

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 опалювальної
водогрійної котельні»

08-15.МКР.013.00.00.000 ПЗ

Виконав: студент 2 курсу групи ТЕ-23м
спеціальності 144 - теплоенергетика
(шифр і назва спеціальності)
Шиндир О. В.
(прізвище та ініціали студента)

Керівник Остапенко О. П.
(прізвище та ініціали)
« 09 » 12 2024 р.

Опонент Андрухов В. М.
(прізвище та ініціали)
« 24 » 12 2024 р.

Допущено до захисту
Завідувач кафедри ТЕ

К.т.н., доц. Дмитро СТЕПАНОВ
(прізвище та ініціали)
« 24 » 12 2024 р.

Вінниця ВНТУ - 2024 рік

Дніпровський 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.

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

ШИНДИРУ ОЛЕКСАНДРУ ВОЛОДИМИРОВИЧУ

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Підвищення енергоефективності в тепловій схемі опалювальної водогрійної котельні»

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.

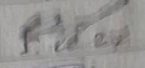
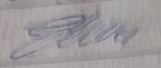
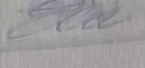
3. Вихідні дані до роботи: Потужність системи опалення 7,57 МВт; потужність системи гарячого водопостачання 3,23 МВт; температурний графік теплової мережі 95/70°C; паливо – природний газ; теплота згорання палива 34 МДж/м³.

4. Зміст текстової частини: аналітичний літературний огляд; методичні основи з математичного моделювання систем енергозабезпечення з тепловими насосами; моделювання роботи теплонасосної установки в тепловій схемі водогрійної котельні; моделювання екологічного впливу варіантів модернізації теплової схеми опалювальної водогрійної котельні; економічна частина

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

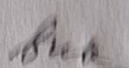
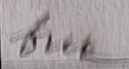
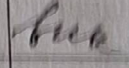
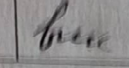
схема монтажна аксонометрична; план розташування обладнання та трубопроводів; розрізи; календарний план; результати математичного моделювання (2 листи); результати дослідження варіантів застосування теплонасосних установок в тепловій схемі котельні (4 листи); схема теплової котельні з когенераційною теплонасосною установкою (плакат)

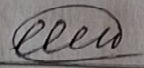
6. Консультанти розділів роботи

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

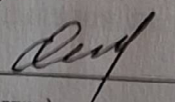
7. Дата видачі завдання 23.09.24

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів МКР	Срок виконання етапів МКР	Примітка
1	Аналітичний літературний огляд	25.09.2024 – 05.10.2024	
2	Методичні основи з математичного моделювання систем енергозабезпечення з тепловими насосами	06.10.2024 – 18.10.2024	
3	Моделювання роботи теплонасосної установки в тепловій схемі водогрійної котельні	19.10.2024 – 02.11.2024	
4	Моделювання екологічного впливу варіантів модернізації теплової схеми опаловальної водогрійної 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	

Студент 
(підпис)

Шиндляр О. В.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи 
(підпис)

Остапенко О.П.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

УДК 621.577

Шиндир О. В. Підвищення енергоефективності в тепловій схемі опалювальної водогрійної котельні. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 144 – Теплоенергетика, освітня програма - Теплоенергетика. Вінниця: ВНТУ, 2024. 105 с. На укр. мові. Бібліогр.: 42 назви; рис.: 54; табл. 9.

В магістерській кваліфікаційній роботі (МКР) оцінюється підвищення енергоефективності в тепловій схемі опалювальної водогрійної котельні, що забезпечується шляхом застосування когенераційної теплонасосної установки з використанням вторинних енергоресурсів. В МКР виконано аналітичний огляд літературної інформації, оцінено технічні 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 опалювальної водогрійної котельні. Обрано до проектування варіант модернізації теплової схеми опалювальної водогрійної 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, водогійна опалювальна котельня, витрата палива

ABSTRACT

Shyndyr O. V. Increasing of energy efficiency in the thermal scheme of a heating and hot water boiler house. Master's qualification work in the specialty 144 - Heat and power engineering, educational program - Heat and power engineering. Vinnytsia: VSTU, 2024. 105 p. In Ukrainian. Bibliography: 42 titles; fig.: 54; table. 9.

The master's qualification work (MQW) assesses the increase in energy efficiency in the thermal scheme of a heating and hot water boiler house, which is provided by the use of a cogeneration heat pump installation using secondary energy resources. The MQW provides an analytical review of literary information, assesses the technical 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 the heating water boiler house were determined. The option of modernizing the thermal scheme of the heating water boiler room with a heat pump installation using the heat of secondary energy resources was selected for design. The estimate and economic indicators of the implementation of a cogeneration heat pump installations in the boiler house were developed.

The graphic part consists of 10 sheets.

