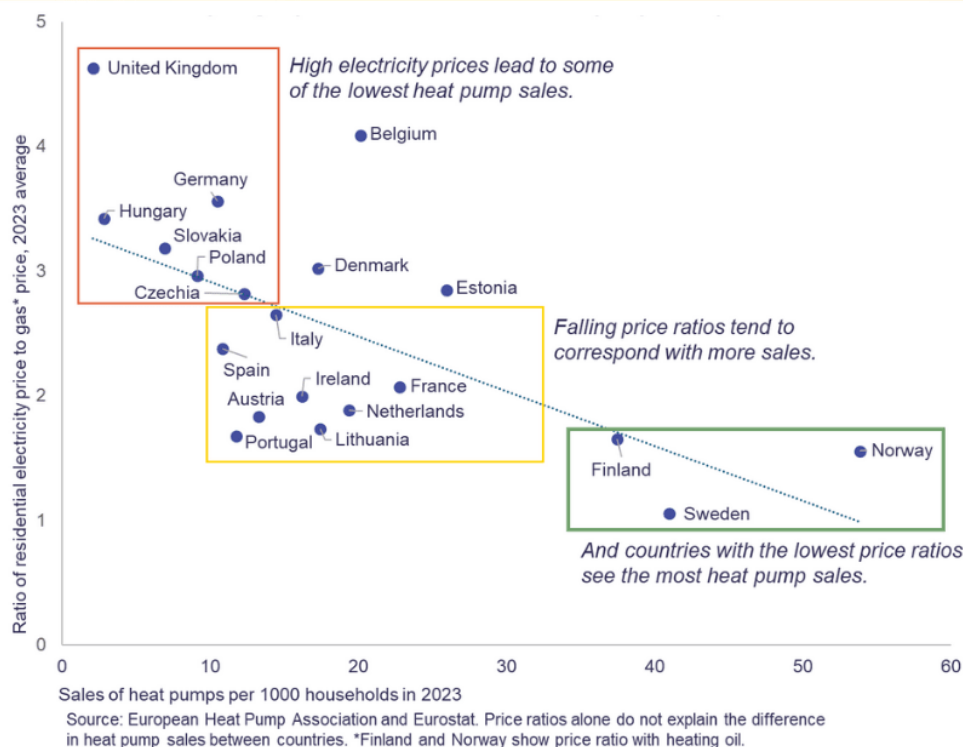


Рисунок 1.7 – Співвідношення вартостей електричної енергії та газу в країнах Європи

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%). Найбільше падіння зазнали Італія (падіння продажів 298 тис. теплових насосів або -44,1%), Фінляндія (-78 тис., -41,9%) і Польща (-78 тис., -38,8%).

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. На іншому кінці знаходиться Угорщина з 12 тепловими насосами на 1000 домогосподарств. Великобританія з 15 і Словаччина з 30 [15]. На рис. 1.8 показано зростання ринку теплових насосів.

2023 national increase in heat pump stock

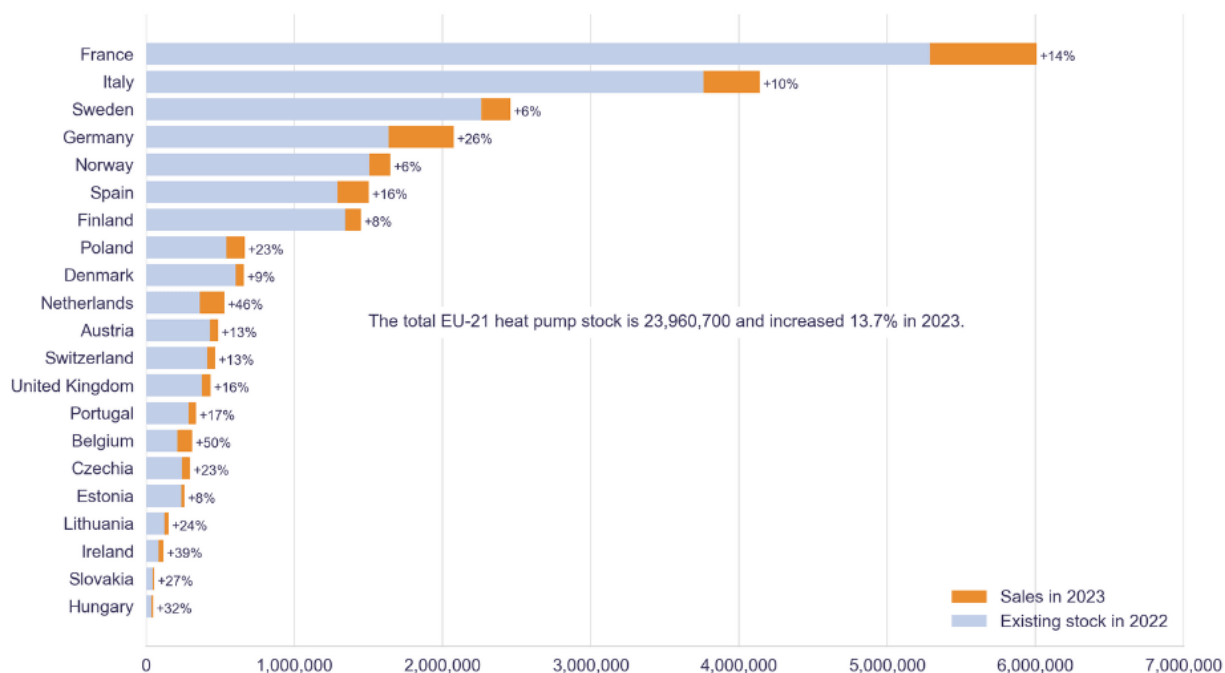


Рисунок 1.8 – Зростання ринку теплових насосів

На рис. 1.9 показані значення кількості теплових насосів на тисячу населення.

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 [16].

Heat pumps per 1,000 households end 2023

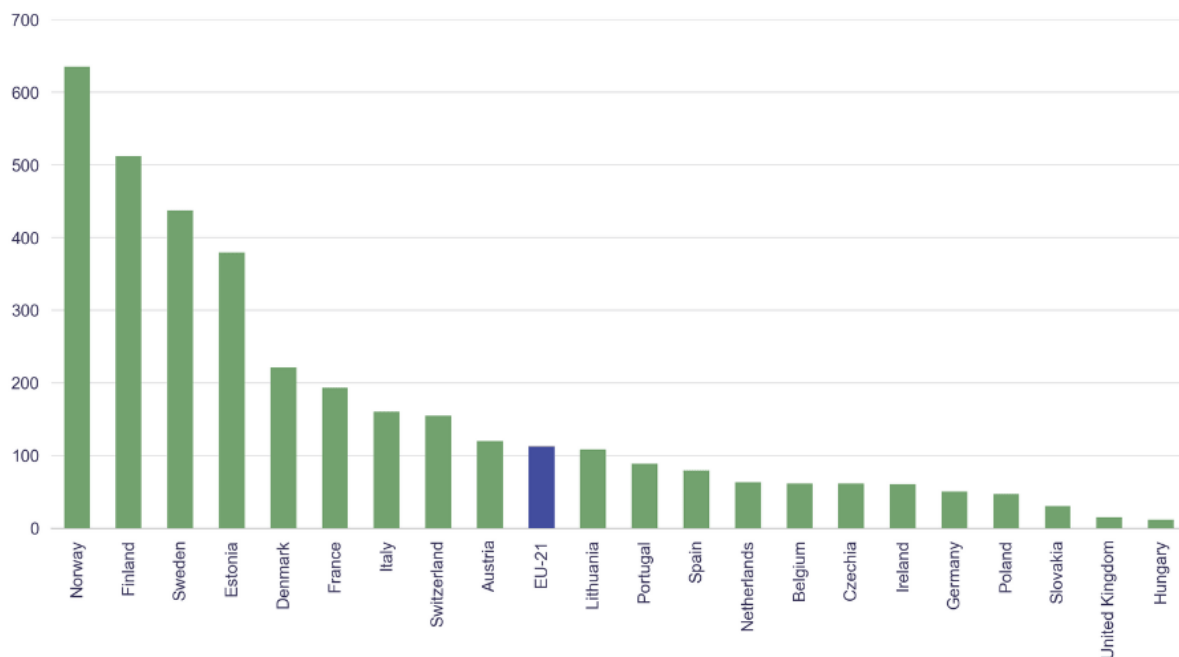


Рисунок 1.9 – Кількість теплових насосів на тисячу населення

ЕНРА оновила свою методологію розрахунку продажів теплових насосів «повітря-повітря», щоб зробити її точнішою. Це означає, що є невеликі зміни в цифрах порівняно з попередніми випусками: ** 21 країна — це 18 членів ЄС, а також Норвегія, Швейцарія та Великобританія; **Цифра 60 мільйонів теплових насосів до 2030 року включена в оцінку впливу Європейської комісії на кліматичну ціль до 2040 року.

1.4 Висновки до розділу 1

У розділі 1 виконаний аналітичний огляд літературної інформації з підвищення енергоефективності шляхом застосування теплонасосних установок. Це дозволило сформулювати мету та завдання магістерської кваліфікаційної роботи.

Основною метою роботи є підвищення енергоефективності теплової схеми котельні підприємства «Оболонь-Красилівське» шляхом застосування ефективної когенераційної теплонасосної установки.

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 МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ У СКЛАДІ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

2.1 Аналіз чинників, індексів ефективності схем з тепловими насосами, деталізація структури системи, методики розрахунків

Представлена нижче інформація зібрана та систематизована з інформаційних джерел в мережі Internet, що були відібрані з використанням ресурсів штучного інтелекту. Подана інформація буде використана для побудови системного підходу до оптимізації схем систем енергозабезпечення з тепловими насосами, проведення комплексної оцінки.

Системи енергозабезпечення, що використовують теплові насоси.

Основні компоненти системи енергозабезпечення з тепловими насосами:

1. Теплові насоси:

- Повітряні
- Ґрунтові
- Водяні
- Гібридні

2. Відновлювані джерела енергії:

- Сонячні панелі
- Вітрогенератори
- Біомаса
- Геотермальна енергія

3. Системи акумулювання:

- Теплові акумулятори
- Акумуляторні батареї
- Льодові акумулятори
- Сезонні акумулятори

4. Система керування:

- Моніторинг енергоспоживання
- Оптимізація режимів
- Балансування навантаження
- Прогнозування потреб

Переваги інтегрованих систем:

1. Енергоефективність:

- Зниження споживання первинної енергії
- Оптимізація режимів роботи
- Використання відновлюваних джерел
- Зменшення втрат

2. Економічність:

- Зниження експлуатаційних витрат
- Оптимізація капітальних вкладень
- Швидка окупність
- Незалежність від цін на енергоносії

3. Екологічність:

- Зменшення викидів CO₂
- Використання природних джерел
- Мінімальний вплив на довкілля

Особливості проектування:

1. Розрахунок енергетичних потреб:

- Опалення
- Охолодження
- Гаряче водопостачання
- Електропостачання

2. Вибір обладнання:

- Потужність теплових насосів

- Ємність акумуляторів
- Потужність додаткових джерел
- Система розподілу

3. Автоматизація:

- Алгоритми керування
- Системи моніторингу
- Захист обладнання
- Оптимізація роботи

Основні критерії ефективності систем енергозабезпечення з тепловими насосами.

Основні групи критеріїв:

1. Енергетична ефективність:

- Коефіцієнт перетворення енергії (COP)
- Сезонний коефіцієнт продуктивності (SCOP)
- Питоме енергоспоживання
- Ефективність тепловикористання
- Втрати енергії в системі

2. Економічна ефективність:

- Капітальні витрати
- Експлуатаційні витрати
- Термін окупності
- Чиста приведена вартість (NPV)
- Внутрішня норма прибутку (IRR)

3. Екологічна ефективність:

- Скорочення викидів CO₂
- Використання відновлюваних джерел
- Вплив на навколишнє середовище
- Утилізація обладнання
- Використання екологічних холодоагентів

4. Експлуатаційна ефективність:

- Надійність системи
- Простота обслуговування
- Ремонтопридатність
- Автоматизація роботи
- Можливість модернізації

Методи оцінки ефективності:

1. Енергетичний аналіз:

- Розрахунок теплових балансів
- Визначення енергетичних потоків
- Аналіз втрат енергії
- Оцінка ефективності перетворення

2. Економічний аналіз:

- Розрахунок життєвого циклу
- Аналіз витрат і вигод
- Оцінка ризиків
- Порівняння альтернатив

3. Екологічна оцінка:

- Розрахунок вуглецевого сліду
- Оцінка впливу на довкілля
- Аналіз життєвого циклу
- Відповідність екологічним нормам

Рекомендації щодо підвищення ефективності:

1. Оптимізація роботи:

- Налаштування режимів
- Балансування системи
- Контроль параметрів
- Своєчасне обслуговування

2. Модернізація системи:

- Впровадження нових технологій
- Покращення автоматизації
- Оптимізація схем
- Підвищення надійності

3. Економічні заходи:

- Використання пільгових тарифів
- Оптимізація витрат
- Пошук додаткових джерел фінансування
- Участь у програмах підтримки

Аспекти екологічної ефективності систем з тепловими насосами.

Основні складові екологічної ефективності:

1. Прямий вплив на довкілля:

- Використання екологічних холодоагентів
- Мінімізація витоків холодоагенту
- Зниження шумового забруднення
- Вплив на ґрунтові води
- Тепловий вплив на ґрунт

2. Непрямий вплив:

- Скорочення викидів CO₂
- Зменшення споживання викопного палива
- Використання відновлюваних джерел
- Енергоефективність системи
- Оптимізація енергоспоживання

3. Аналіз життєвого циклу:

- Екологічність виробництва
- Ефективність експлуатації
- Можливість переробки

- Утилізація компонентів
- Вторинне використання матеріалів

Критерії оцінки екологічної ефективності:

1. Холодоагенти:

- Потенціал глобального потепління (GWP)
- Озоноруйнівний потенціал (ODP)
- Токсичність
- Горючість
- Термін служби в атмосфері

2. Енергетичні показники:

- Коефіцієнт перетворення енергії
- Сезонна ефективність
- Споживання первинної енергії
- Частка відновлюваної енергії
- Енергетичний баланс системи

Рекомендації щодо підвищення екологічної ефективності:

1. Вибір обладнання:

- Сучасні екологічні холодоагенти
- Високоефективні компоненти
- Якісна теплоізоляція
- Надійні ущільнення
- Системи моніторингу витоків

2. Експлуатація:

- Регулярне обслуговування
- Контроль витоків
- Оптимізація режимів
- Своєчасна заміна компонентів
- Утилізація відпрацьованих матеріалів

3. Інтеграція відновлюваних джерел:

- Сонячні колектори
- Фотоелектричні панелі
- Геотермальні джерела
- Біомаса
- Акумуляування енергії

Перспективні напрямки розвитку:

1. Нові технології:

- Природні холодоагенти
- Інноваційні теплообмінники
- Розумні системи керування
- Гібридні системи
- Технології рекуперації

2. Вдосконалення конструкції:

- Герметичність систем
- Зниження шуму
- Підвищення ефективності
- Спрощення обслуговування
- Можливість модернізації

Комплексна оцінка еколого-економічної ефективності систем з тепловими насосами.

Основні компоненти оцінки:

1. Економічні показники:

- Капітальні інвестиції
- Експлуатаційні витрати
- Вартість енергоресурсів
- Витрати на обслуговування
- Термін окупності

2. Екологічні показники:

- Обсяг скорочення викидів CO₂
- Використання відновлюваних джерел
- Вплив на навколишнє середовище
- Енергоефективність
- Екологічна безпека

3. Інтегральні показники:

- Вартість скорочення викидів
- Питомі екологічні витрати
- Енергетична ефективність
- Соціальний ефект
- Комплексний вплив

Методи оцінки ефективності:

1. Економічний аналіз:

- Розрахунок NPV проекту
- Аналіз життєвого циклу
- Оцінка ризиків
- Порівняння альтернатив
- ROI аналіз

2. Екологічна оцінка:

- Розрахунок вуглецевого сліду
- Оцінка впливу на довкілля
- Енергетичний аналіз
- Ресурсний аналіз
- Відповідність нормам

Фактори впливу:

1. Зовнішні:

- Державна політика

- Екологічні стандарти
- Ринкові умови
- Технологічний розвиток
- Кліматичні умови

2. Внутрішні:

- Технічні характеристики
- Режими експлуатації
- Якість обслуговування
- Система управління
- Кваліфікація персоналу

Рекомендації щодо підвищення ефективності:

1. Технічні заходи:

- Оптимізація конструкції
- Підвищення COP
- Зниження втрат
- Автоматизація
- Моніторинг параметрів

2. Організаційні заходи:

- Планування режимів роботи
- Регулярне обслуговування
- Навчання персоналу
- Контроль якості
- Оптимізація витрат

3. Економічні механізми:

- Використання пільг
- Участь у програмах підтримки
- Оптимізація тарифів
- Страхування ризиків
- Залучення інвестицій

Методи оцінки та підвищення еколого-економічної ефективності.

Детальні методи оцінки:

1. Економічні методи аналізу:

- Чиста приведена вартість (NPV)
- Внутрішня норма прибутку (IRR)
- Період окупності (PBP)
- Аналіз чутливості
- Оцінка ризиків проекту

2. Екологічні методи оцінки:

- Розрахунок карбонового сліду
- Оцінка життєвого циклу (LCA)
- Аналіз енергоефективності
- Оцінка впливу на екосистеми
- Розрахунок екологічних ризиків

3. Інтегральні методи:

- Багатокритеріальний аналіз
- Еколого-економічний баланс
- Оцінка сталого розвитку
- Соціально-екологічний аналіз
- Комплексна оцінка впливу

Конкретні заходи підвищення ефективності:

1. Технічна оптимізація:

- Впровадження частотного регулювання
- Використання вискооефективних теплообмінників
- Оптимізація холодильного циклу
- Покращення теплоізоляції
- Впровадження рекуперації тепла

2. Організаційні заходи:

- Розробка оптимальних режимів роботи
- Впровадження системи енергоменеджменту
- Навчання персоналу
- Регулярний моніторинг параметрів
- Планове обслуговування

3. Економічні механізми:

- Участь у програмах енергоефективності
- Отримання "зелених" сертифікатів
- Торгівля квотами на викиди
- Використання пільгових тарифів
- Залучення грантового фінансування

Інструменти моніторингу ефективності:

1. Технічний моніторинг:

- Контроль параметрів роботи
- Аналіз енергоспоживання
- Оцінка технічного стану
- Діагностика несправностей
- Прогнозування відмов

2. Економічний моніторинг:

- Облік витрат
- Аналіз тарифів
- Оцінка окупності
- Контроль інвестицій
- Аналіз ефективності заходів

3. Екологічний моніторинг:

- Контроль викидів
- Оцінка впливу на довкілля
- Аналіз використання ресурсів

- Моніторинг відходів
- Оцінка екологічних ризиків

Методики оцінки та заходи підвищення еколого-економічної ефективності теплових насосів.

1. Методи економічного аналізу:

а) Розрахунок NPV (Net Present Value):

- Визначення грошових потоків
- Врахування ставки дисконтування
- Оцінка терміну експлуатації
- Розрахунок приведених витрат
- Аналіз чутливості показника

б) Розрахунок LCOE (Levelized Cost of Energy):

- Капітальні витрати
- Експлуатаційні витрати
- Вартість енергоресурсів
- Прогноз тарифів
- Термін служби обладнання

2. Методи екологічного аналізу:

а) Оцінка життєвого циклу (LCA):

- Виробництво обладнання
- Монтаж системи
- Експлуатація
- Утилізація
- Вторинна переробка

б) Розрахунок скорочення викидів:

- Прямі викиди CO₂
- Непрямі викиди
- Еквівалент CO₂
- Порівняння з альтернативами

- Прогноз скорочення викидів

3. Заходи підвищення ефективності:

а) Технічна оптимізація:

- Впровадження теплових акумуляторів
- Оптимізація температурних режимів
- Модернізація теплообмінників
- Вдосконалення автоматики
- Зниження теплових втрат

б) Економічні механізми:

- Участь у програмах підтримки
- Використання зелених тарифів
- Торгівля квотами на викиди
- Податкові пільги
- Екологічні субсидії

4. Моніторинг та контроль:

а) Система моніторингу:

- Контроль параметрів роботи
- Облік енергоспоживання
- Аналіз ефективності
- Прогнозування відмов
- Оптимізація режимів

б) Оцінка результатів:

- Аналіз досягнутих показників
- Порівняння з плановими значеннями
- Коригування заходів
- Оцінка економії
- Розрахунок екологічного ефекту

Методики розрахунку та оцінки ефективності теплових насосів.

Детальні методики розрахунку:

1. Розрахунок енергетичної ефективності:

а) COP (Coefficient of Performance): $COP = Q/W$,

де: Q - теплова енергія, що виробляється

W - споживана електрична енергія

б) SCOP (Seasonal COP): $SCOP = \Sigma(Q_i)/(\Sigma(W_i))$,

де: Q_i - теплова енергія за період i

W_i - електроенергія за період i

2. Економічний розрахунок:

а) NPV (Net Present Value): $NPV = -I_0 + \Sigma(CF_t/(1+r)^t)$,

де: I_0 - початкові інвестиції

CF_t - грошовий потік за період t

r - ставка дисконтування

б) IRR (Internal Rate of Return): $0 = -I_0 + \Sigma(CF_t/(1+IRR)^t)$

3. Екологічний ефект:

а) Скорочення викидів CO₂: $\Delta CO_2 = E \times (EF1 - EF2)$

де: E - обсяг виробленої енергії

EF1 - фактор емісії базової системи

EF2 - фактор емісії теплового насоса

4. Комплексна оцінка:

а) Інтегральний показник ефективності: $K_{int} = \alpha \times K_e + \beta \times K_{ec} + \gamma \times K_{en}$

де: K_e - енергетичний показник

K_{ec} - екологічний показник

K_{en} - економічний показник

α, β, γ - вагові коефіцієнти

5. Оцінка життєвого циклу: $LCC = I_0 + \sum (OC_t + MC_t + EC_t) / (1+r)^t$

де: OC_t - операційні витрати

MC_t - витрати на обслуговування

EC_t - екологічні витрати

На рис. 2.1 – 2.6 наведені блок-схеми аналізу та оптимізації систем енергозабезпечення з тепловими насосами, побудовані на основі інформаційного пошуку та аналізу інформації.

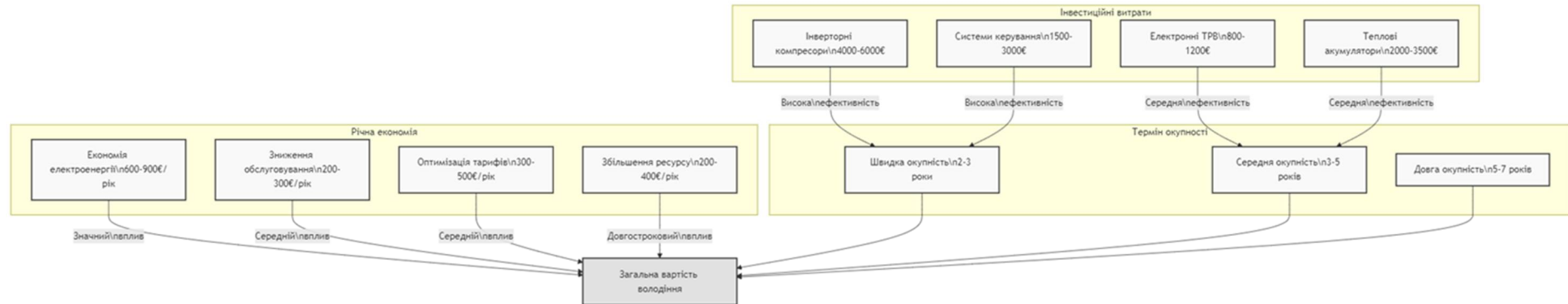


Рисунок 2.1 - Блок-схема аналізу та оптимізації систем енергозабезпечення з тепловими насосами за економічними критеріями

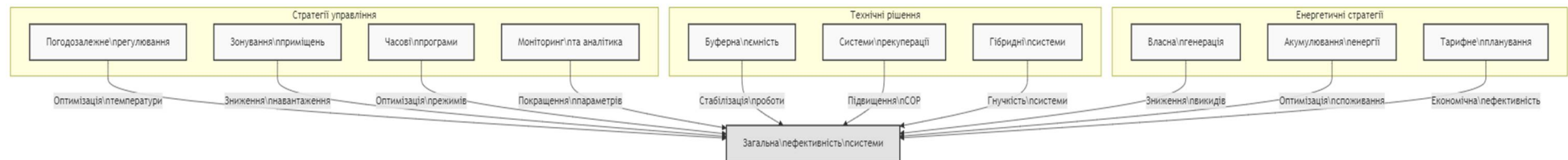


Рисунок 2.2 - Блок-схема формування загальної ефективності систем енергозабезпечення з тепловими насосами

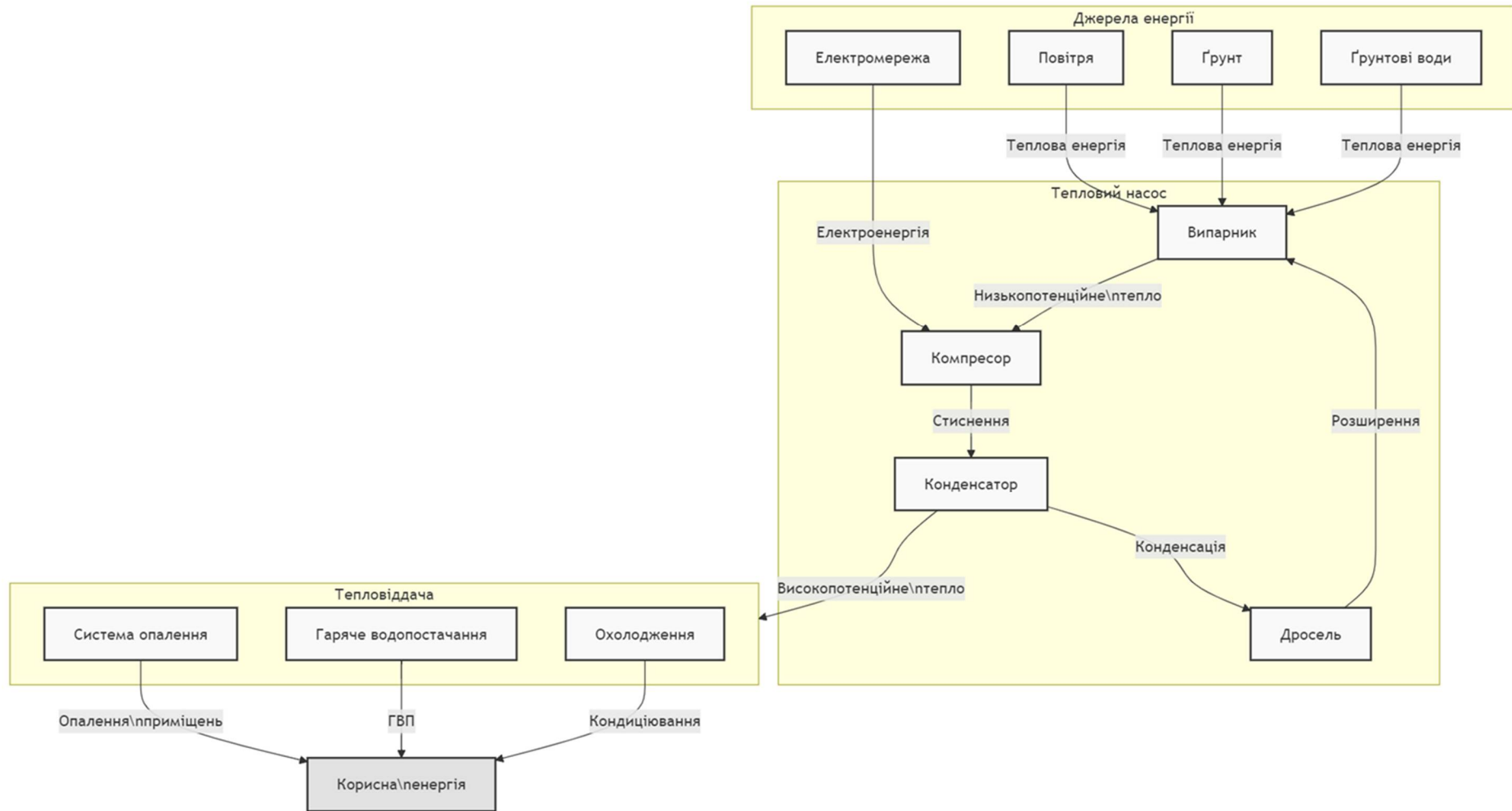


Рисунок 2.3 - Блок-схема аналізу та оптимізації теплового насосу в системі енергозабезпечення

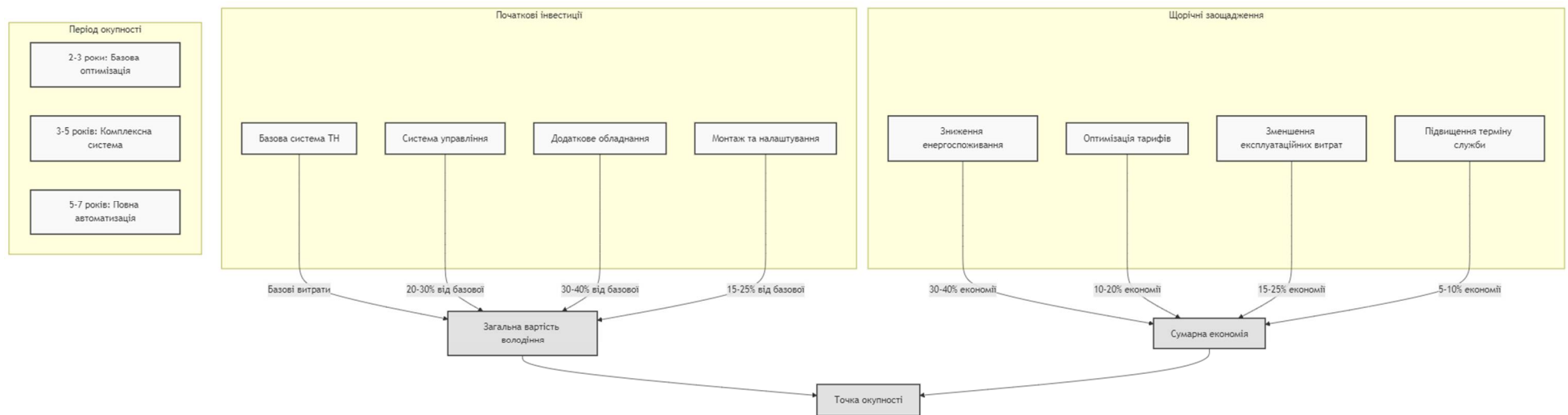


Рисунок 2.4 - Блок-схема аналізу та економічної оптимізації систем енергозабезпечення з тепловими насосами

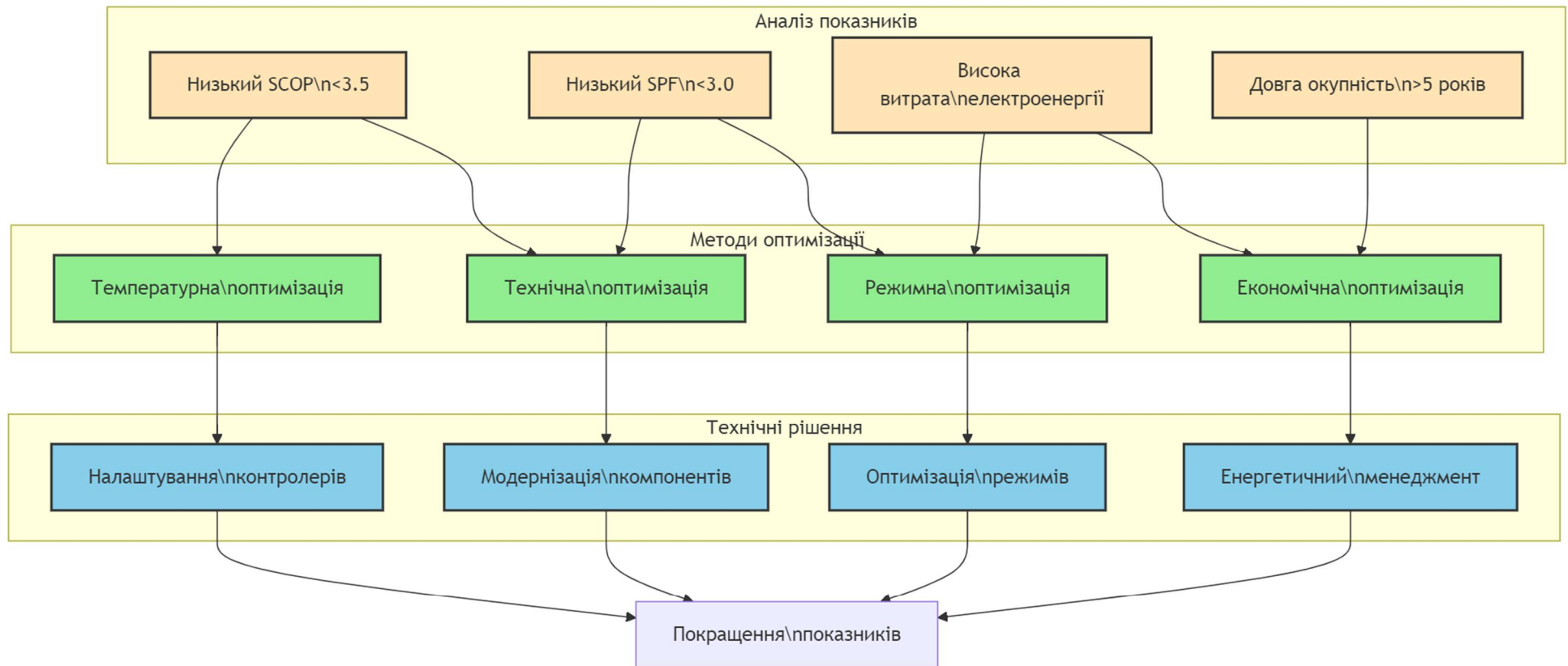


Рисунок 2.5 - Блок-схема аналізу та комплексної оптимізації систем енергозабезпечення з тепловими насосами

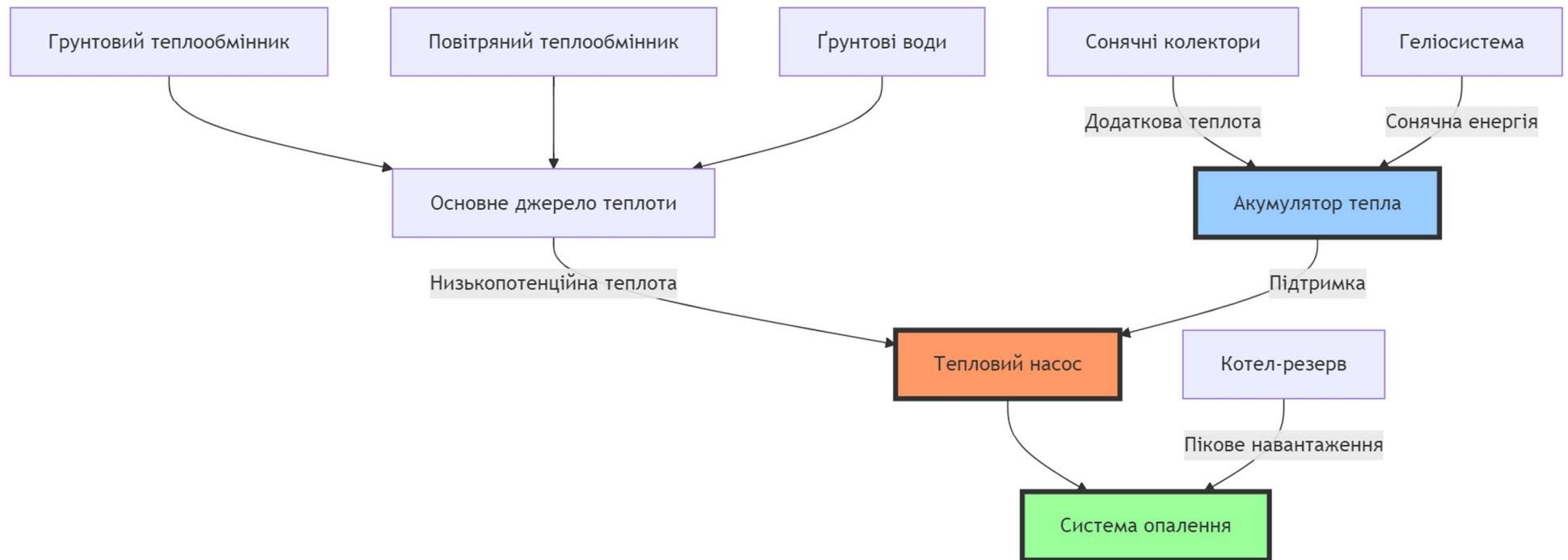


Рисунок 2.6 - Блок-схема аналізу та оптимізації технологічних схем систем енергозабезпечення з тепловими насосами

2.2 Методика досліджень систем енергозабезпечення з тепловими насосами

Методика досліджень систем енергозабезпечення з тепловими насосами (ТН) складена на базі наукових та методологічних основ, запропонованих для комплексного оцінювання ефективності теплових схем котельних з теплонасосними установками (ТНУ), що розроблені науковим керівником МКР та опубліковані в низці вітчизняних та закордонних публікацій [17 – 27].

Схема парокомпресійної теплонасосної установки (ТНУ) з основними позначеннями показана на рис. 2.7, а зображення її циклу ТНУ на T-s і P-h діаграмах показано на рис. 2.8 і 2.9, відповідно до інформації з джерел [28-30].

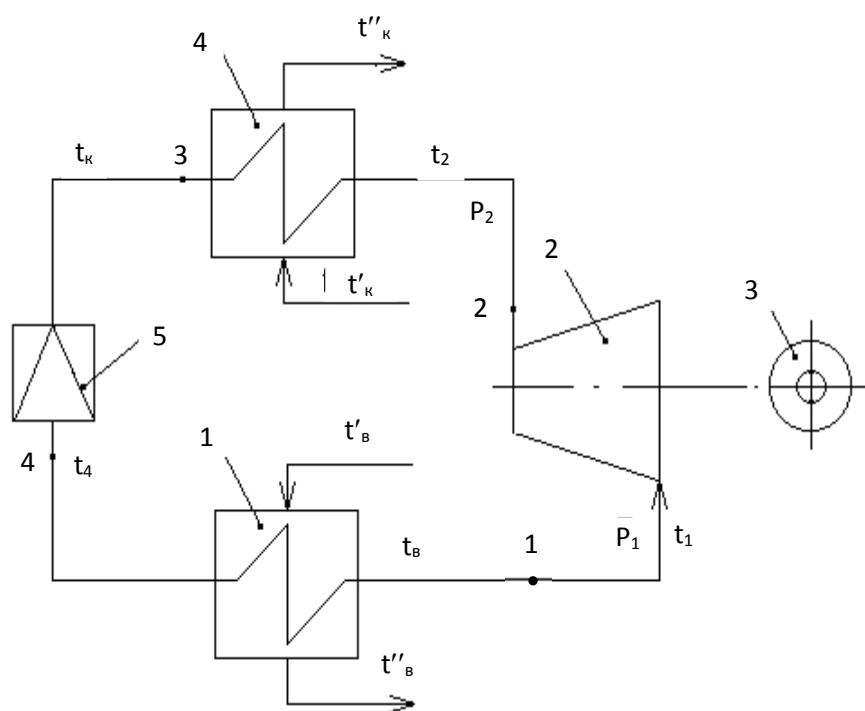


Рисунок 2.7 – Схема парокомпресійної ТНУ: 1 – випарник; 2 – компресор; 3 – електродвигун; 4 – конденсатор; 5 – лопель

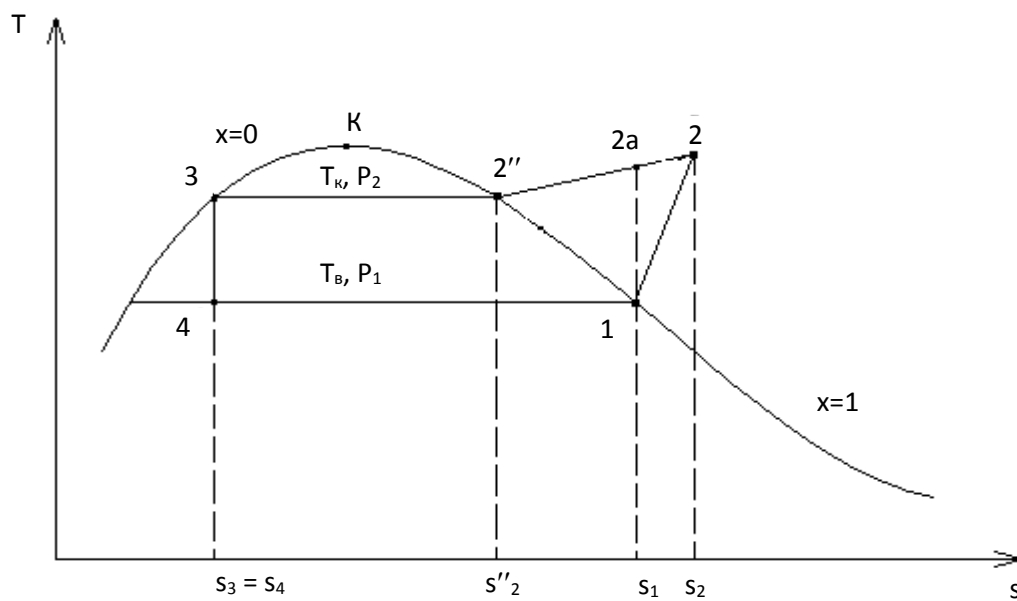


Рисунок 2.8 – Цикл парокомпресійної ТНУ на T-s діаграмі

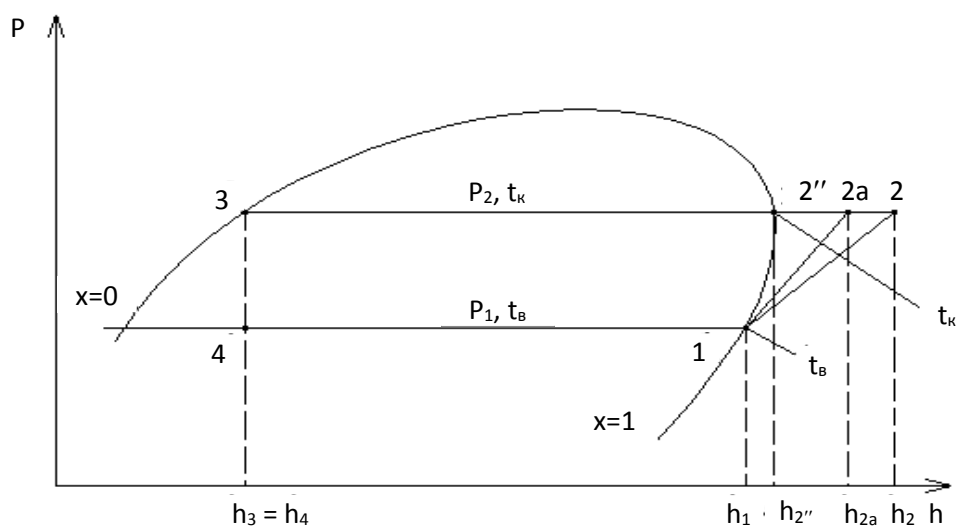


Рисунок 2.9 – Цикл парокомпресійної ТНУ на lg P-h діаграмі

Аналіз початкових параметрів.