Keywords: energy efficiency, heat pump installation, cogeneration installation, water heating boiler house, fuel consumption

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 АНАЛІТИЧНИЙ ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД	9
1.1 Ситуація в європейському секторі теплових насосів у 2024 році.....	9
1.2 Висновки до розділу 1.....	23
2 МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ З МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ З ТЕПЛОВИМИ НАСОСАМИ.....	24
2.1 Аналіз показників ефективності систем енергозабезпечення з тепловими насосами, структури системи, методики розрахунків.....	24
2.2 Методика досліджень ефективності роботи водогрійних котельних з тепловими насосами.....	60
2.3 Математичне програмне забезпечення розрахунків теплових схем з ТНУ	63
2.4 Висновки до розділу 2.....	64
3 МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ТЕПЛОНАСОСНОЇ УСТАНОВКИ В ТЕПЛОВІЙ СХЕМІ ВОДОГРІЙНОЇ КОТЕЛЬНОЇ.....	65
3.1 Показники роботи теплової схеми котельні	65
3.2 Моделювання роботи теплонасосної установки в тепловій схемі опалювальної водогрійної котельні.....	67
4 МОДЕЛЮВАННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО ВПЛИВУ ВАРІАНТІВ МОДЕРНІЗАЦІЇ ТЕПЛОВОЇ СХЕМИ ОПАЛЮВАЛЬНОЇ ВОДОГРІЙНОЇ КОТЕЛЬНОЇ	77
5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	87
ВИСНОВКИ.....	98
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	100
Додаток А (обов'язковий). ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ.....	107
Додаток Б (обов'язковий). ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ.....	108
Додаток В. ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА.....	113

ВСТУП

Актуальність теми. Підвищення енергоефективності водогрійних котельних є актуальним через:

- Зростання цін на енергоносії та необхідність скорочення експлуатаційних витрат,
- Екологічні вимоги щодо зменшення викидів CO₂ та інших шкідливих речовин,
- Застарілість обладнання більшості котельних (ККД нижче 80%),
- Впровадження державних програм з енергоефективності та модернізації теплового господарства

Основними напрямками підвищення ефективності їх є:

- Заміна застарілих котлів на сучасні з ККД >92%
- Встановлення автоматизованих систем управління
- Впровадження утилізаторів теплоти димових газів
- Оптимізація режимів горіння та водопідготовки
- Впровадження нових сучасних альтернативних технологій.

Такі заходи дозволяють знизити споживання палива на 15-30% та покращити екологічні показники котельних. 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 водогрійної опалювальної котельні шляхом застосування когенераційної теплонасосної установки.

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

1. Виконати аналітичний огляд літературної інформації із визначення шляхів підвищення енергоефективності шляхом застосування теплонасосних установок.

2. Оцінити фактори ефективності систем з тепловими насосами, критерії ефективності, проаналізувати математичну модель та визначитись із застосуванням програмним забезпеченням для проведення досліджень для забезпечення підвищення енергоефективності в тепловій схемі водогрійної опалювальної котельні.

3. Розробити рішення з технології монтажу нового обладнання в тепловій схемі водогрійної опалювальної котельні.

4. Виконати оцінку економічних показників варіанту модернізації в схемі котельні.

Об'єктом дослідження є тепла схема опалювальної водогрійної котельні, що відпускає тепло для потреб опалення та гарячого водопостачання.

Предметом дослідження є способи та засоби з підвищення енергоефективності в тепловій схемі опалювальної водогрійної котельні.

Методи дослідження

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

Новизна отриманих результатів

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

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

Апробація роботи

Основні результати досліджень МКР було апробовано на Міжнародній науково-практичній конференції.

Публікації результатів МКР. Результати представлених в МКР наукових досліджень опубліковані у тезах доповіді 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 105 сторінок. МКР містить ілюстрації, графічні залежності, необхідні креслення.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

1.1 Ситуація в європейському секторі теплових насосів у 2024 році

Теплові насоси є повною частиною законодавства ЄС. Вони є центром ряду законів. Вони варіюються від планів ЄС щодо більшої енергетичної незалежності та декарбонізації промисловості до переглянутих кліматичних та енергетичних цілей до 2030 року.

Політики ЄС визначили теплові насоси як центральне місце в конкурентоспроможній, стійкій Європі, заснованій на успішних секторах чистих технологій. Принаймні 60% теплових насосів, які продаються в Європі, також виробляються тут, і цей показник буде збільшуватися.

Ринок теплових насосів зростає. У 2023 році в 21 європейській країні було продано 3,02 мільйона теплових насосів, в результаті чого загальний запас склав приблизно 24 мільйони. Зараз у Європі є понад 250 виробничих потужностей, а сектор теплових насосів становить 7 мільярдів євро.

24 мільйони теплових насосів, які зараз встановлені в Європі, дозволяють уникнути викидів парникових газів, що еквівалентно видаленню 7,5 мільйонів автомобілів з доріг (див. Рис. 1.1) [2].

З іншого боку, зростання ринку сповільнюється, особливо в останніх кварталах минулого року. У 2023 році річне зростання скоротилося вперше за десятиліття.

Перед ринковим звітом 2024 року ЕНРА скоригувала продажі теплових насосів, розділивши 21 країну на один із трьох кліматичних регіонів: холодніший, середній і тепліший. Для більш холодних країн, таких як Данія, Фінляндія та Швеція, припустили, що 90% проданих систем використовувалися як первинні опалювальні пристрої. Блоки в «середніх кліматичних зонах» історично не враховувалися через відсутність достовірної інформації щодо їх використання для опалення чи охолодження. У більш теплих країнах, таких як Франція, Італія та Португалія, використовували поправку в 9,5% на основі дослідження італійського ринку 2013 року.