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

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

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

$$l_{\text{KM}} + q_{\text{B}} = q_{\text{K}} = q_{\text{THY}},$$

або

$$\frac{l_{\text{KMO}}}{\eta_{\text{oi}}^{\text{KM}}} + q_{\text{B}} = q_{\text{K}} = q_{\text{THY}}, \quad (2.5)$$

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

2.3 Математичне програмне забезпечення розрахунків схем з ТНУ

Математичний опис енергетичних потоків в ТНУ закладений у математичну модель для досліджень ефективності ТНУ в програмних продуктах.

Моделювання та дослідження показників енергоефективності ТН здійснювалось за допомогою програми HP FAT Calculator Programme-2023 [31], розробленої Датським Технологічним Інститутом.

HP FAT Calculator Programme-2023 (Heat Pump First Assessment Tool) базується на комерційному програмному пакеті Engineering Equation Solver (EES) та математичному описі ТН. EES пропонує розв'язування систем лінійних та нелінійних рівнянь, в ньому закладені спеціалізовані функції, рівняння з термодинаміки та теплопередачі. EES дозволяє оцінювати термодинамічні властивості, виконувати ітераційне розв'язання, полегшує визначення термодинамічних властивостей холодоагенту з використанням вбудованих функцій.

Пакет EES застосовується для оптимізації, дозволяє оптимізувати (мінімізувати або максимізувати) вибрану змінну.

EES розроблено компанією F-Chart Software [32].

Програма HP FAT виконує оцінку ефективності застосування теплового насоса, оцінює прості фінансові показники.

Екологічний вплив обраних варіантів модернізації було оцінено в програмі компанії Treeze Ltd, що створена для оцінки життєвого циклу [33]. Використано програми-калькулятори компанії Treeze Ltd для оцінки екологічного впливу ТН та різних альтернативних джерел генерування теплової та електричної енергії [34-35].

В цій програмі екологічний вплив варіантів оцінюється за Швейцарською методикою «Точка впливу на навколишнє середовище 2021» (оновлена версія). Програма-калькулятор компанії Treeze Ltd для оцінки ТН оцінює вплив джерела низькотемпературної теплоти, значення коефіцієнта перетворення ТН (загального та локального), враховує тип будівлі та пропонує структуру спожитої електроенергії (альтернативний варіант, мережева чи з відновлюваних джерел). Результати моделювання оцінюють екологічний вплив певного ТН та його режиму роботи, виду електричної енергії.

2.4 Висновки до розділу 2

В розділі 2 наведено методологічні основи для моделювання теплових схем котельних з тепловими насосами, виконаний Аналіз чинників, індексів ефективності схем з тепловими насосами, деталізація структури системи, методики розрахунків, наведена характеристика математичного та програмного забезпечення.

3 МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ТЕПЛОНАСОСНОЇ УСТАНОВКИ В ТЕПЛОВІЙ СХЕМІ ПАРОВОЇ ПРОМИСЛОВО-ОПАЛЮВАЛЬНОЇ КОТЕЛЬНІ

3.1 Показники роботи теплової схеми котельні

В МКР розглядається схема парової промислово-опалювальної котельні при закритій системі теплопостачання. Котельня призначена для виробництва водяної пари для промислового споживання та теплопостачання системи опалення та гарячого водопостачання офісів та цехів. В котельні встановлені два котла LOOS UL-S-IE 8000 та LOOS UL-S-IE 6000 (резервний), які працюють на природному газі.

Паровидатність $D = 8 \text{ (т/год)} = 2,22 \text{ (кг/с)}$.

Температура живильної води $t_{\text{жв}} = 90 \text{ (}^\circ\text{C)}$.

Частка безперервної продувки $p = 0,68 \text{ (}\%)$.

Коефіцієнт корисної дії котла $\eta_{\text{н}}^{\text{к}} = 95,4$.

Теплота згоряння палива $Q_{\text{н}}^{\text{р}} = 34186 \text{ (кДж/ м}^3\text{)}$.

Паливо – природний газ.

Початкові дані до розрахунку теплової схеми:

- відпуск пари на потреби гарячого водопостачання $D_{\text{гвп}} = 0,056 \text{ (кг/с)}$;
- відпуск пари на технологію $D_{\text{т}} = 1,194 \text{ (кг/с)}$;
- відпуск пари на опалення $D_{\text{оп}} = 0,739 \text{ (кг/с)}$;
- сумарний відпуск пари $D_0 = 2,024 \text{ (кг/с)}$;
- повернення конденсату від гарячого водопостачання $\alpha_{\text{гвп}} = 95 \text{ (}\%)$;
- повернення конденсату від технології $\alpha_{\text{т}} = 90 \text{ (}\%)$;
- повернення конденсату від споживачів опалення $\alpha_{\text{оп}} = 95 \text{ (}\%)$;
- температура конденсату від технології та споживачів $t_{\text{к}} = 80 \text{ (}^\circ\text{C)}$;
- температура додаткової води $t_{\text{дв}} = 5\text{-}20 \text{ (}^\circ\text{C)}$;
- витрата пари на власні потреби $\alpha_{\text{вп}} = 3,5 \text{ (}\%)$.

Показники роботи теплової схеми існуючої котельні показані в таблиці 3.1. Розрахунок теплової схеми проведений за методикою з [36].

Таблиця 3.1- Показники роботи теплової схеми котельні

Назва показника	Розрахункові режими		
	I сезон	II сезон	III сезон
Теплова потужність котельні Q_k , МВт	4,87	4,704	3,08
Витрата умовного палива на котли V_y , кг/с	0,174	0,168	0,11
Витрата робочого палива на котли V_p , м ³ /с	0,149	0,144	0,094
ККД котельні η_k	0,947	0,948	0,941

Визначено показники роботи котельні для трьох періодів для базового варіанту, отримані дані будуть використовуватися для порівняння та аналізу ефективності роботи теплової схеми котельні з ТНУ

3.2 Результати моделювання роботи теплонасосної установки в тепловій схемі промислово-опалювальної котельні

Початкові дані для виконання досліджень показників ефективності парокомпресійних ТНУ з використанням математичної моделі ТНУ визначені у [28-30]. Математичний опис систем з ТН закладений у математичні моделі досліджень ТНУ у рекомендованих та широко застосовуваних програмних продуктах.

Моделювання роботи теплових насосів здійснювалось в програмі HP FAT Calculator Programme-2023 [31] (що є розробкою Датського Технологічного Інституту).

На рис. 3.1 – 3.3 проілюстровано результати моделювання в програмі HP FAT для чотирьох режимів (сезонів) 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 для першого сезону у відповідності з режимними параметрами теплової схеми котельні.

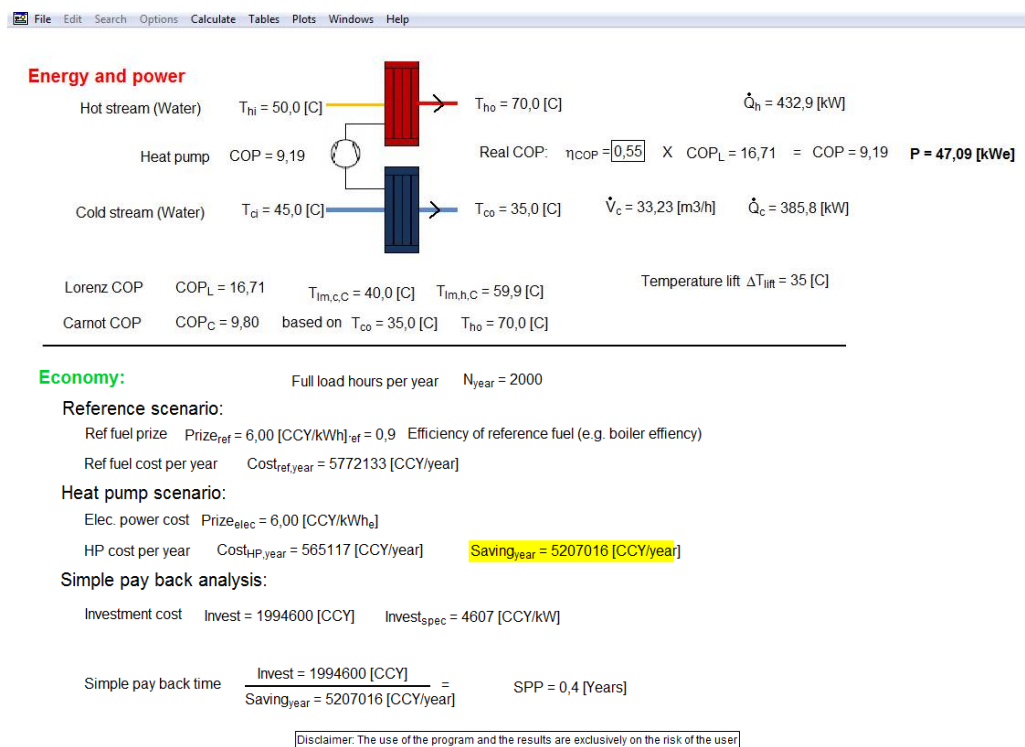


Рисунок 3.1 - Результати моделювання в програмі HP FAT роботи теплового насосу для першого сезону у відповідності з режимними параметрами теплової схеми котельні

На рис. 3.2 наведені результати моделювання в програмі HP FAT роботи теплового насосу для другого сезону у відповідності з режимними параметрами теплової схеми котельні.

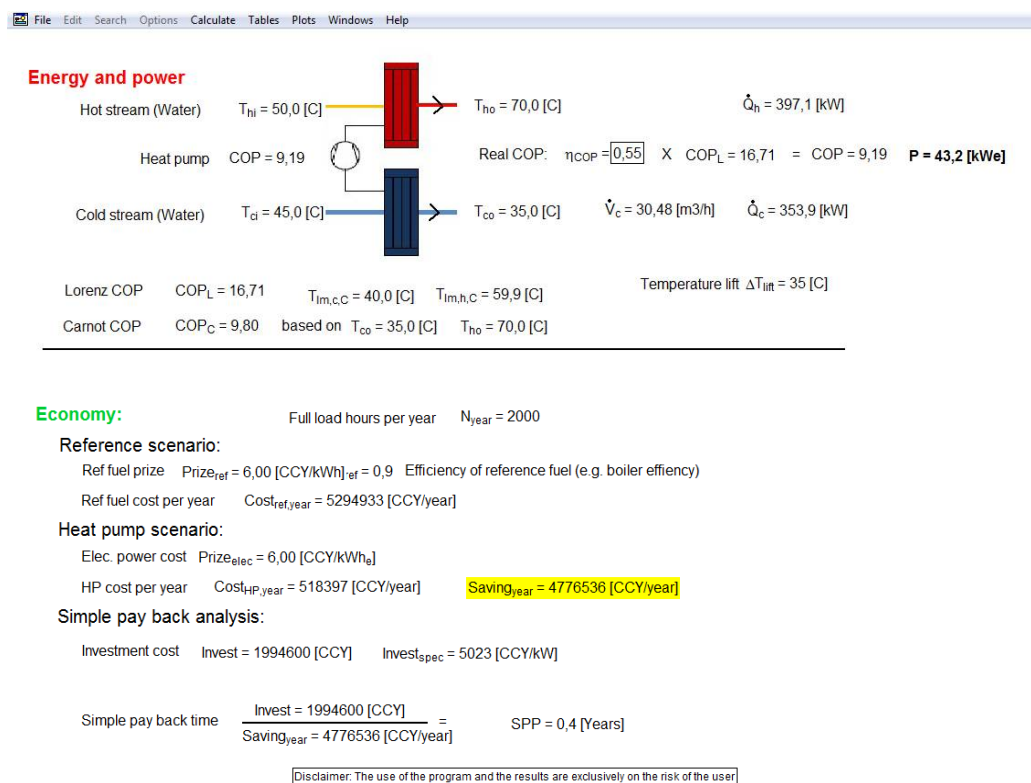


Рисунок 3.2 - Результати моделювання в програмі HP FAT роботи теплового насосу для другого сезону у відповідності з режимними параметрами теплової схеми котельні

На рис. 3.3 наведені результати моделювання в програмі HP FAT роботи теплового насосу для третього сезону у відповідності з режимними параметрами теплової схеми котельні.

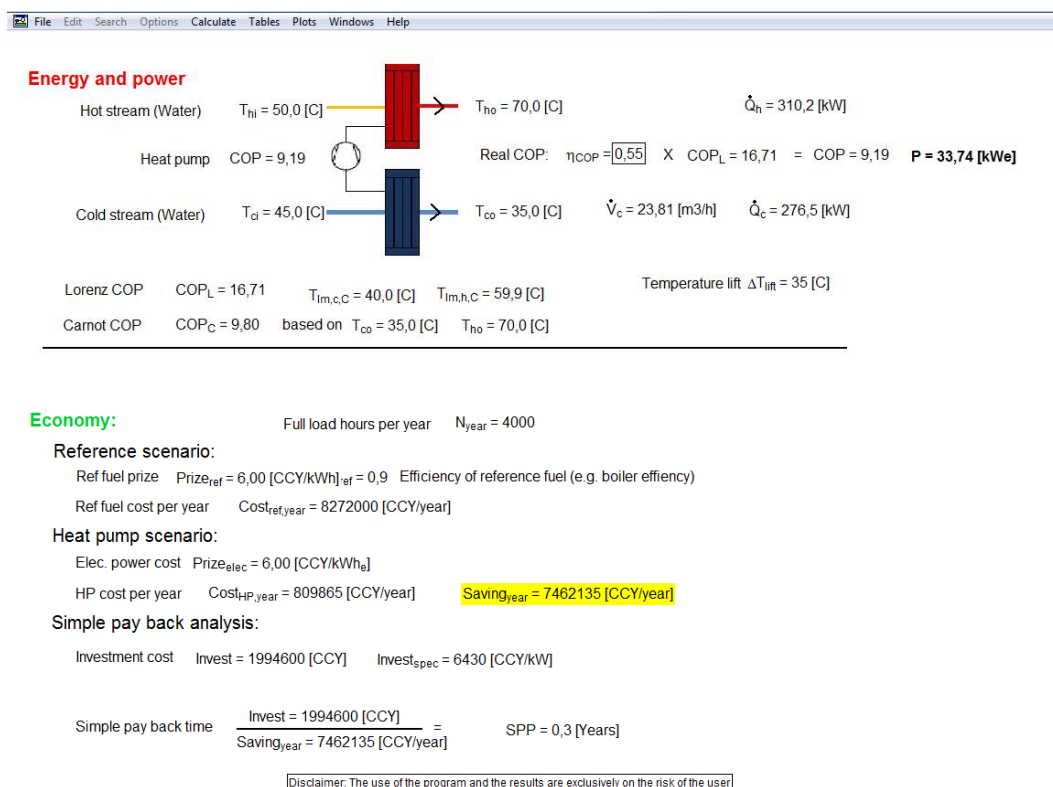


Рисунок 3.3 - Результати моделювання в програмі HP FAT роботи теплового насосу для третього сезону у відповідності з режимними параметрами теплової схеми котельні

Розрахунки показників ефективності ТНУ для теплової схеми котельні для трьох режимів роботи ТНУ виконувались з використанням спеціалізованої програми SOLKANE Refrigerants 8.0 [37]. SOLKANE Refrigerants 8.0 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 котельні в програмі SOLKANE Refrigerants 8.0 показані на рис. 3.4 – 3.9.

Виконаний багатоваріантний аналіз з визначення ефективності для чотирьох варіантів теплової схеми котельні заводу «Оболонь» на основі використання наукових результатів досліджень з літературних джерел [28-30].

Для аналізу ефективності варіантів модернізації теплової схеми котельні з використанням ТНУ нами розглянуто ефективність для чотирьох варіантів:

1 – застосування ТНУ в тепловій схемі котельні заводу «Оболонь» для роботи в трьох сезонах;

2 – застосування ТНУ в тепловій схемі котельні заводу «Оболонь» для роботи в першому та другому сезонах;

3 – застосування ТНУ в тепловій схемі котельні заводу «Оболонь» для роботи в другому та третьому сезонах;

4 – застосування ТНУ в тепловій схемі котельні заводу «Оболонь» для роботи в першому та третьому сезонах.

Результати виконаних розрахунків для багатоваріантного аналізу ефективності застосування теплового насосу в тепловій схемі котельні заводу «Оболонь» показані на рис. 3.4 – 3.9. Тут позначено режими роботи котельні - МО – опалювальний максимальний, СО – опалювальний середній, МіжОПАЛ – міжопалювальний режим.

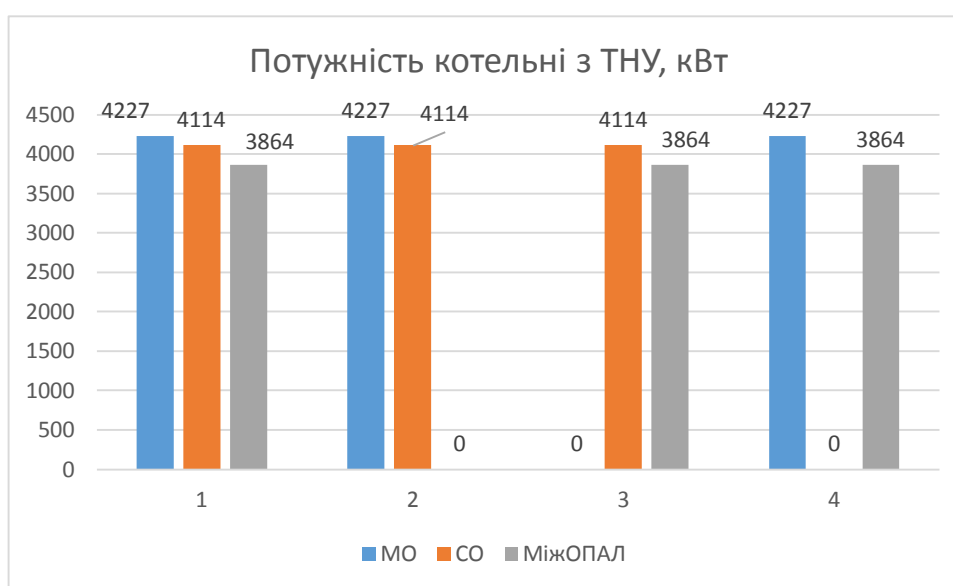


Рисунок 3.4 – Результати розрахунку потужності котельні з ТНУ

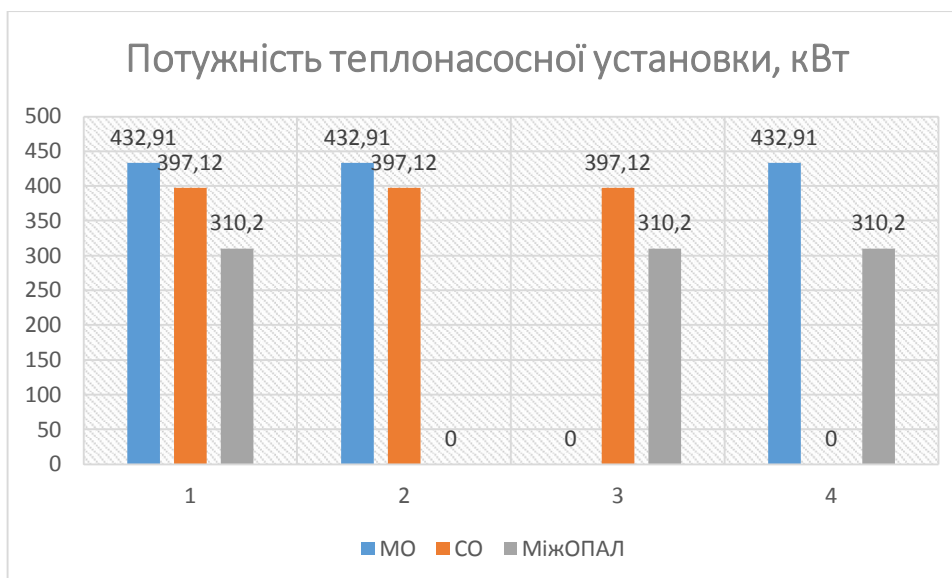


Рисунок 3.5 – Результати розрахунку потужності теплонасосної установки

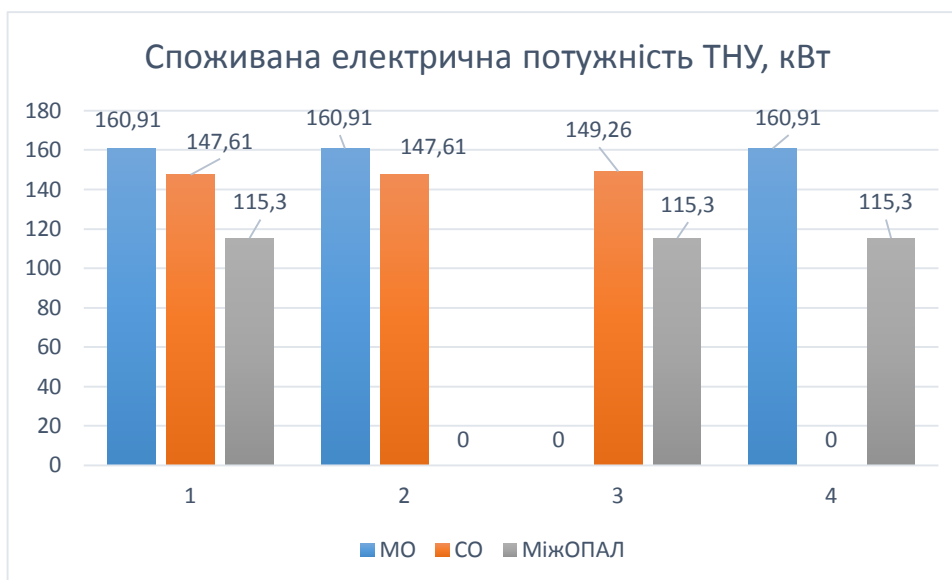


Рисунок 3.6 – Результати розрахунку споживаної електричної потужності ТНУ

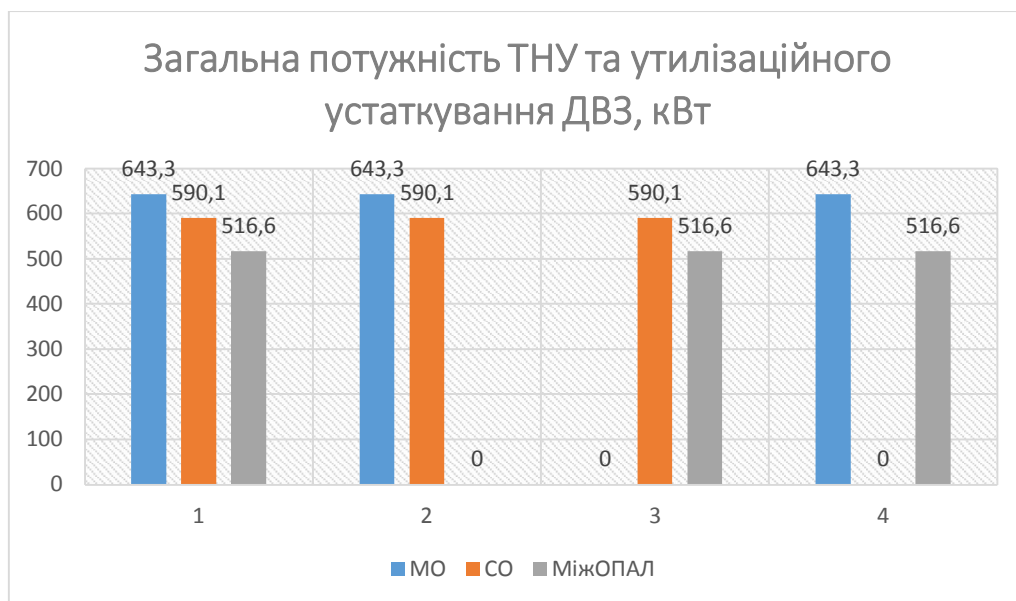


Рисунок 3.7 – Результати розрахунку загальної потужності ТНУ та утилізаційного устаткування ДВЗ

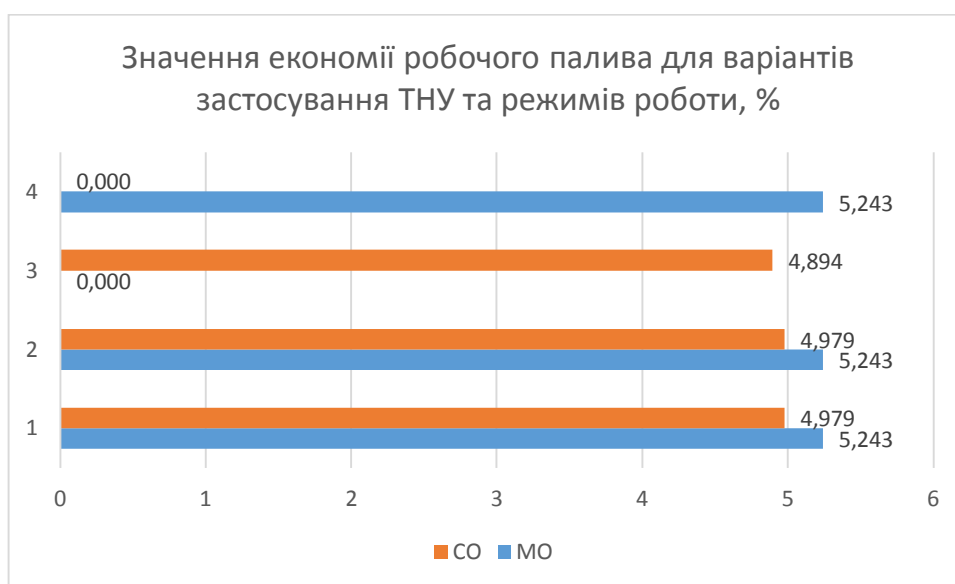


Рисунок 3.8 – Результати розрахунку значень економії робочого палива для варіантів застосування ТНУ та режимів роботи, %



Рисунок 3.9 – Результати розрахунку значень економії робочого палива для варіантів застосування ТНУ, %

Як видно з 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 спостерігається незначна зміна потужності ТНУ при роботі в різних режимах. Тому ми обираємо до впровадження варіант номер 1, для якого економія робочого палива складає 5,22% та ТНУ працює в трьох сезонах.

За результатами проведеного багатоваріантного аналізу було обрано варіант застосування ТНУ на холодоагенті R134a з приводом компресора від поршневого двигуна на природному газі. Як джерело низькотемпературної теплоти буде використана теплота від контактного утилізатора. Зазначений варіант модернізації теплової схеми котельні заводу «Оболонь» для був обраний до проектування.

3.3 Висновки до розділу 3

В розділі 3 показано результати моделювання роботи ТНУ в тепловій схемі парової промислово-опалювальної котельні.

4 МОДЕЛЮВАННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО ВПЛИВУ ВАРІАНТІВ МОДЕРНІЗАЦІЇ ТЕПЛОВОЇ СХЕМИ ПРОМИСЛОВО-ОПАЛЮВАЛЬНОЇ КОТЕЛЬНІ

Екологічний вплив обраних варіантів модернізації було оцінено в програмі компанії Treeze Ltd, що створена для оцінки життєвого циклу [33]. Використано програми-калькулятори компанії Treeze Ltd для оцінки екологічного впливу ТН та різних альтернативних джерел генерування теплової та електричної енергії [34-35].

В цій програмі екологічний вплив варіантів оцінюється за Швейцарською методикою «Точка впливу на навколишнє середовище 2021» (оновлена версія). Програма-калькулятор компанії Treeze Ltd для оцінки ТН оцінює вплив джерела низькотемпературної теплоти, значення коефіцієнта перетворення ТН (загального та локального), враховує тип будівлі та пропонує структуру спожитої електроенергії (альтернативний варіант, мережева чи з відновлюваних джерел). Результати моделювання оцінюють екологічний вплив певного ТН та його режиму роботи, виду електричної енергії.

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

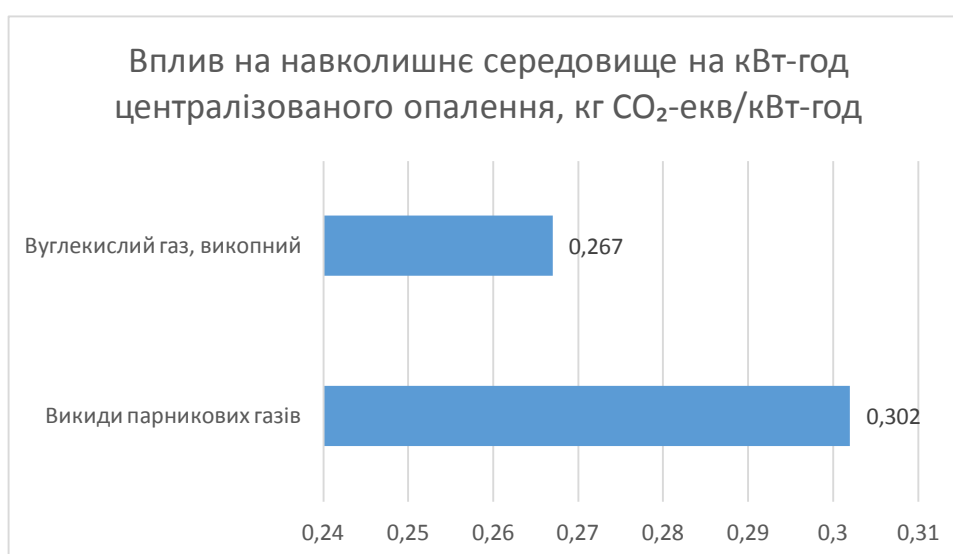


Рисунок 4.1 - Екологічні показники роботи опалювальної котельні при роботі
на природному газі

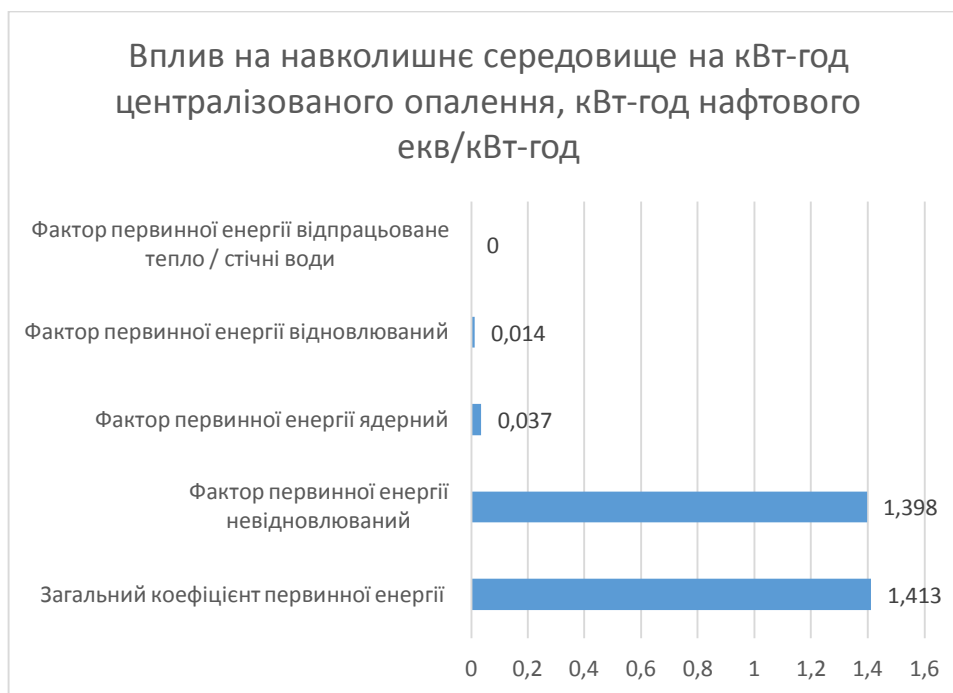


Рисунок 4.2 - Екологічні показники роботи опалювальної котельні при роботі на природному газі

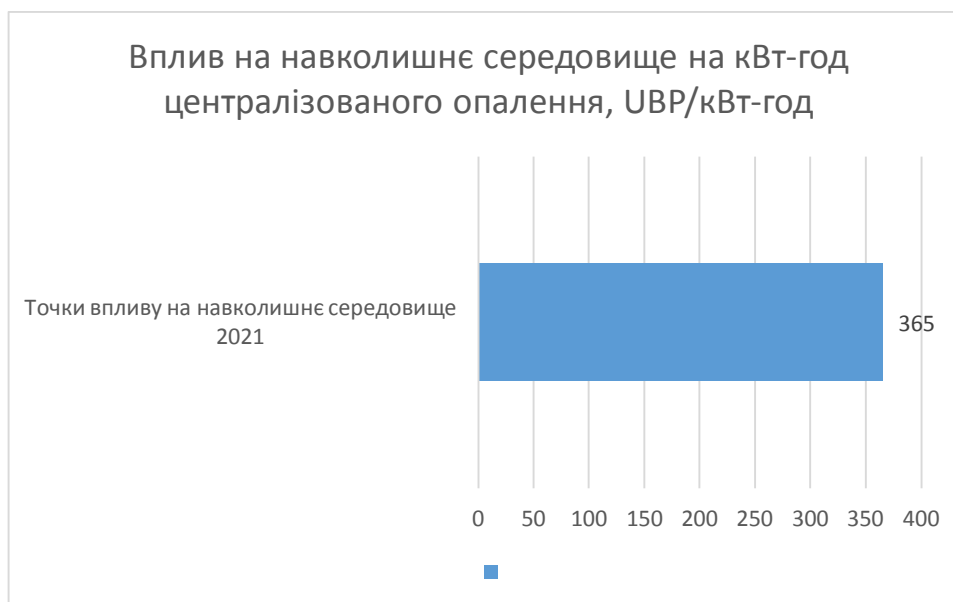


Рисунок 4.3 - Екологічні показники роботи опалювальної котельні при роботі на природному газі

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

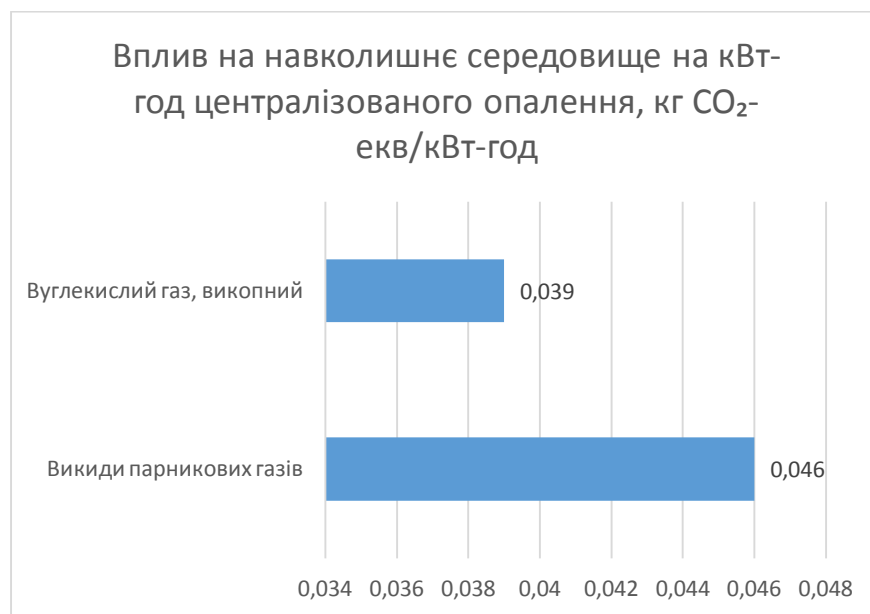


Рисунок 4.4 – Екологічні показники роботи теплонасосної установки в тепловій схемі на теплоті від контактного утилізатора

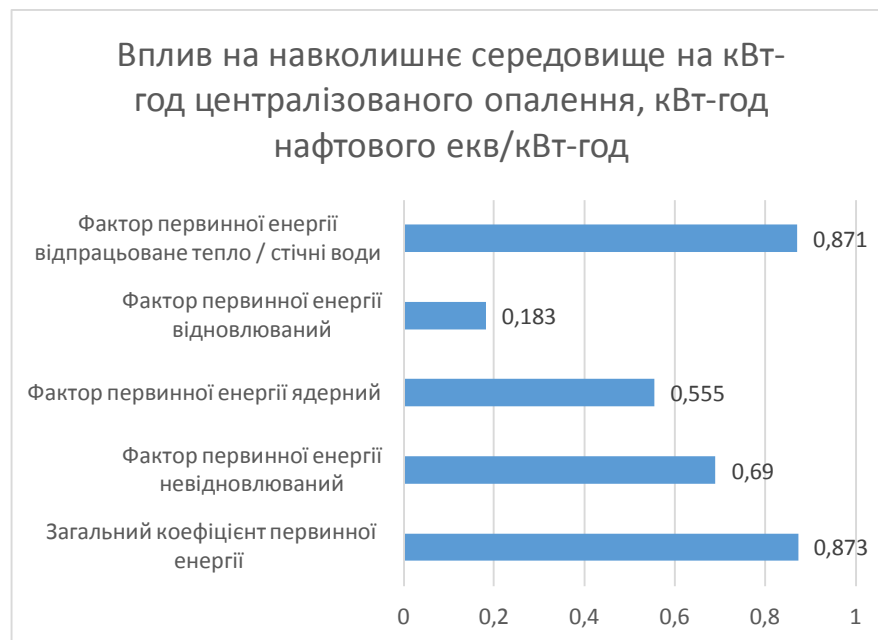


Рисунок 4.5 – Екологічні показники роботи теплонасосної установки в тепловій схемі на теплоті від контактного утилізатора

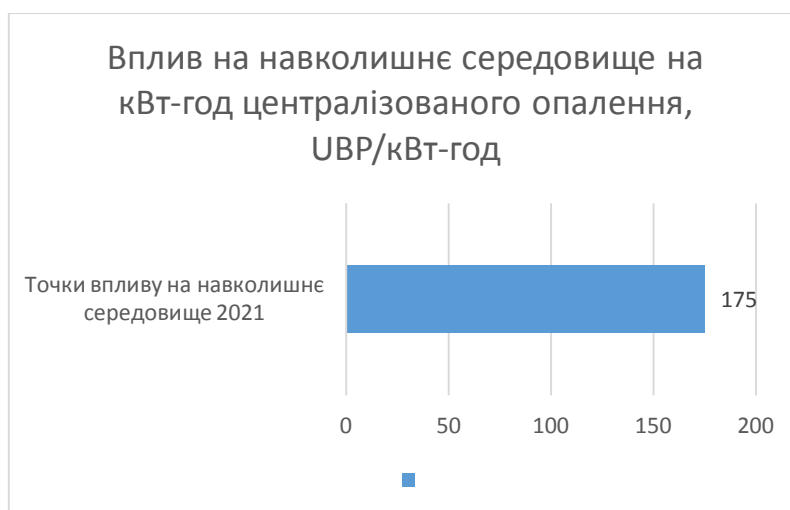


Рисунок 4.6 – Екологічні показники роботи теплонасосної установки в тепловій схемі на теплоті від контактного утилізатора

На рис. 4.7 – 4.9 наведені показники роботи теплової схеми котельні з тепловим насосом на ґрунтових водах зі співвідношенням потужностей 60/40.