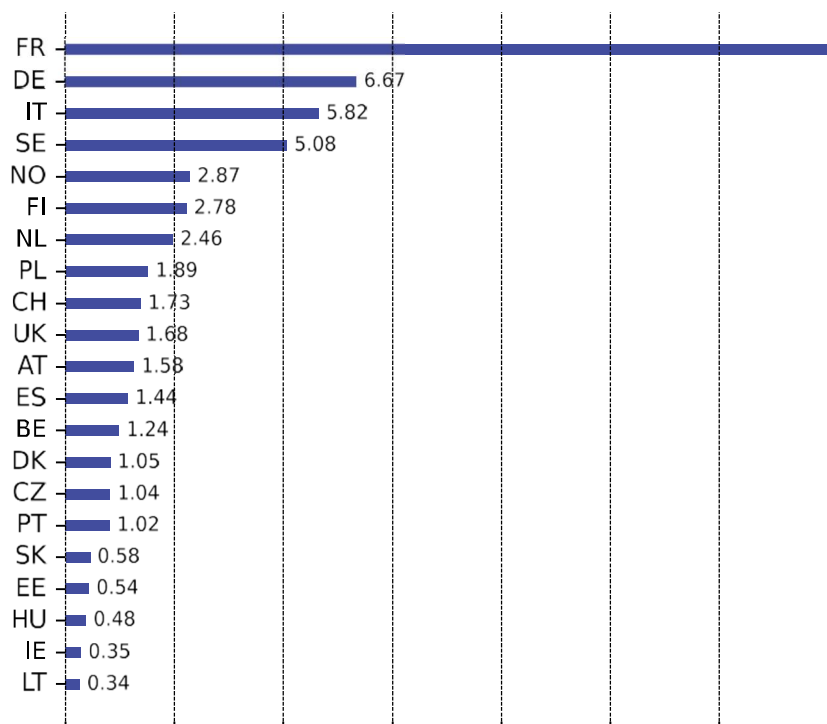


Рисунок 1.1 - Зниження викидів парникових газів від застосування теплових насосів, Мт

З тих пір ситуація з тепловими насосами змінилася, і обговорення з членами ЕНРА показали, що значення в 9,5% було застарілим та недооцінювала кількість систем, які використовуються для опалення. Крім того, ЕНРА раніше повідомляла лише про продажі з дев'яти країн і доклала зусиль, щоб збільшити цю кількість за допомогою нових національних коригувальних коефіцієнтів [3].

Замість того, щоб використовувати поправочний коефіцієнт, ЕНРА розробила методологію, засновану на кліматичних зонах, щоб обчислити національний поправочний коефіцієнт для кожної країни. Новий метод передбачає оцінку продажів теплових насосів, що використовуються для опалення, шляхом коригування загальних показників продажів на основі кліматичних зон, визначених Європейською комісією SHARES Tool Manual. Специфіка цієї методології детально описана в Додатку до звіту про ринок ЕНРА за 2024 рік. Новий метод призвів до нових коригувальних коефіцієнтів для Франції (21,5%), Італії (11,3%) та Польщі (66,5%), причому ці зміни були схвалені кожною країною. національної асоціації [4].

На рис. 1.2 показана динаміка продажів за роками та типами теплових насосів (основна функція яких - опалення).

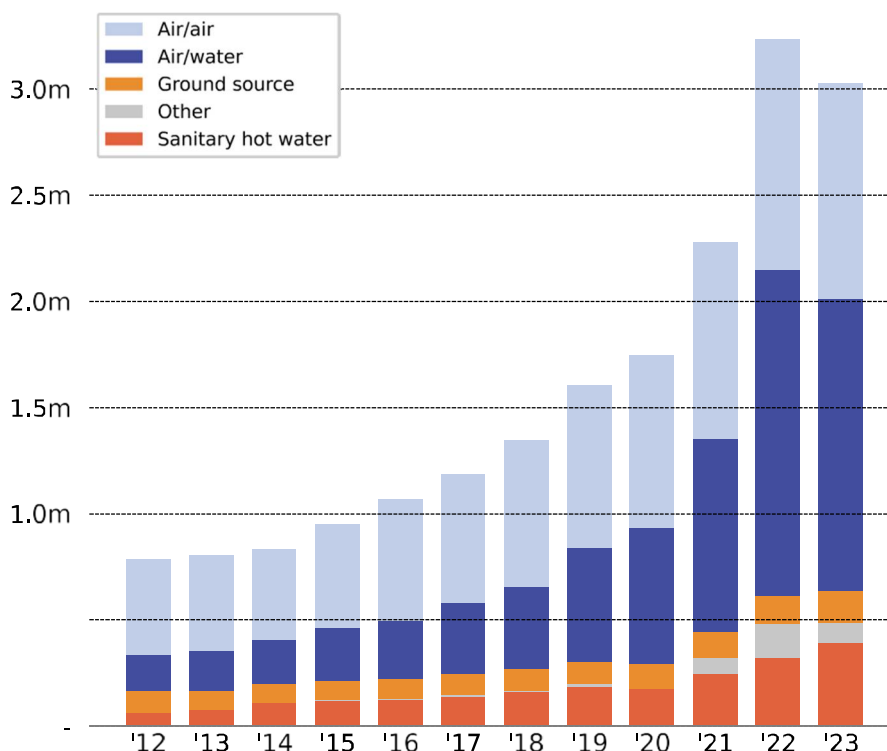


Рисунок 1.2 - Розвиток продажів за роками та типами теплових насосів (основна функція - опалення)