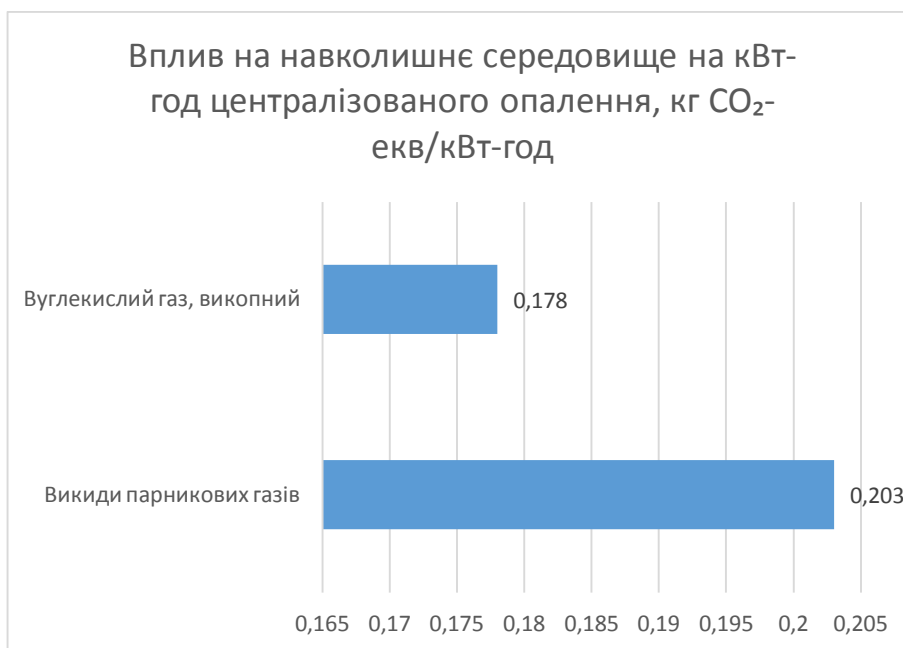


Рисунок 4.7 – Екологічні показники роботи теплової схеми котельні з тепловим насосом на ґрунтових водах зі співвідношенням потужностей 60/40

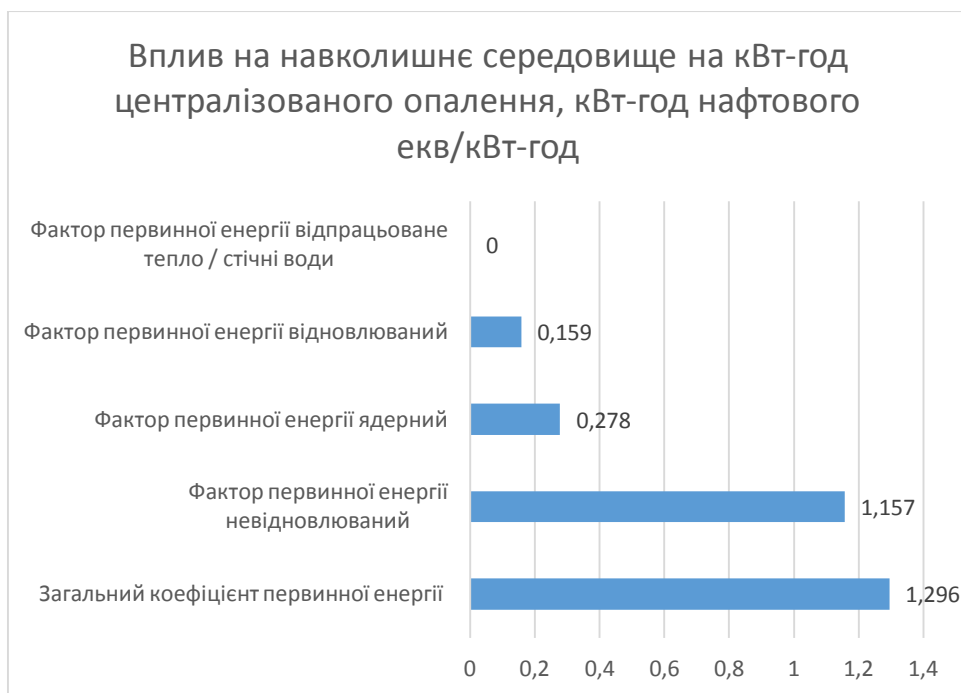


Рисунок 4.8 – Екологічні показники роботи теплової схеми котельні з тепловим насосом на ґрунтових водах зі співвідношенням потужностей 60/40

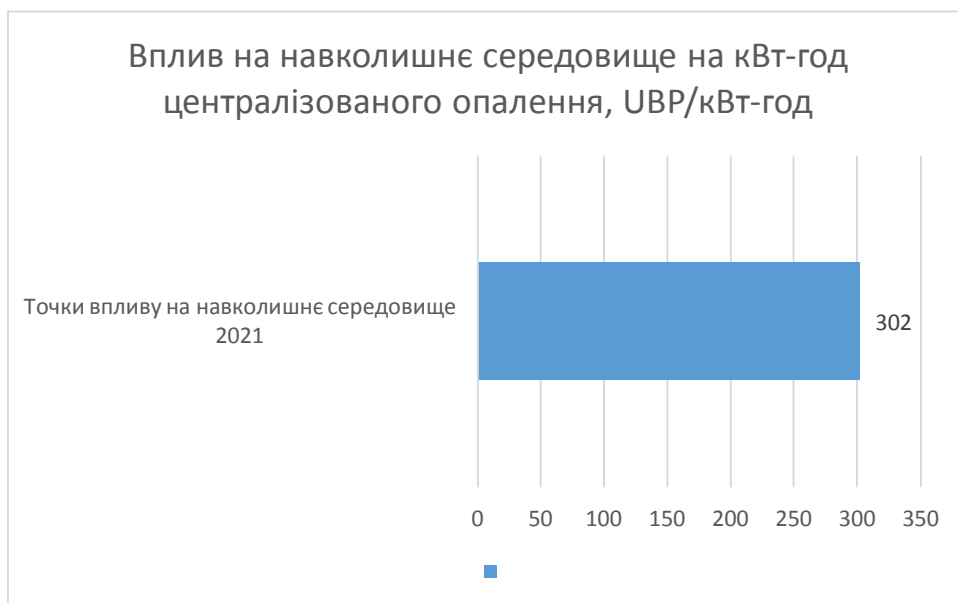


Рисунок 4.9 – Екологічні показники роботи теплової схеми котельні з тепловим насосом на ґрунтових водах зі співвідношенням потужностей 60/40

На рис. 4.10 – 4.12 наведені показники роботи теплової схеми котельні з тепловим насосом на ґрунтових водах зі співвідношенням потужностей 50/50.

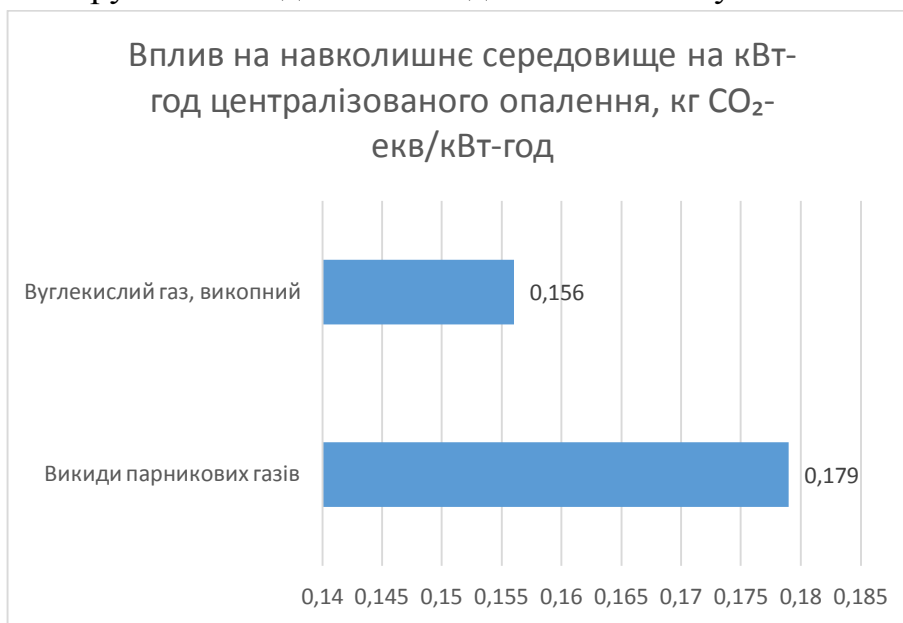


Рисунок 4.10 – Екологічні показники роботи теплової схеми котельні з тепловим насосом на ґрунтових водах зі співвідношенням потужностей 50/50

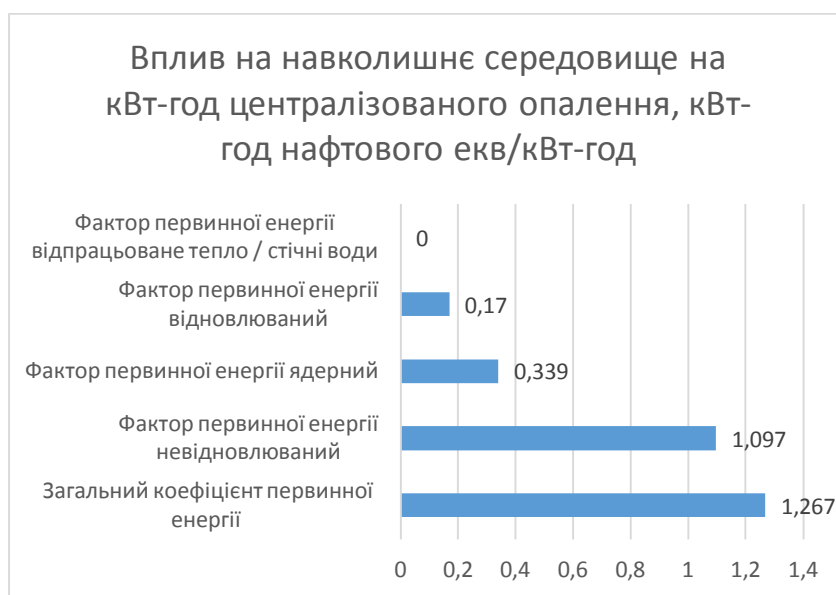


Рисунок 4.11 – Екологічні показники роботи теплової схеми котельні з тепловим насосом на ґрунтових водах зі співвідношенням потужностей 50/50

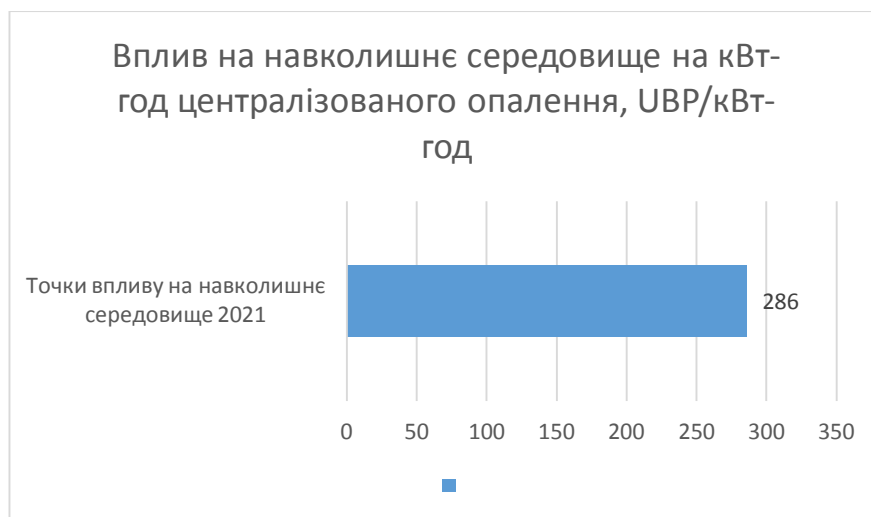


Рисунок 4.12 – Екологічні показники роботи теплової схеми котельні з тепловим насосом на ґрунтових водах зі співвідношенням потужностей 50/50

На рис. 4.13 – 4.15 наведені показники роботи теплової схеми котельні при спалюванні відходів.

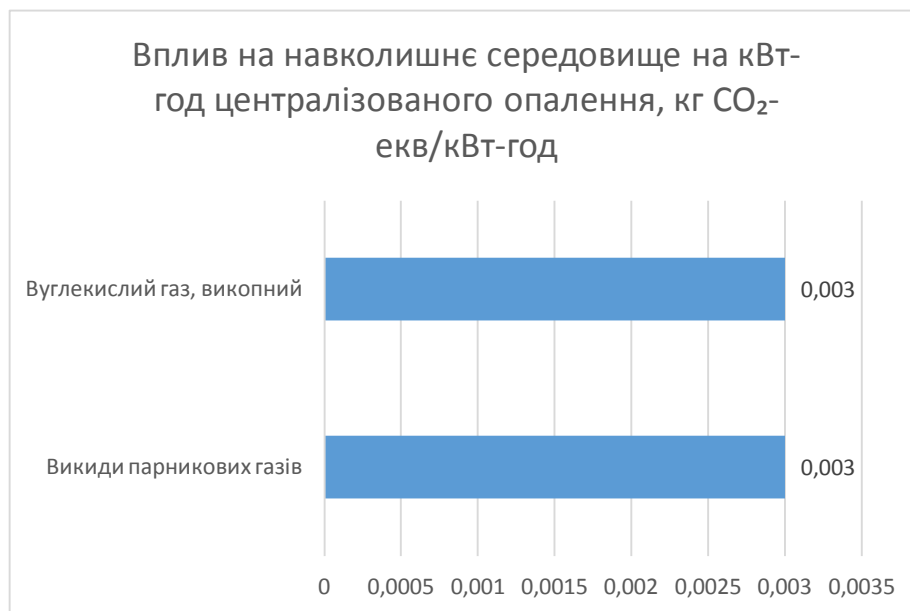


Рисунок 4.13 – Екологічні показники роботи теплової схеми котельні при спалюванні відходів

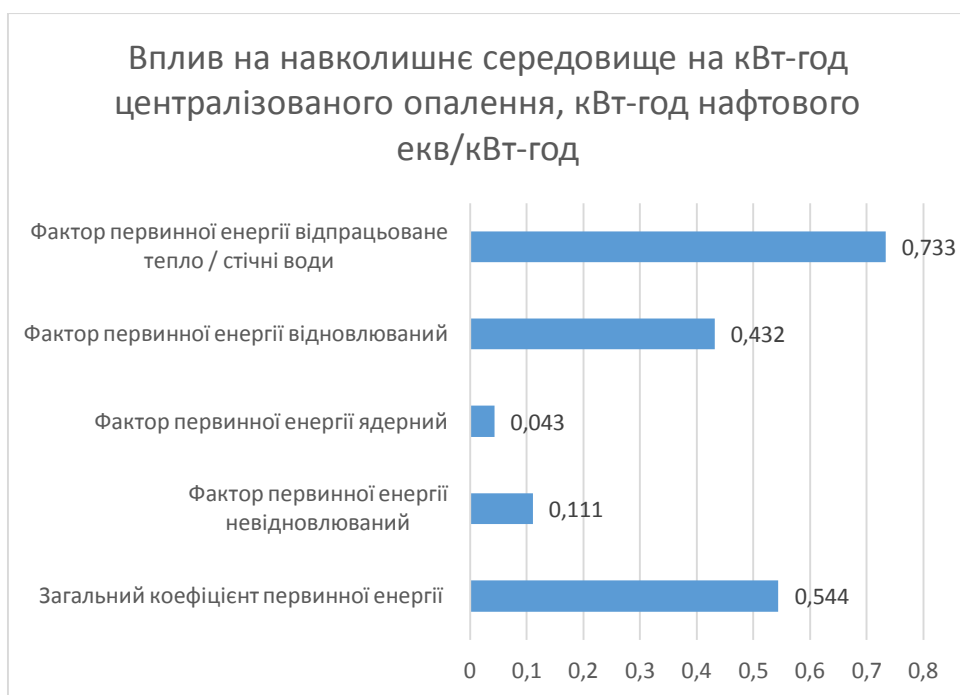


Рисунок 4.14 – Екологічні показники роботи теплової схеми котельні при спалюванні відходів

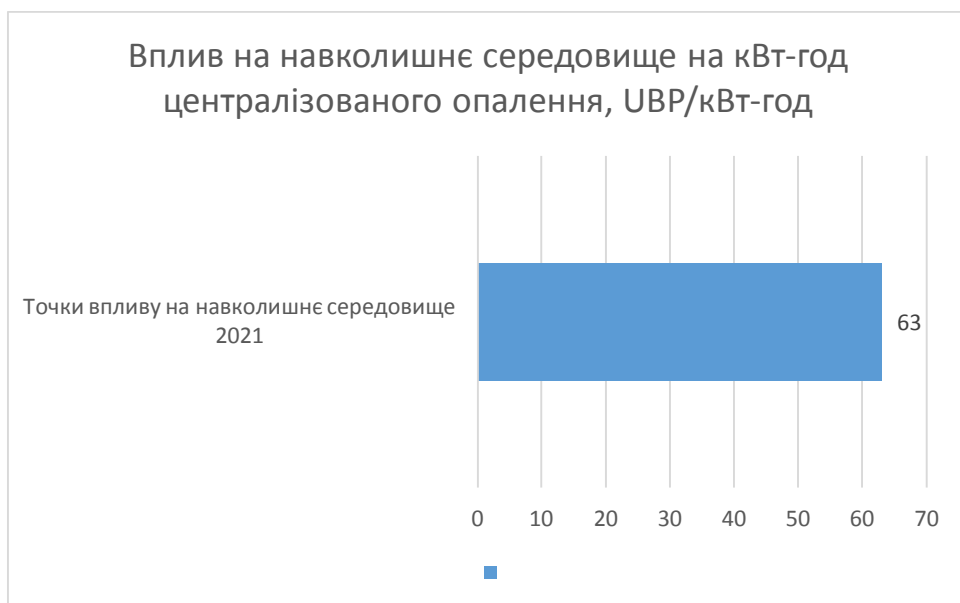


Рисунок 4.15 – Екологічні показники роботи теплової схеми котельні при спалюванні відходів

За результатами аналізу показників ефективності для базового та альтернативних варіантів схеми промислово-опалювальної котельні з тепловим насосом з використанням природних та промислових джерел низькотемпературної теплоти (рис 4.1-4.15) визначено, що використання теплоти вторинних енергоресурсів котельні в теплових насосах забезпечує достатньо високу ефективність енергоперетворень в обладнанні та кращі екологічні показники обладнання та котельні порівняно з базовим та низкою альтернативних варіантів впровадження теплонасосних установок.

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

За результатами розрахунків вибираємо ТНУ, ДВЗ та утилізаційне обладнання.

Для обраного варіанту схеми котельні з ТНУ підбираємо нове обладнання. Вибираємо з [38] тепловий насос виробництва фірми OCHSNER, серії IWS460ER2, марки W10/W35 з розрахунковою теплопродуктивністю 461,1 кВт.

Встановлюємо КТАН-утилізатор марки КТАН-0,8УГ, розрахункова теплопродуктивність 0,1-1 МВт [39].

Вибираємо з [40], генератор газовий Generac SG 300 номінальної потужності 240 кВт.

Висновки до розділу 4

За результатами аналізу показників ефективності для базового та альтернативних варіантів схеми промислово-опалювальної котельні з тепловим насосом з використанням природних та промислових джерел низькотемпературної теплоти визначено, що використання теплоти вторинних енергоресурсів котельні в теплових насосах забезпечує достатньо високу ефективність енергоперетворень в обладнанні та кращі екологічні показники обладнання та котельні порівняно з базовим та низкою альтернативних варіантів впровадження теплонасосних установок.

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

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Для розрахунку кошторисної 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
Монтаж обладнання

на

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

ОСНОВА: креслення(специфікації)№	Кошторисна вартість	484.776 тис. грн.
	Кошторисна трудомісткість	1.96477 тис. люд.-год
	Кошторисна заробітна плата	161.592 тис. грн.
	Середній розряд робіт	4.4 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 обслугову- ванням машин	
					Всього	експлуа- тації машин	Всього	заробітн ої плати	експлуа- тації машин		
										заробітн ої плати	в тому числі заробітн ої плати
					тих, що обслуговують машини						
										на одиницю	всього
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Будівельні Технології: Кошторис 8.3 Онлайн

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	КМ6-407-4	Монтаж генератора, газовий Generac SG 300 номінальної потужності 240 кВт	т	3.722	73975.85	6710.20	275338	54352	24975	187.6000	698.25
					14602.78	2352.30			8755	25.1589	93.64
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	КМ7-218-10	Монтаж теплового насосу виробництва OCHSNER, серії IWWS460ER2, марки W10/W35 з розрахунковою теплопродуктивністю 461,1 кВт	шт	1.0	31854.62	6532.97	31855	13500	6533	183.4000	183.40
					13500.07	1273.40			1273	14.0038	14.00
		Разом прямих витрат по кошторису					419144	127862	51161		1630.65
									17134		190.27
		Разом прямі витрати				грн.	419144				
		в тому числі:									
		вартість матеріалів, виробів і комплектів				грн.	240121				
		вартість ЕММ				грн.	51161				
		в т.ч. заробітна плата в ЕММ				грн.		17134			
		заробітна плата робітників				грн.		127862			
		всього заробітна плата				грн.		144996			
		Загальновиробничі витрати				грн.	65632				
		трудомісткість в загальновиробничих витратах				люд-г					143.85
		заробітна плата в загальновиробничих витратах				грн.		16596			

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		Всього по кошторису					грн.	484776			
		Кошторисна трудомісткість					люд-г		1964.77		
		Кошторисна заробітна плата					грн.	161592			

Керівник
проєктної
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 № 2

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

ОСНОВА: креслення(специфікації) № _____, відомості тощо

Кошторисна вартість 1 703,987 тис. грн.