Продажі теплових насосів у Франції, Італії та Польщі тепер становлять більшу частку від загального обсягу. Ці зміни покращують точність і представлення даних теплового насоса, а також актуальність систем повітря-повітря. Загальні тенденції, що спостерігаються на ринку теплових насосів, залишаються відповідними попереднім звітам. Ці переглянуті дані допомагають краще зрозуміти ринкову динаміку та зростаючу роль теплових насосів повітря-повітря в системах опалення в різних регіонах [5].

На рис. 1.3 представлені зміни в продажах теплових насосів з 2022 по 2023 роки, спостерігається відносне уповільнення в більшості країн.

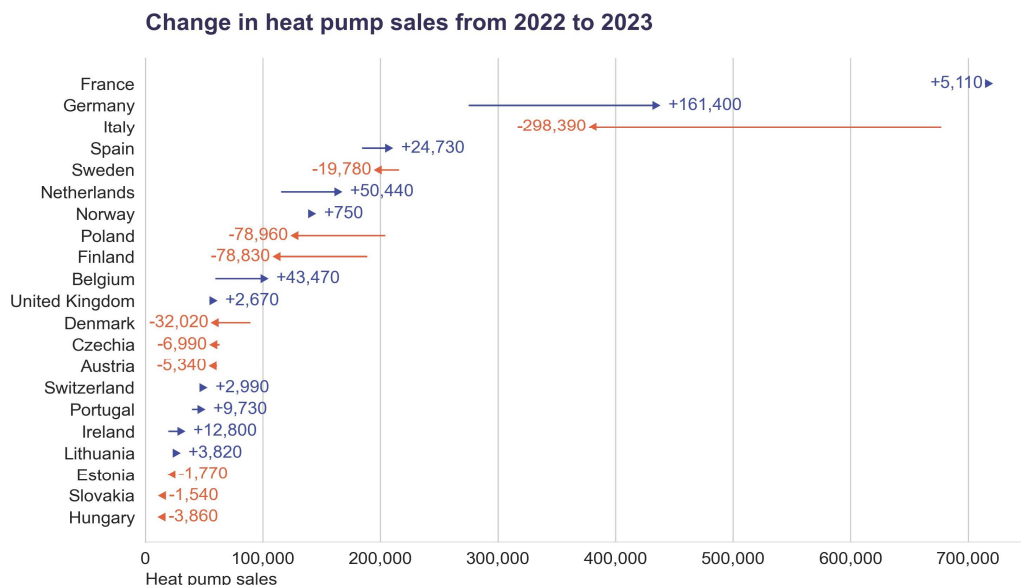


Рисунок 1.3 - Зміни в продажах НР з 2022 по 2023 роки, відносно уповільнення в більшості країн

Якщо цей рівень річних продажів не збільшиться, ЄС не зможе досягти своїх амбіцій: у 2030 році буде встановлено майже 60 мільйонів теплових насосів, у 2030 році не вистачатиме близько 15 мільйонів теплових насосів.

На рис. 1.4 представлені плани ЄС з встановлення теплових насосів до 2030 року порівняно з поточними темпами (встановлені теплові насоси).

Недостатність вплине на все, від робочих місць у секторі до мільярдів євро інвестицій, які він зараз залучає – на 2022-2025 роки заплановано 7 мільярдів євро інвестицій.

Згідно з новим дослідженням на 16 європейських ринках, дешевий газ і дорогі банківські кредити є двома основними причинами падіння продажів теплових насосів минулого року.

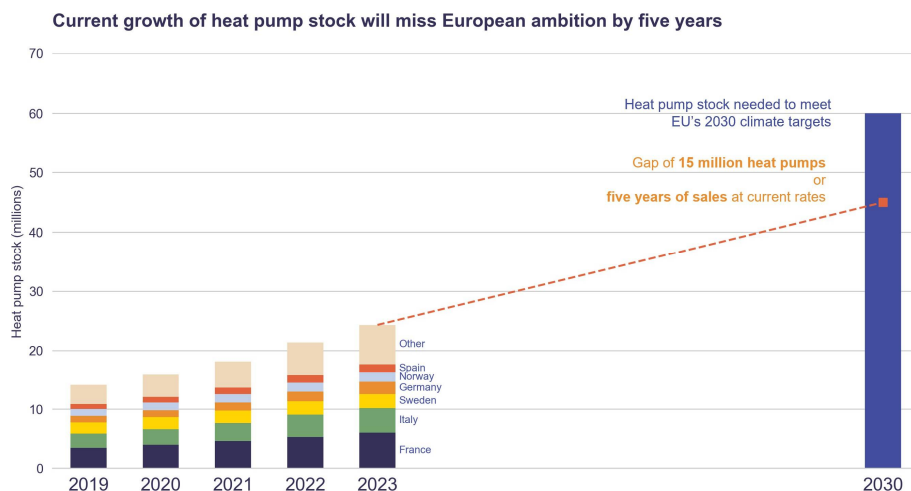


Рисунок 1.4 - Плани ЄС з встановлення теплових насосів до 2030 року порівняно з поточними темпами (встановлені теплові насоси)

Зниження на 5% з 2,77 мільйона одиниць, проданих у 2022 році, до 2,64 мільйона у 2023 році перевернуло десятиліття зростання.