Складений в поточних цінах станом на 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	генератор газовий Generac SG 300 номінальної потужності 240 кВт	шт	1.0	1057195.07	1057195
2	1905-13002	КТАН-утилізатор марки КТАН-0,8УГ	шт	1.0	221087.93	221088
3	1505-12081	тепловий насос виробництва OCHSNER, серії IWWWS460ER2, марки W10/W35 з розрахунковою теплопродуктивністю 461,1 кВт	шт	1.0	361317.16	361317
Разом						1639600
Транспортні та заготівельно-складські витрати						64387
Всього по кошторису						1703987

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	21,89
Вивчення інформаційних джерел, патентний пошук	0,2	1	4,38
Техніко-економічне обґрунтування	1,5	3	32,83
Проектування	2,5	4	54,72
Експертиза інноваційного рішення	1	1	21,89
Витрати на придбання патентів, ліцензій, ноу-хау, технологій	2	2	43,78
Виготовлення нового виробу	100	6	2188,763
Витрати на пусконаладжувальні роботи, комплексне освоєння проектних потужностей і досягнення техніко-економічних показників	3	1	65,66
Витрати на підготовку кадрів	5	2	109,44
Всього		21	2543,34

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	-179,48	-2494,86	1073,22	1152,42	1307,68	1153,40	930,65
2	Сальдо реальних грошей	-179,48	-2025,84	1073,22	1110,19	1265,45	1115,29	896,66
3	Сальдо накопичених реальних грошей за п.2	-179,48	-2205,32	-1132,10	-21,91	1243,53	2358,82	3255,48
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)	-208,20	-2494,86	925,19	856,44	837,77	637,01	443,09
6	Інтегральний економічний ефект(накопичена чиста вартість) за п 5 ((t)+(t-1))	-208,20	-2703,06	-1777,87	-921,43	-83,66	553,35	996,44

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.

$$NV = 2943,02.$$

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.

$$NPV = 996,44 \text{ тис. грн.}$$

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	-208,20	-2494,86	925,19	856,44	837,77	637,01	443,09
Кумулятивна	-208,20	-2703,06	-1777,87	-921,43	-83,66	553,35	996,44

Як видно з таблиці 5.6 за показником залишку інвестиційних витрат, строк окупності даного проекту знаходиться між 3-4 роком (перехід від від'ємного до додатного залишку). Відповідно, за формулою (5.4) термін окупності буде дорівнювати:

$$T = 3 + 83,66 / 637,01 = 3,13 \text{ років.}$$

Висновки.

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

- Кошторисна вартість $K_v = 2188,763$ тис. грн.
- Кошторисна заробітна плата ЗП = 161,592 тис. грн.
- Кошторисна трудомісткість $T = 1,964$ тис. люд –год
- Вартість матеріалів – 1944,107 тис. грн.

Розраховали основні показники ефективності інвестицій в проект:

- Чисті грошові надходження – 2943,02 тис. грн.;
- Чиста поточна вартість –996,44 тис. грн.;
- Термін окупності, розрахований кумулятивним методом – 3,13 роки.

Висновки до розділу 5

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

ВИСНОВКИ

Запропоновано заходи із забезпечення енерго- та ресурсозбереження, а також поліпшення техніко-економічних показників роботи теплової схеми промислово-опалювальної парової котельні шляхом встановлення парокомпресійної теплонасосної установки. Забезпечене зниження енерго- та ресурсоемності вироблення теплоти в котельні шляхом встановлення парокомпресійної ТНУ в тепловій схемі промислово-опалювальної котельні.

На основі багатоваріантного аналізу нами обрано до проектування варіант альтернативної ТНУ в тепловій схемі промислово-опалювальної котельні з використанням низькотемпературної теплоти вторинних енергоресурсів котельні.

За результатами розробленого техніко-економічного обґрунтування нами визначено, що застосування альтернативної ТНУ в схемі цієї котельні обумовить економію природного газу в обсязі 5,22%, забезпечить зниження експлуатаційних витрат та суттєве зниження собівартості теплоти. Капіталовкладення в нове обладнання за альтернативним варіантом будуть становити 15,38 млн. грн., термін окупності оцінений у 3,13 року.

Для розрахунків схеми з ТНУ виконувалось моделювання, було використано програму SOLKANE SoftWare 8.0, яка може широко використовуватись для моделювання та розрахунків показників циклів ТНУ з різними робочими тілами та схемними рішеннями. Виконувалось моделювання ТНУ в температурних рівнях, що відповідають теплоті вторинних енергоресурсів (вторинна теплота від контактного утилізатора газів котельні).

В МКР виконано моделювання роботи теплонасосної установки (ТНУ) в тепловій схемі котельні заводу "Оболонь" з використанням спеціалізованих програм: HP FAT Calculator Programme-2023, Treeze та SOLKANE; виконаний аналіз варіантів застосування теплонасосних установок в тепловій схемі

котельні та альтернативних варіантів, здійснено розрахунок ефективності низки варіантів застосування теплонасосних установок в тепловій схемі котельні.

Виконано моделювання роботи теплонасосної установки в тепловій схемі промислово-опалювальної котельні, а також, моделювання екологічного впливу варіантів модернізації теплової схеми промислово-опалювальної котельні. Здійснено порівняльний аналіз ефективності варіантів застосування ТНУ та обґрунтування вибору найбільш ефективного варіанту для теплової схеми котельні. За результатами аналізу показників ефективності для базового та альтернативних варіантів схеми промислово-опалювальної котельні з тепловим насосом з використанням природних та промислових джерел низькотемпературної теплоти визначено, що використання теплоти вторинних енергоресурсів котельні в теплових насосах забезпечує достатньо високу ефективність енергоперетворень в обладнанні та кращі екологічні показники обладнання та котельні порівняно з базовим та низкою альтернативних варіантів. Обраний варіант модернізації теплової схеми опалювальної котельні з теплонасосною установкою на теплоти вторинних низькотемпературних енергоресурсів котельні

Для обраного варіанту схеми котельні з ТНУ підібрано нове обладнання: тепловий насос виробництва фірми OCHSNER, серії IWWS460ER2, марки W10/W35 з розрахунковою теплопродуктивністю 461,1 кВт, КТАН-утилізатор марки КТАН-0,8УГ, розрахункова теплопродуктивність 0,1-1 МВт, генератор газовий Generac SG 300 номінальної потужності 240 кВт.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Остапенко О. П., Сич Д. С. Дослідження показників енергетичної та екологічної ефективності 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. European Heat Pump Market. URL: <https://www.rehva.eu/rehva-journal/chapter/european-heat-pumpmarket>. (Дата звертання 02.12.24).
3. 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).
4. 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).
5. 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).
6. 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).

7. 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
8. The Future of Heat Pumps. URL: <https://www.iea.org/reports/the-future-of-heat-pumps> (Дата звертання 02.12.24).
9. 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).
10. Advances in heat pump systems: A review. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S030626191000228X> (Дата звертання 02.12.24).
11. The European Heat Pump Association (EHPA). URL: <https://www.ehpa.org/about-heat-pumps/> (Дата звертання 02.12.24).
12. 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).
13. 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).
14. 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).
15. 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).

16. 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).
17. 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.
18. Ostapenko O. P. Scientific basis of evaluation energy efficiency of heat pump plants: monograph. Saarbrücken, LAP LAMBERT Academic Publishing, 2016. 62 p.
19. 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.
20. 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.
21. 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.

22. 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.
23. 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.
24. 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).
25. 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.
26. 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.

27. 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).
28. Остапенко О. П. Високоєфективні системи енергозабезпечення з когенераційно-теплонасосними установками: енергетичний, економічний та екологічний аспекти ефективності. Енергоефективність та енергозбереження: економічний, технічний та агроекологічний аспекти: [колективна монографія]. – Полтава: ПП Астроя, 2019. – С. 526 – 530.
29. Ткаченко С. Й., Остапенко О. П. Парокомпресійні теплонасосні установки в системах тепlopостачання: монографія. Вінниця : УНІВЕРСУМ – Вінниця. 2009. 176 с.
30. Остапенко О. П. Холодильна техніка та холодильна технологія. Теплові насоси : навч. посіб. Вінниця : ВНТУ, 2015. 123 с.
31. HP FAT Calculator Programme-2023. URL: <https://www.dti.dk/specialists/heat-pumps-hp-fat/39679> (Дата звертання 02.12.24).
32. Engineering Equation Solver (EES). URL: <https://fchartsoftware.com/ees/> (Дата звертання 02.12.24).
33. Програмний продукт компанії Treeze Ltd з оцінки життєвого циклу. URL: <https://treeze.ch/> (Дата звертання 02.12.24).
34. Калькулятор централізованого опалення. URL: https://rechner.umweltchemie.ch/HTMLFernwaerme22_de_v4/Oekobilanzrechner_Fernwaerme_2022_deutsch_v4_UVEK2022.htm (Дата звертання 02.12.24).

35. Калькулятор теплового насосу. URL:
https://rechner.umweltchemie.ch/HTML/Waermepumpen22_de_v5/Oekobilanzrechner_Waermepumpen_2022_deutsch_v5_UVEK2022.htm (Дата звертання 02.12.24).
36. Ткаченко С. Й., Чепурний М. М., Степанов Д. В. Розрахунки теплових схем і основи проектування джерел теплопостачання. Навч. Посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2005. 137 с.
37. SOLKANE Refrigerants 8. URL: <https://solkane-refrigerants.software.informer.com/8.0/> (Дата звертання 02.12.24).
38. Промислові теплові насоси. URL:
<https://www.geoteplo.com.ua/ua/katalog/catalogochsnere/heating/119-industrie.html> (Дата звертання 02.12.24).
39. 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).
40. Газопоршневі двигуни. URL : <http://220volt.com.ua/generatory/generac>.
(Дата звертання 02.12.24)

Додатки

Додаток А
(обов'язковий)

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: Підвищення енергоефективності в тепловій схемі котельні "Оболонь-Красилівське"

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	83%
Загальна схожість	17%

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



(підпис)

Сич Д.С.

(прізвище, ініціали)

Опис прийнятого рішення

Робота допущена до захисту

Особа, відповідальна за перевірку

(підпис)

Співак О.Ю.

(прізвище, ініціали)

Експерт

(за потреби)

(підпис)

(прізвище, ініціали, посада)

Додаток Б
(обов'язковий)

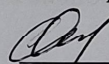
92

ЗАТВЕРДЖЕНО
Завідувач кафедри ТЕ
Дмитро СТЕПАНОВ
" 24 " 09 2024 р.

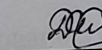
ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ
до магістерської кваліфікаційної роботи
«ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ В ТЕПЛОВІЙ СХЕМІ
КОТЕЛЬНИ «ОБОЛОНЬ – КРАСИЛІВСЬКЕ»»

за спеціальністю
144 – теплоенергетика
08-15.МКР.008.00.00.000 ТЗ

Керівник магістерської
кваліфікаційної роботи

 к.т.н. доц. Остапенко О. П.
" 23 " 09 2024 р.

Розробив студент гр. ТЕ-23м

 Сич Д. С.
" 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 потреби гарячого водопостачання 0,056 кг/с; відпуск пари на технологію 1,194 кг/с; відпуск пари на опалення 0,739 кг/с; сумарний відпуск пари 2,024 кг/с; повернення конденсату від гарячого водопостачання 95%; повернення конденсату від технології 90%; повернення конденсату від споживачів опалення 95%; температура конденсату від технології та споживачів 80 °С; температура додаткової води 5-20 °С; витрата пари на власні потреби 3,5%.

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 математичного моделювання роботи теплових насосів у складі джерел енергозабезпечення	06.10.2024 – 18.10.2024	
3	Моделювання роботи теплонасосної установки в тепловій схемі парової промислово-опалювальної котельні	19.10.2024 – 02.11.2024	
4	Моделювання екологічного впливу варіантів модернізації теплової схеми промислово-опалювальної котельні	03.11.2024 – 19.11.2024	
5	Економічна частина	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 Корегування технічного завдання допускається з дозволу керівника МКР.

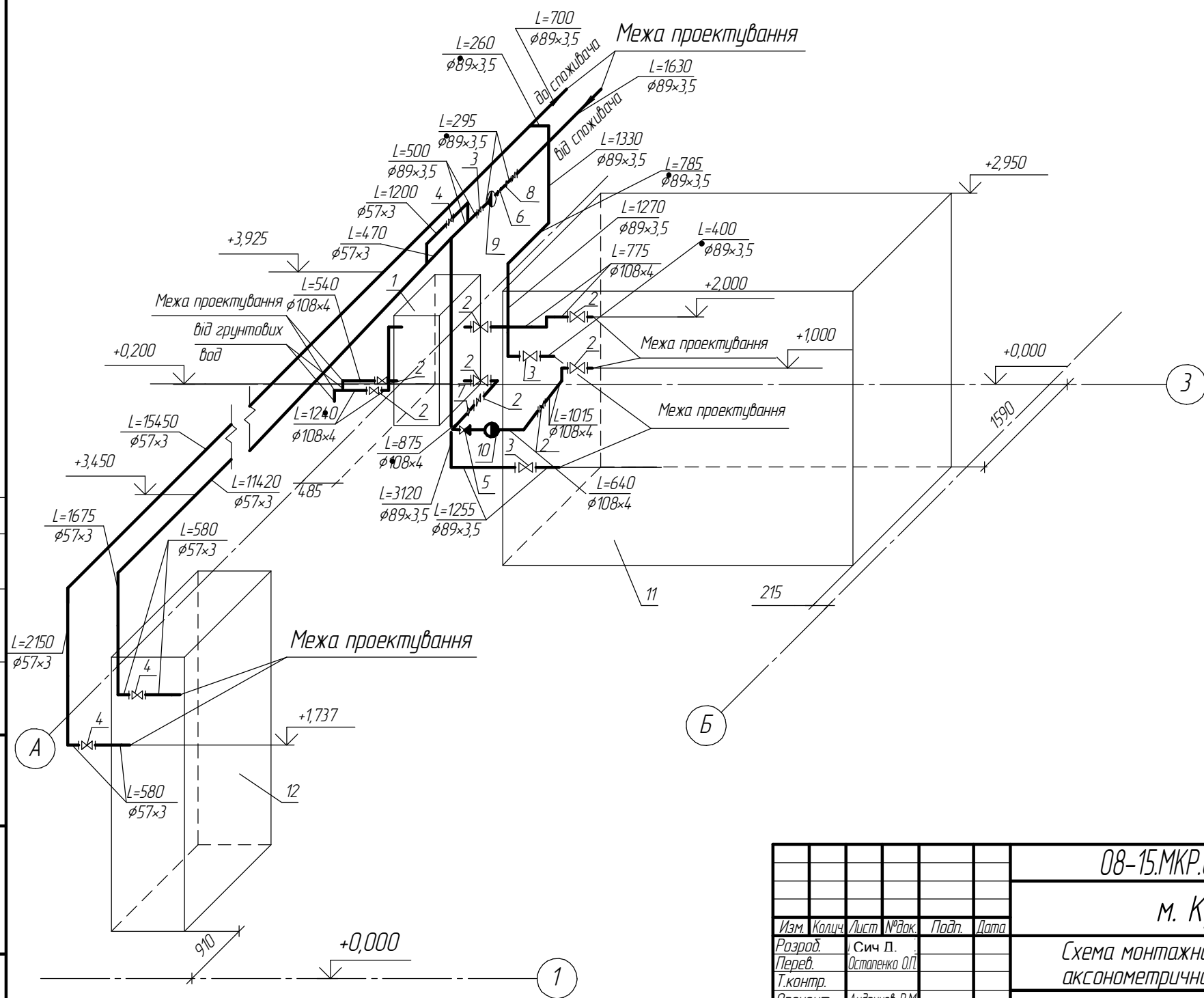
Додаток В

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

Перв. примен.	Поз. обозначение	Наименование	Кол.	Примечание							
		Перелік елементів									
Справ. №	1	Теплообмінник пластинчастий THERMAKS PTA(GX)-26	1								
	2	Засувка чавунна Ду 100	8								
	3	Засувка чавунна Ду 80	4								
	4	Засувка чавунна Ду 50	3								
	5	Клапан зворотній стальний Ду 100	1								
	6	Клапан зворотній стальний Ду 80	1								
	7	Фільтр грубої очистки Ду 100	1								
	8	Фільтр грубої очистки Ду 80	1								
	9	Насос циркуляційний GHE 75/100	1								
	10	Насос циркуляційний GHE 50/80	1								
	11	Теплонасосна установка HT-500	1								
	12	Утилізатор теплоти	1								
Подп. и дата											
Взам. инв. №											
Подп. и дата											
Инв. № подл.	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	08-15 МКР.008.01.00.000	Схema монтажна Аксонометрична	Лит.	Лист	Листов	
	Разраб.	Сич Д.С.								1	
	Пров.	Остапенко О.П.									
	Опонент.	Андрухов В.М.									
	Н.контр.	Остапенко О.П.									
	Утв.	Степанов Д.В.									
	ВНТУ зр. ТЕ-23М										

Согласовано

Взам. инв. №
Подп. и дата
Инв. № подл.



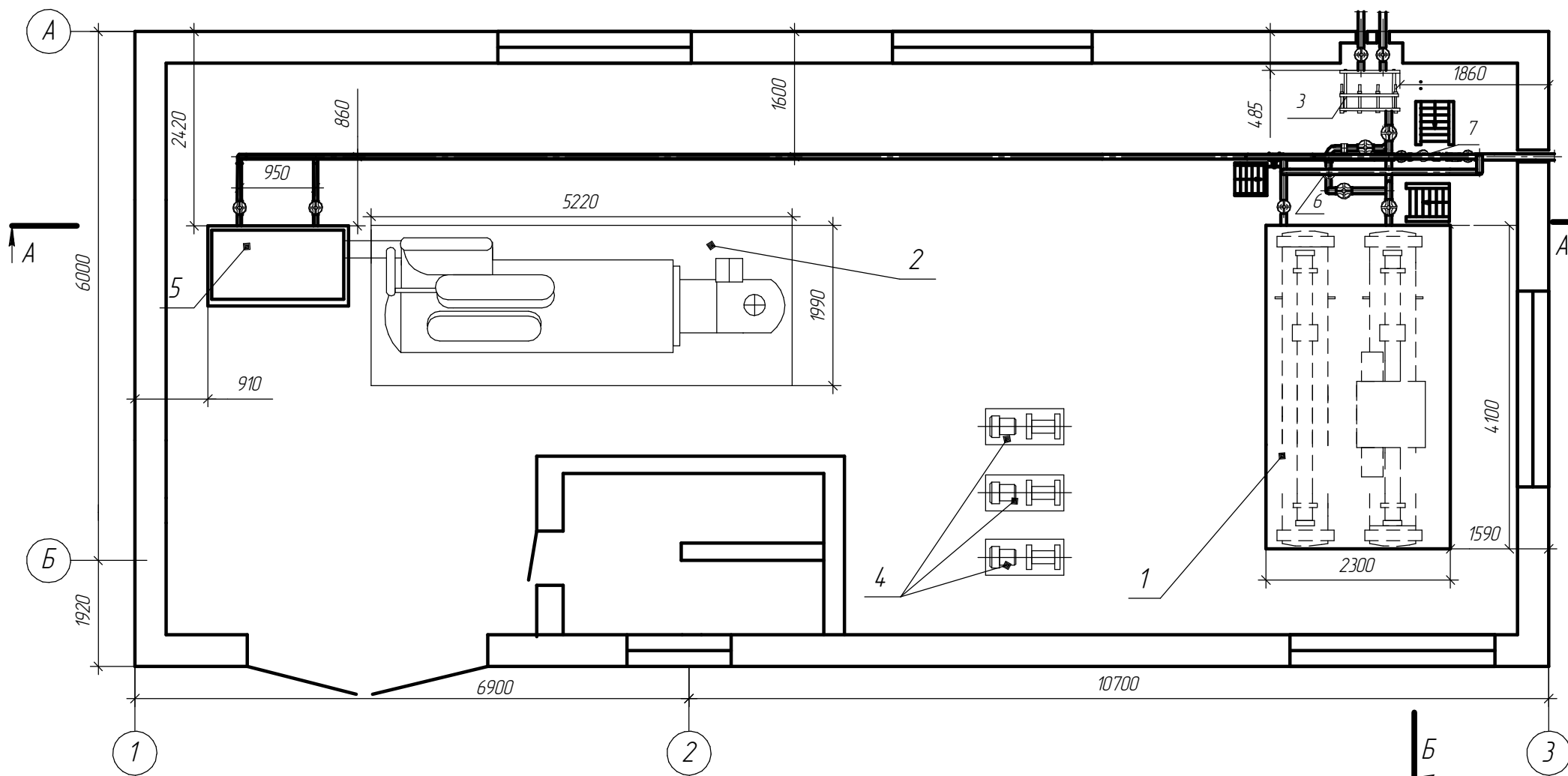
						08-15.МКР.008.01.000.00 Т8			
						м. Красилів			
Изм.	Кол.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Схема монтажна аксонометрична	Стадия	Лист	Листов
Разроб.		Сич П.							
Перев.		Остапенко О.П.						1	2
Т.контр.									
Опонент		Андрухов В.М.				Підвищення енергоефективності в тепловій схемі котельні "Оболонь-Красилівське".	ВНТУ, ст. гр. ТЕ-23М		
Н.контр.		Остапенко О.П.							
Затв.		Степанов Д.В.							

Справ. №	Перв. примен.	Поз. обозначение	Наименование			Кол.	Примечание		
			Перелік елементів						
		1	Теплонасосна установка НТ-500			1			
		2	Двигун внутрішнього згоряння			1			
		3	Теплообмінник пластинчастий THERMAKS PTA(GX)-26			1			
		4	Живильний насос CRE 15-17			3			
		5	Утилізатор теплоти			1			
		6	Насос циркуляційний GHE 75/100			1			
Взам. инв. №	Подп. и дата	7	Насос циркуляційний GHE 50/80			1			
		8	Засувка Ду 100			8			
		9	Засувка Ду 80			4			
		10	Засувка Ду 50			3			
Инв. № подл.	Подп. и дата								
Инв. № подл.	Подп. и дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	08-15.МКР.008.02.00.000		
		Разраб.	Сич Д.С.				План розташування обладнання та трубопроводів		
		Пров.	Остапенко О.П.						
		Опонент.	Андрухов В.М.						
		Н.контр.	Остапенко О.П.						
		Утв.	Степанов Д.В.						
						Лит.	Лист	Листов	
								1	
						ВНТУ зр. ТЕ-23М			

Копировал

Формат А4

План будівлі

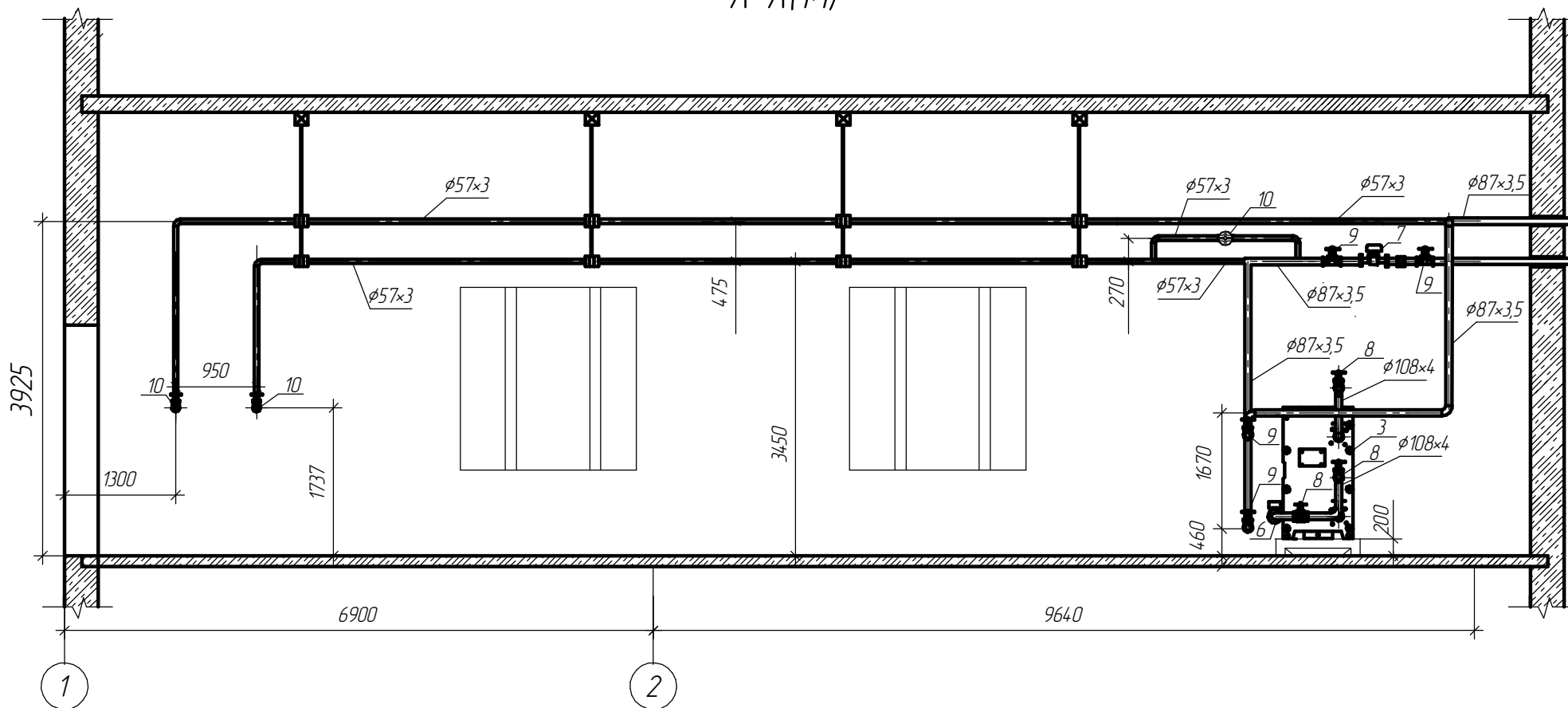
[illegible]

						08-15.МКР.008.02.00.000 АР			
						м. Красилів			
Изм.	Коліч.	Лист	№ док.	Підп.	Дата	Підвищення енергоефективності в тепловій схемі котельні "Оболонь-Красилівське"	Стадія	Лист	Листов
Розроб.	Сич Д.С.								1
Перев.	Остапенко О.П.					План розташування обладнання та трубопроводів	ВНТУ, ст. гр. ТЕ-23м		
Т.контр.									
Опонент	Андріхов В.М.								
Н.контр.	Остапенко О.П.								
Затв.	Степанов Д.В.								

Согласовано

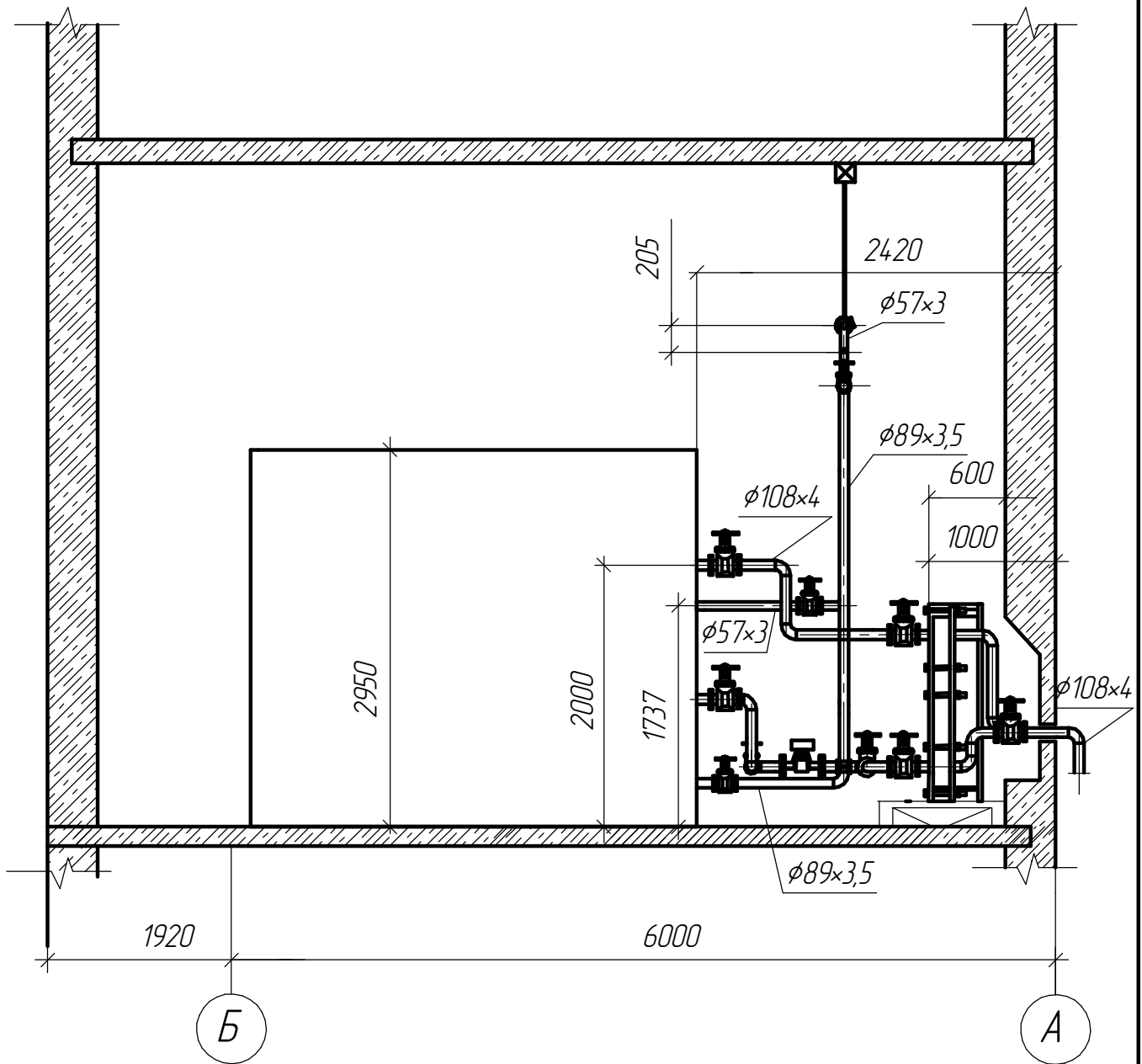
Инд. № подл. Подп. и дата Взам. инд. №

A-A(1:1)



						08-15.МКР.008.02.00.000 АР			
						м. Красилів			
Изм.	Колуч	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Підвищення енергоефективності в тепловій схемі котельні "Оболань-Красилівське".	Стадія	Лист	Листов
Розроб.	Сич Д.С.								
Перев.	Остапенко О.П.							2	4
Т.контр.									
Опонент	Андрухов В.М.								
Н.контр.	Остапенко О.П.					Розріз А-А	ВНТУ, ст. зр.ТЕ-23м		
Затв.	Степанов Д.В.								

Б-Б(1:1)



Согласовано

Инв. № подл.	Т.контр.	Перев.	Опонент	Н.контр.	Затв.	Подп. и дата	Взам. инв. №	08-15.МКР.008.02.00.000 АР		
								м. Красилів		
Инв. № подл.	Т.контр.	Перев.	Опонент	Н.контр.	Затв.	Подп.	Дата	Підвищення енергоефективності в тепловій схемі котельні "Оболонь-Красилівське".		
								Стадія	Лист	Листов
Инв. № подл.	Т.контр.	Перев.	Опонент	Н.контр.	Затв.	Подп.	Дата	Розріз Б-Б		
								ВНТУ, см. зр. ТЕ-23м		

Перв. примен.

Справ. №

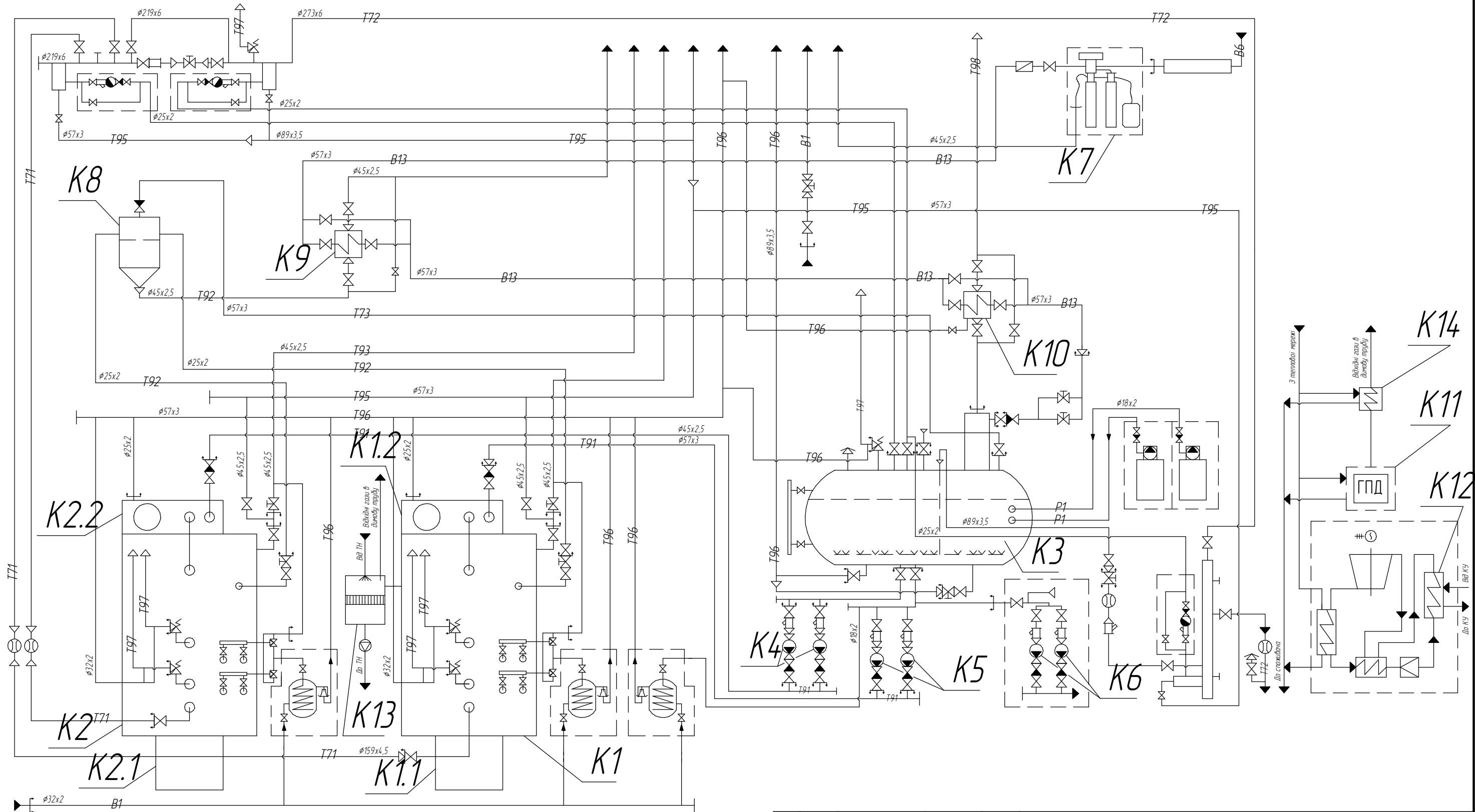
Подп. и дата

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

08-15.МКР.008.04.00.000 Т3



T71 – Пар – P=1 МПа;
T72 – Пар – P=0,45–0,5 МПа;
T73 – Пар – P=0,17 МПа;
T81 – Конденсат від ТП заводу;
T82 – Конденсат від колектора пари P=1,0 МПа;
T83 – Конденсат від колектора пари P=0,5 МПа;

T91 – Живильна вода;
T92 – Безперервна продувка;
T93 – Періодична продувка;
T95 – Напірний злив;
T96 – Вільний злив, перелив;
T97 – Парогазова суміш в атмосферу;

T98 – Вихлоп в атмосферу;
B1 – Сира вода із водопроводу;
B6 – Хіміщenna вода з цеху водопідготовки;
B13 – Хіміщenna вода після II ступені водопідготовки;
P1 – Розчин хіміреактивів;

08-15.МКР.008.04.00.000 Т3				Підвищення енергоефективності в тепловій схемі котельні "Оболонь-Красилівське"		
Изм. Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб. Сич Д. С.	Остапенко О.П.					
Пров. Остапенко О.П.				Лист	Листов	1
Т.контр.				Схема теплової котельні з когенераційною теплонасосною установкою		
Н.контр. Остапенко О. П.				ВНТУ, гр. ТЕ-23м		
Утв. Степанов Д. В.				Копировал Формат А3		

Інв. № ор.

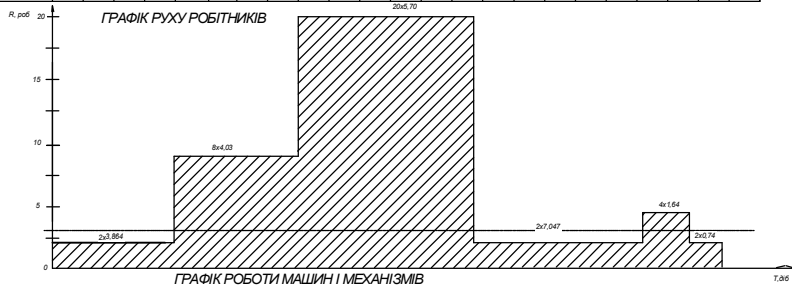
Підпис і дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН МОНТАЖУ ТЕПЛОМЕХАНІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ КОТЕЛЬНИ

Номер	Найменування робіт	Одиниця вимірювання	Об'єми	Норма часу людини годин	Трудомісткість	Склад бригади	Кількість бригади	Тривалість	2022 рік																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
									Грудень																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
									1	2	5	6	7	8	9	12	13	14	15	16	19	20	21	22	23	26	27	28	29	30	5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
1	Доставка матеріалів та обладнання до місця монтажу	т	29,3	3,1000	11,350	2	Вантажник, водій	3,78	2x3,78																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ

№ п/п	Позначення	Формула	Результат	Одиниця виміру
1	Qзаг	ΣQ	23,28	Люд. - дні
2	Tзаг		18,53	дні
3	Rмак		20	люд.
4	Rср	Qзаг/Tзаг	3,1	люд.
5	Tеспл		30	дні
6	±1	Rср/Rмак	0,15	
7	±2	Tеспл/Tзаг	1,61	



Вантажний автомобіль Volvo FH 16		3,78																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							</
----------------------------------	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----

08-15.МКР.008.03.000.00 АР

м. Кривий

Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата	Підвищення енергоефективності в тепловій схемі котельні "Оболонь-Кривийдільське"			Стадія	Аркуш	Аркушів
Розробив	Сич Д.С.					Календарний план			ВНТУ, ст. гр. ТЕ-23м		
Перевірив	Остапенко О.П.										
Т.контр.											
ОпONENT	Андрухов В.М.					Календарний план			ВНТУ, ст. гр. ТЕ-23м		
Н.контр	Остапенко О.П.										
Затв.	Степанов Д.В.										

РЕЗУЛЬТАТИ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Тепловий насос «повітря-вода» Нова 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	0,040	0,176
Carbon dioxide, fossil	kg CO ₂ /kWh	0,028	0,122
Total primary energy factor	kWh of oil equivalent/kWh	1,386	6,099
Primary energy factor, non-renewable	kWh of oil equivalent/kWh	0,485	2,136
Primary energy factor, nuclear	kWh of oil equivalent/kWh	0,388	1,705
Final energy factor	kWh of oil equivalent/kWh	0,901	3,963
Primary energy factor, on-site renewable	kWh of oil equivalent/kWh	0,773	3,400
Primary energy factor, waste heat/waste water	kWh of oil equivalent/kWh	0,007	0,029
Environmental impact points 2021	UBP /kWh	142	626

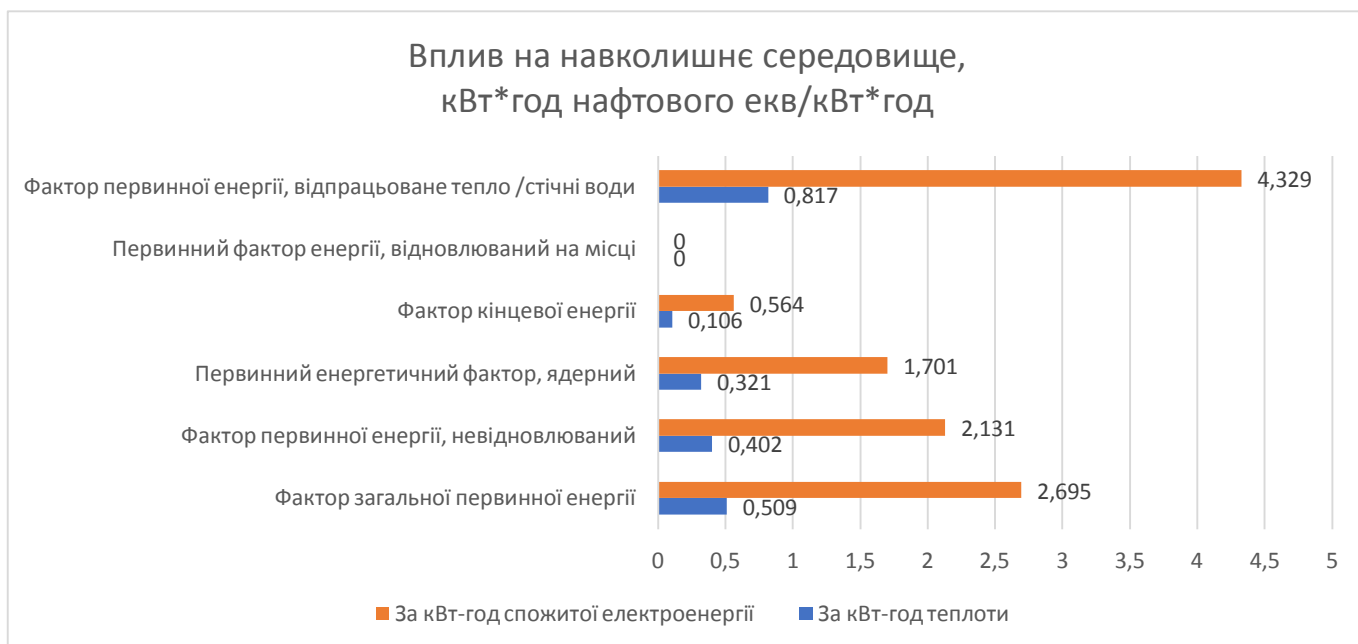
Тепловий насос «повітря-вода» Нова будівля Локальний коефіцієнт ефективності 3 Електроенергія з мережі Вплив на навколишнє середовище		Per kWh of heat	Per kWh of consumed electricity
Greenhouse gas emissions	kg CO ₂ -eq/kWh	0,053	0,16
Carbon dioxide, fossil	kg CO ₂ /kWh	0,039	0,118
Total primary energy 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