Незважаючи на те, що ситуація в кожній країні є унікальною, у звіті Європейської асоціації теплових насосів (ЕНРА) є спільні причини для зниження продажів.

Ще один вирішальний вплив спричинили ціни на енергоносії, особливо падіння ціни на газ — коли ціни на електроенергію часто оподатковуються великими податками. Так відбувається, наприклад, у Польщі, де зараз електроенергія в чотири рази дорожча за газ, і немає ясності щодо майбутніх рівнів цін на електроенергію, тоді як ціни на газ «заморожені» урядом. Словаччина, де ціни на електроенергію втричі вищі за газ, має подібний досвід [6].

У Фінляндії та Франції уповільнення нових житлових проектів, спричинене високими відсотковими ставками, частково стало причиною падіння продажів. В Іспанії темпи оновлення сповільнилися, тобто газові котли не замінюють тепловими насосами. У Португалії інфляція сильно б'є по споживачах і сповільнює витрати.

Вирішення проблем може не тільки оживити ринок теплових насосів, але й сприяти більшій енергетичній незалежності, декарбонізації опалення та охолодження та сталому зростанню європейського сектору опалення та охолодження.

Загалом, зміна політики є фактором номер один, який повертається знову і знову, з варіаціями залежно від країни. Наприклад, оголошена майбутня більш висока схема субсидій в Австрії могла змусити зацікавлених споживачів відкласти купівлю теплового насоса. З іншого боку, припинення державної підтримки в Італії послабило інтерес споживачів. У Нідерландах тривала відсутність уряду викликала обережність.

Інший вирішальний вплив спричинили ціни на енергоносії. Вони продовжують спотворюватися на користь газу та викопного палива, а ціни на електроенергію часто оподатковуються великими податками. Енергетична криза 2022 року призвела до тимчасового підвищення цін на газ на користь електричних теплових насосів, але це вже не так. У Польщі, наприклад, зараз ціна на електроенергію в чотири рази вища за газ, і немає ясності щодо майбутніх рівнів цін на електроенергію, тоді як ціни на газ «заморожені» урядом. Словаччина, де ціни на електроенергію втричі вищі за газ, має подібний досвід [7].

Співвідношення цін самі по собі не пояснюють різницю в продажах теплових насосів між країнами. Фінляндія та Норвегія показують співвідношення цін на мазут.

З точки зору окремих країн, найбільшими ринками зараз є Франція та Німеччина, причому Франція та Італія мають найбільшу загальну кількість встановлених пристроїв. За кількістю теплових насосів на душу населення зараз лідери Норвегія та Фінляндія.

На рис. 1.5 представлені продажі теплових насосів у 2023 році за країнами.