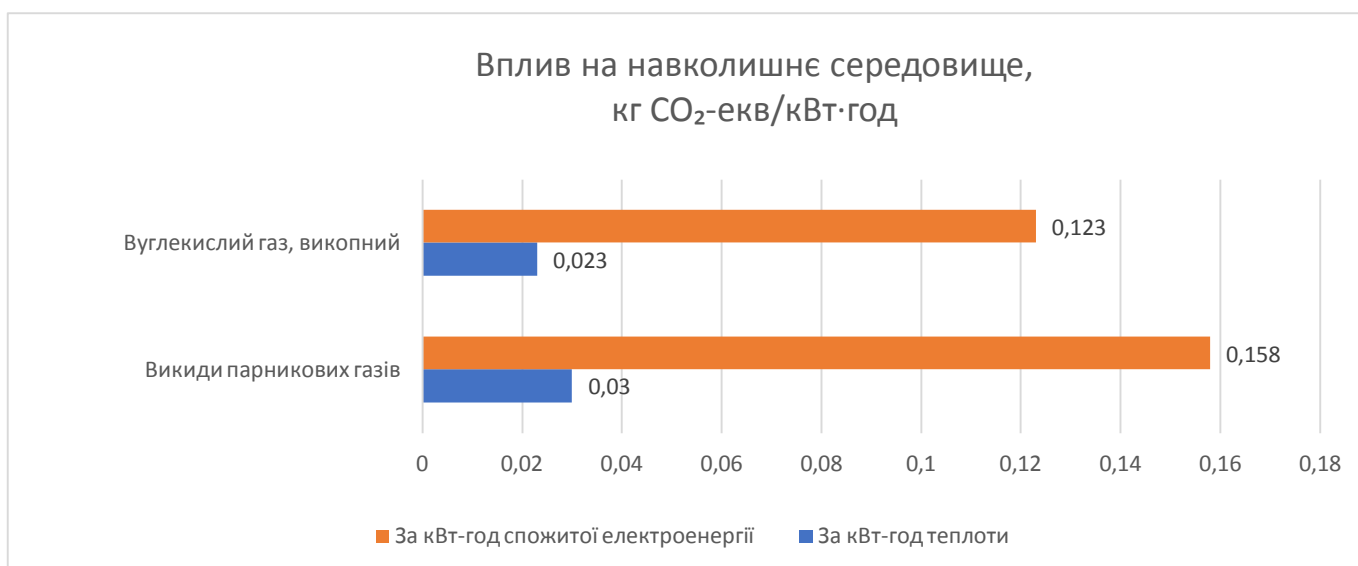
Тепловий насос «повітря-вода» Нова будівля Загальний коефіцієнт ефективності 3 Електроенергія з відновлюваних джерел Вплив на навколишнє середовище		Per kWh of heat	Per kWh of consumed electricity
Greenhouse gas emissions	kg CO ₂ -eq/kWh	0,015	0,066
Carbon dioxide, fossil	kg CO ₂ /kWh	0,005	0,021
Total primary energy factor	kWh of oil equivalent/kWh	1,057	4,652
Primary energy factor, non-renewable	kWh of oil equivalent/kWh	0,020	0,088
Primary energy factor, nuclear	kWh of oil equivalent/kWh	0,005	0,021
Final energy factor	kWh of oil equivalent/kWh	1,037	4,564
Primary energy factor, on-site renewable	kWh of oil equivalent/kWh	0,773	3,4
Primary energy factor, waste heat/waste water	kWh of oil equivalent/kWh	0,002	0,007
Environmental impact points 2021	UBP /kWh	44	195

Тепловий насос «повітря-вода» Нова 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 КОТЕЛЬНІ

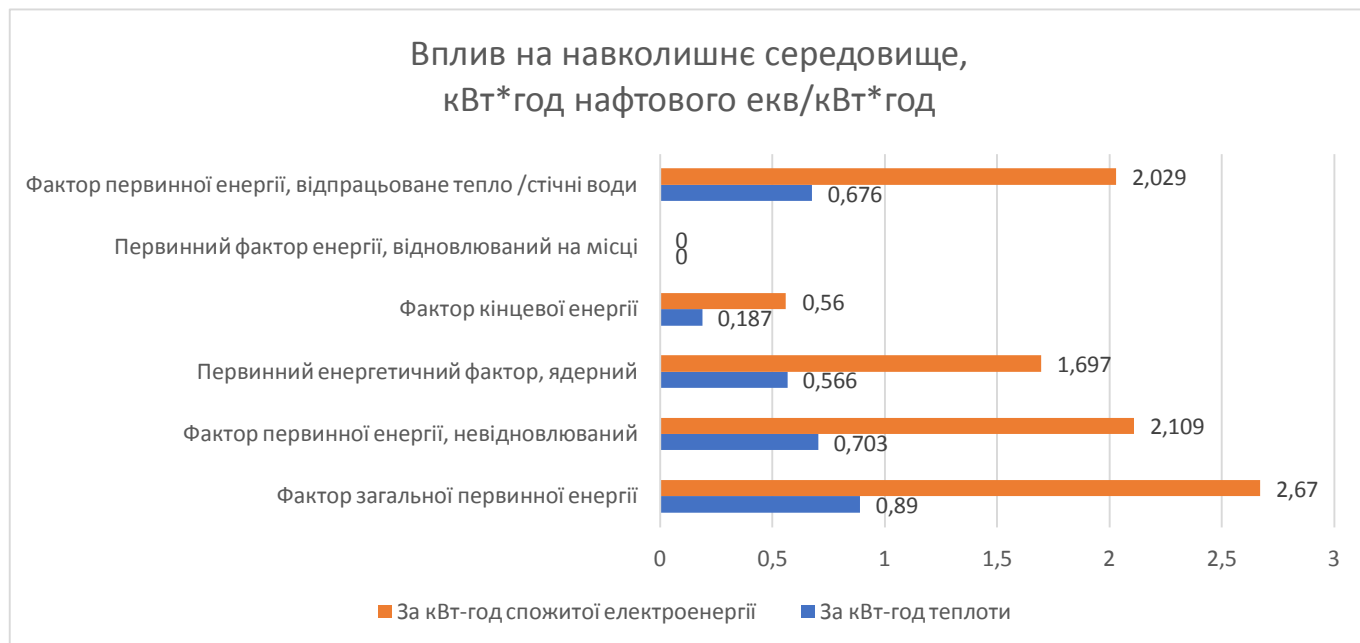


Енергетичні та екологічні показники роботи теплового насоса типу «стічні води-вода» (нова будівля) у разі значення загального коефіцієнта ефективності 3, електроенергія з мережі

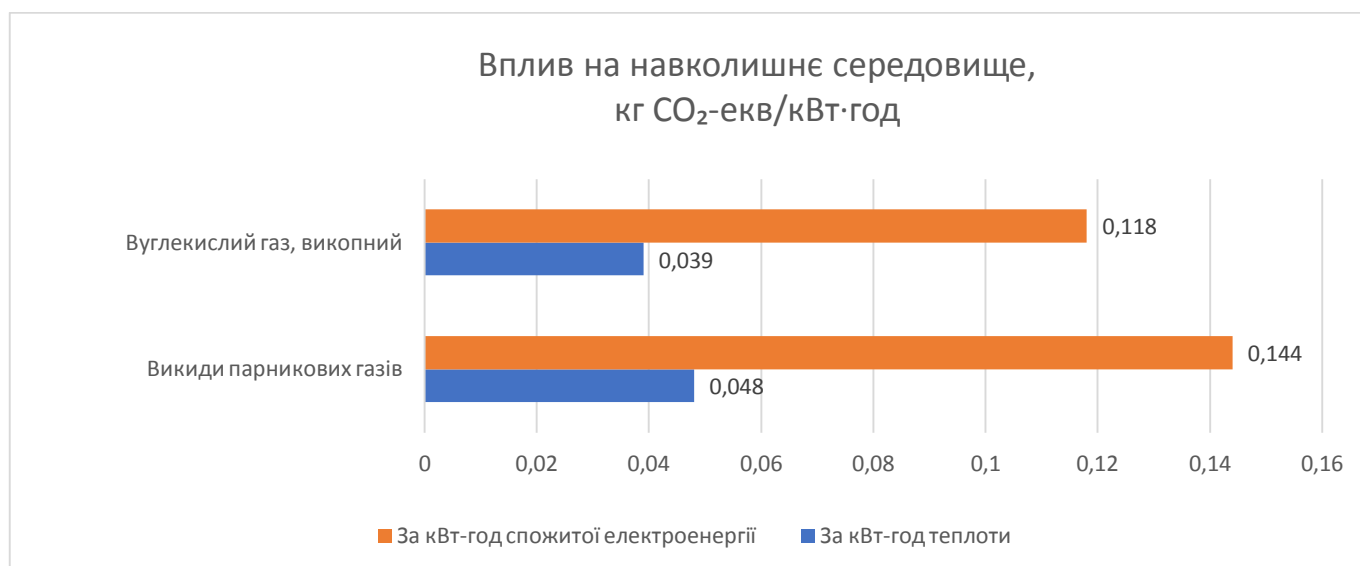


Енергетичні та екологічні показники роботи теплового насоса типу «стічні води-вода» (нова будівля) у разі значення загального коефіцієнта ефективності 3, електроенергія з мережі

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ВАРІАНТІВ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕПЛОНАСОСНИХ УСТАНОВОК В ТЕПЛОВІЙ СХЕМІ КОТЕЛЬНІ

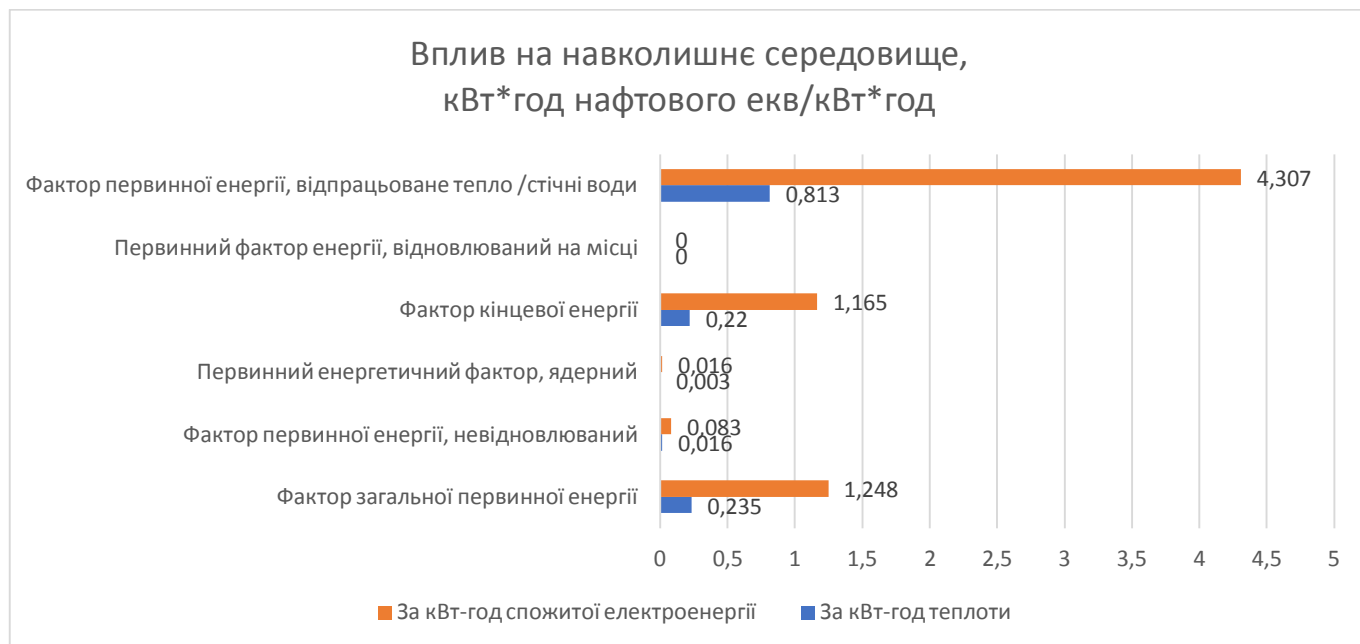


Енергетичні та екологічні показники роботи теплового насоса типу «стічні води-вода» (нова будівля) у разі значення локального коефіцієнта ефективності 3, електроенергія з мережі

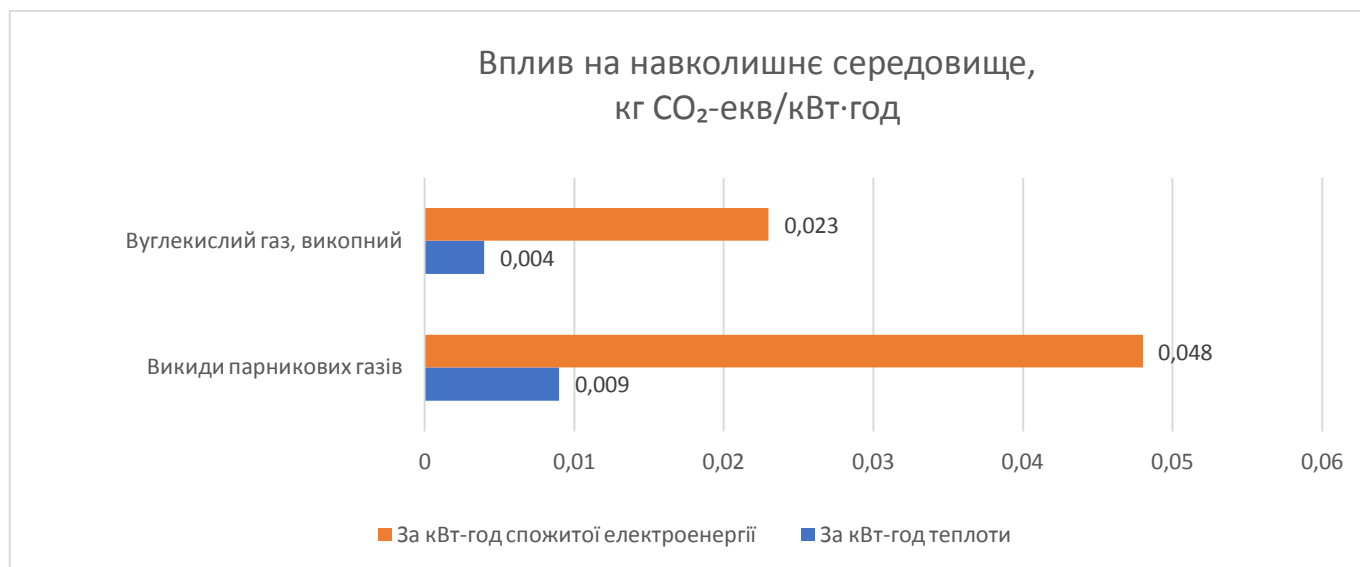


Енергетичні та екологічні показники роботи теплового насоса типу «стічні води-вода» (нова будівля) у разі значення локального коефіцієнта ефективності 3, електроенергія з мережі

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ВАРІАНТІВ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕПЛОНАСОСНИХ УСТАНОВОК В ТЕПЛОВІЙ СХЕМІ КОТЕЛЬНОЇ

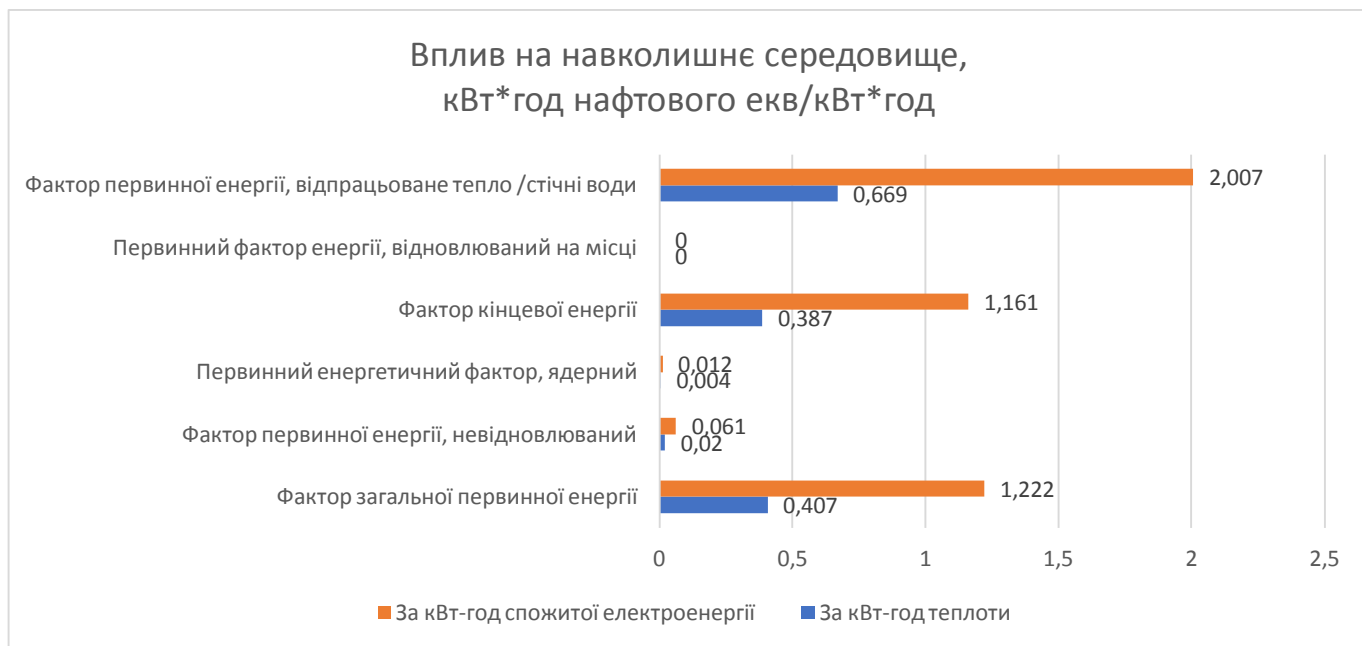


Енергетичні та екологічні показники роботи теплового насоса типу «стічні води-вода» (нова будівля) у разі значення загального коефіцієнта ефективності 3, електроенергія з відновлюваних джерел

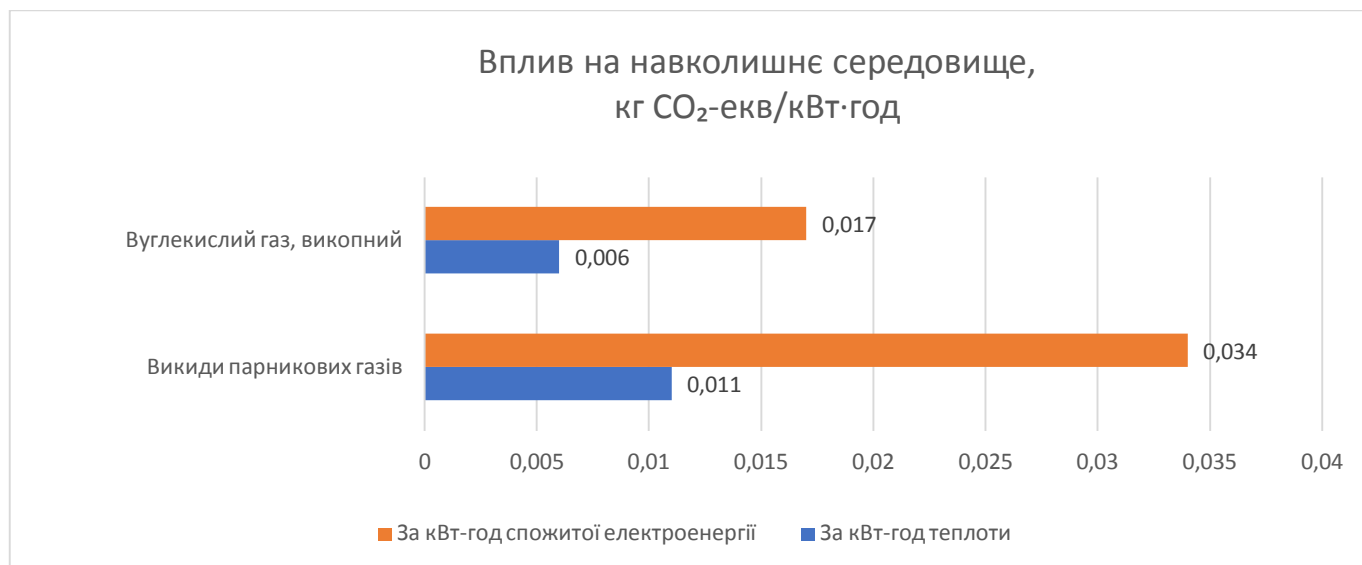


Енергетичні та екологічні показники роботи теплового насоса типу «стічні води-вода» (нова будівля) у разі для значення загального коефіцієнта ефективності 3, електроенергія з відновлюваних джерел

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ВАРІАНТІВ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕПЛОНАСОСНИХ УСТАНОВОК В ТЕПЛОВІЙ СХЕМІ КОТЕЛЬНІ



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



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