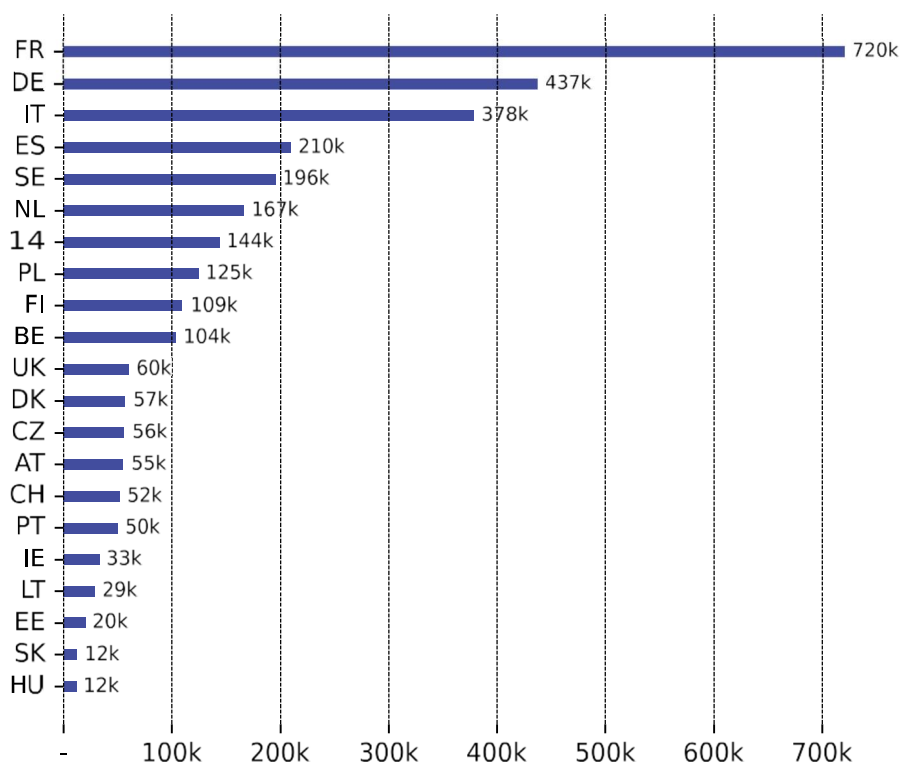


Рисунок 1.5 - Продажі теплових насосів у 2023 році за країнами

Якщо зростання ринку теплових насосів продовжить скорочуватися, це поставить під загрозу конкурентоспроможність Європи та її шлях до енергетичної незалежності та кліматичної нейтральності. Європейська індустрія теплових насосів — це світовий сектор чистих технологій, який поступово завойовує частку ринку газових котлів. Життєво важливо підтримувати цей сектор, щоб він спирався на свою чудову базу, щоб використати свій потенціал, гарантуючи, що Європа очолить глобальний перехід до чистого опалення та охолодження [8].

На рис. 1.6 представлені продажі теплових насосів 2023 на 1000 домогосподарств.

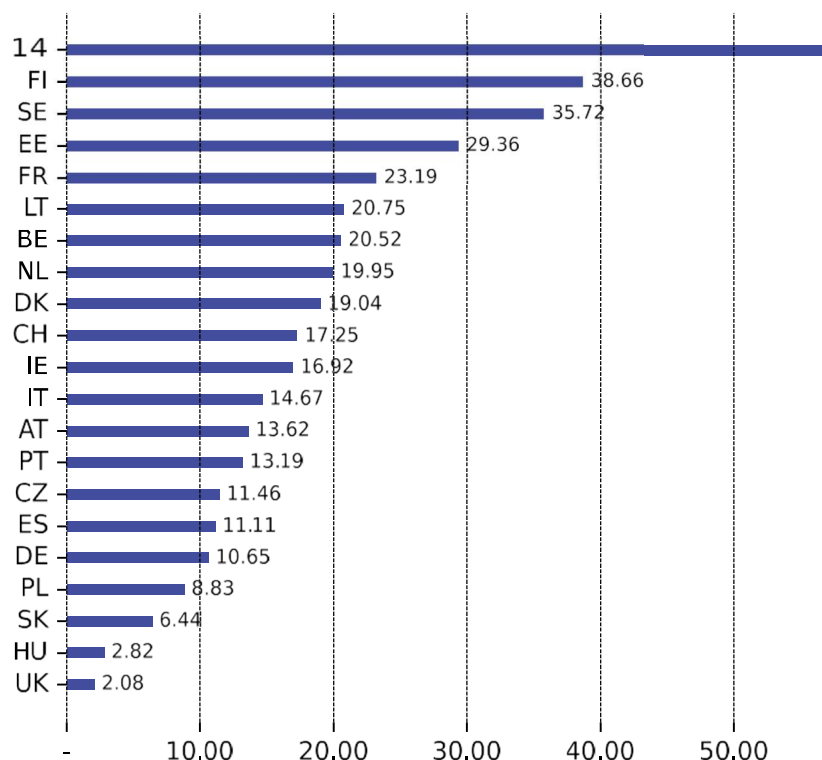


Рисунок 1.6 - Продажі теплових насосів 2023 на 1000 домогосподарств

Що має статися, щоб сектор повернувся в норму? Послідовна, раціональна та амбітна довгострокова політика щодо теплових насосів є життєво необхідною для залучення попиту на них та забезпечення інвестицій у виробництво та робочу силу ЄС.

Проте публікацію Плану дій щодо теплових насосів ЄС, який мав би дати чіткий довгостроковий політичний сигнал, було відкладено з першого кварталу 2024 року ЄС [9].

Вкрай важливо розвивати ринок теплових насосів шляхом постійної відданості технології, 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 політичних лідерів щодо напрямку руху, зокрема через План

дій теплового насоса, є ключовою. Подібні ініціативи для таких галузей, як вітрова та сонячна енергія, допомогли цим галузям процвітати.

На рис. 1.7 показані частки ринку теплових насосів, у % сукупних продажів котлів (BRG) і теплових насосів (ЕНРА), за країнами, 2023 р.

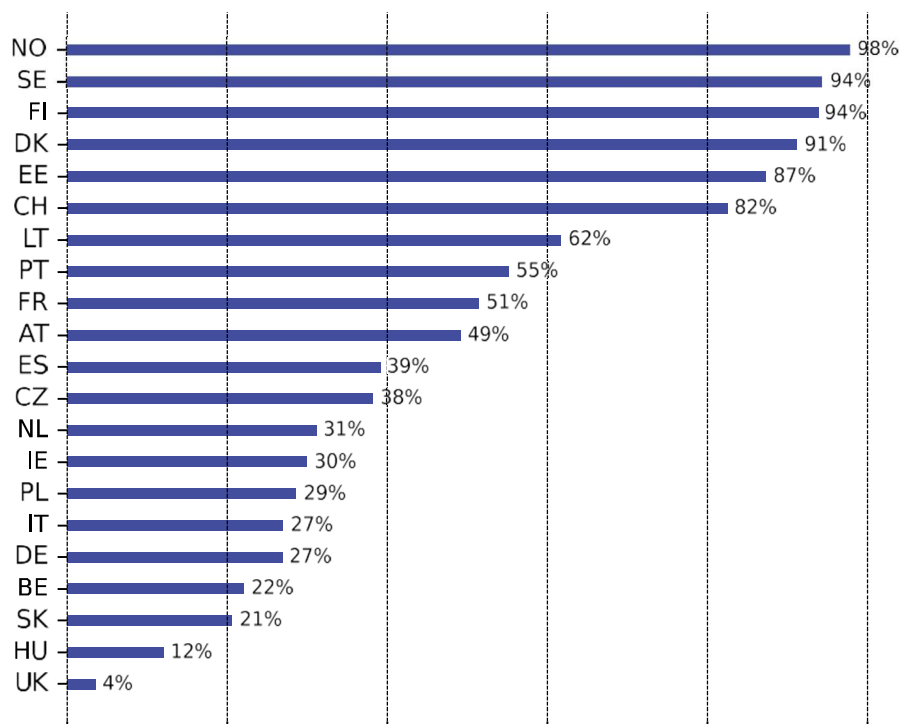


Рисунок 1.7 - Частки ринку теплових насосів, у % сукупних продажів котлів (BRG) і теплових насосів (ЕНРА), за країнами, 2023 р

Більше того, ЄС має імплементувати узгоджене законодавство, таке як пакет «Fit for 55», і надати вказівки для урядів ЄС, коли вони включатимуть це у власні закони. Все законодавство має бути гармонізовано та впорядковано, включаючи будівельні норми, сертифікати енергетичної ефективності та правила планування, що стосуються теплових насосів. Чіткі цілі щодо теплових насосів повинні бути включені до майбутнього законодавства, як це відображено в наборі даних кліматичного моделювання Європейської Комісії до 2040 року ЄС [10].

На національному рівні країни тепер мають реалізувати свої енергетичні та кліматичні плани (NECP). За цим має стежити Європейська комісія, і це може бути доповнено національними цілями та планами дій щодо теплових насосів.

Ще одна важлива сфера для відновлення продажів теплових насосів – це вартість. Зменшення витрат на теплові насоси 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 тепловий насос, вони повинні бачити швидко 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 зниження витрат є важливими для того, щоб допомогти споживачам і 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 ЄС [11].

Збільшення виробничих і монтажних потужностей є необхідною умовою для швидшого розгортання теплового насоса. Зараз цей сектор забезпечує близько 170 тисяч прямих робочих місць, і з часом цей показник зростає.

На рис. 1.8 показана зайнятість у секторі теплових насосів у 2023 році (еквівалент повної зайнятості).

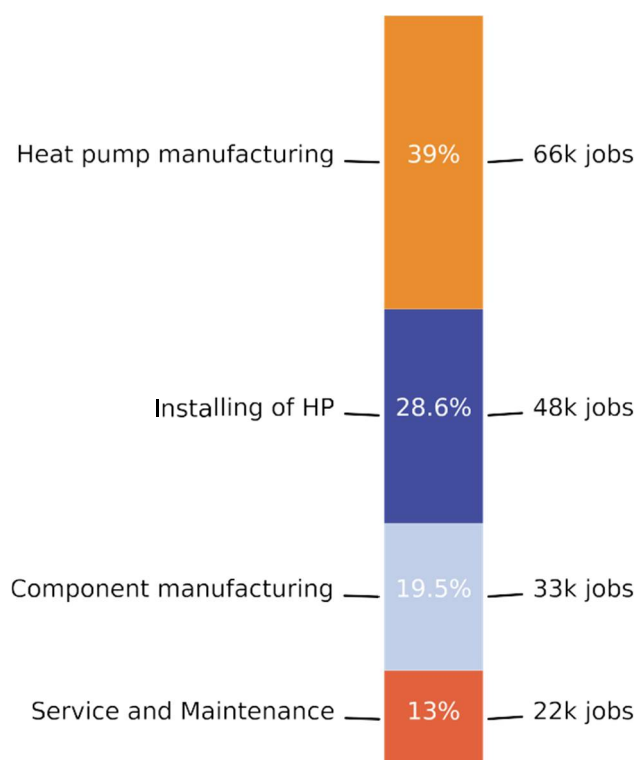


Рисунок 1.8 - Зайнятість у секторі теплових насосів у 2023 році (еквівалент повної зайнятості)

Щоб підвищити цю потужність і зміцнити конкурентоспроможність сектору теплових насосів, Європейська Комісія могла б налагодити чистий перехідний діалог з сектором. Ці діалоги є зустрічами між Європейською Комісією та промисловістю для підтримки впровадження Європейської зеленої угоди. Сектор теплових насосів також вітає би промислову стратегію ЄС щодо теплових насосів та їхніх компонентів, а також партнерство з підвищення кваліфікації теплових насосів як на рівні ЄС, так і на національному рівні, щоб забезпечити підготовку та перекваліфікацію достатньої кількості працівників ЄС [12].

Потенціал великих теплових насосів також слід розповсюджувати ширше, а їх підключення до електромережі – пріоритет. Зараз ЕНРА вперше збирає дані про великий ринок теплових насосів у Європі та використовуватиме це, щоб відзначити величезну цінність, яку вони можуть забезпечити для електрифікації промисловості та інтеграції енергетичних систем. Вже сьогодні теплові насоси можуть досягати

температури до 200°C, що достатньо для таких галузей, як харчова та паперова промисловість. Великі теплові насоси 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.

Іншим важливим аспектом теплових насосів є те, що з точки зору електричної мережі вони надзвичайно гнучкі. Це означає, що 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 та для споживачів. Однак необхідні стимули, щоб заохотити споживачів максимально використати цю гнучкість, що також слід враховувати операторам електромереж у їх плануванні мережі.

Що стосується політики ЄС щодо продуктів, ЕНРА працює над тим, щоб вони доповнювали одне одного та цільові показники ЄС щодо теплових насосів. Наприклад, правила ЄС щодо енергоефективного дизайну продуктів, включаючи теплові насоси – «Екодизайн» – мають бути якомога амбітнішими та припинити використання автономних котлів на викопному паливі.

Оскільки на опалення та охолодження припадає майже половина споживання енергії в ЄС, вирішення цього сектору є надзвичайно важливим для більш екологічного, стійкого та конкурентоспроможного Європейського Союзу ЄС [13].

Теплові насоси у три-п'ять разів ефективніші, ніж газові котли, не тільки зменшують імпорту енергії, споживання та викиди, але й захищають споживачів від коливань цін на енергію.

Зараз у секторі теплових насосів працює понад 160 000 людей, і очікується, що він значно зростатиме, створюючи робочі місця в різних секторах, включаючи виробництво, монтаж, планування та проектування.

Європейська асоціація теплових насосів розробила маніфест, у якому підсумовує ключові політичні пріоритети на 2024-2029 роки, щоб використати потенціал теплових насосів. Першим кроком має стати швидка публікація Плану дій ЄС щодо теплових насосів.

Зважаючи на ці пріоритети, політики можуть поставити чисте опалення та охолодження в центр енергетичної системи Європи сьогодні для світлого майбутнього.

ЕНРА працює за такими документами, оскільки вони важливі для сектору теплових насосів ЄС [14].

Пакет ЄС «Fit for 55%».

Пакет «Fit for 55%» включає переглянуті цілі ЄС у сфері енергетики та клімату на 2030 рік. Вони включають більш високу ціль відновлюваної енергії на 42,5% та підвищення цілей енергоефективності (-11,7%). Вищі цілі, такі як ці, корисні для теплових насосів, які можуть допомогти досягти їх у будь-яких умовах: житлових, комерційних і промислових.

ЄС прагне скоротити викиди парникових газів щонайменше на 55% до 2030 року порівняно з рівнем 1990 року. Щоб визначити, як ми цього досягнемо, він опублікував пакет «Fit for 55%».

Звертаючись до відновлюваних джерел енергії, енергоефективності, енергоефективності будівель, оподаткування енергії та торгівлі викидами вуглецю, пакет переглядає існуюче законодавство та встановлює нові правила, щоб зробити Європейський Союз вільним від викидів до 2050 року.

Теплові насоси є ключовими для досягнення цих амбітних цілей і були визначені Комісією як вирішальна технологія чистої енергії для декарбонізації опалення та охолодження. Замінюючи забруднююче опалення на викопному паливі чистою, відновлюваною енергією – і будучи в три-п'ять разів ефективнішими за газові котли – вони значно сприяють економії енергії та пом'якшенню кліматичних змін.

Директива про енергетичну ефективність будівель (EPBD).

EPBD встановлює кінцевий термін відмови від котлів, що працюють на викопному паливі, до 2040 року. Він також встановлює ціль для нових будівель з нульовим рівнем викидів до 2030 року, а для всіх будівель – до 2050 року. Ці заходи надзвичайно важливі для прискорення переходу від котлів на викопному паливі до теплових насосів.

Закон про нульову чисту промисловість.

Закон про нульову промисловість має сприяти розвитку чистих технологій, зокрема теплових насосів.

Регулювання F-газів

Положення про фторовані гази встановлює кінцеві терміни для поступової відмови від фторвмісних газів через їх потенціал погіршення глобального потепління. Деякі з них можна знайти в теплових насосах та інших приладах. Регламент було переглянуто наприкінці 2023 року зі стислим терміном. Сектор теплових насосів зобов'язаний перейти на нефторовані холодоагенти, де це технічно можливо, тепер керуючись чітким графіком, передбаченим Регламентом F-gas. Крім того, важливо дати час, щоб забезпечити широке навчання техніків і сертифікацію для роботи з усіма типами холодоагентів ЄС [15].

Екодизайн та енергетичне маркування.

Правила екодизайну – підкріплені енергетичними етикетками, орієнтованими на споживача – спрямовані на підвищення ефективності таких продуктів, як теплові насоси. ЕНРА виступає за амбітну угоду з екодизайну з чітким шляхом до відходу теплових насосів від автономних котлів на викопному паливі. Ми також наголошуємо на важливості узгодженого законодавства, яке вирівнює потреби в оновленому дизайні продукції від регулювання F-газів до тих, що є результатом перегляду екодизайну.

Цифровізація та гнучкість

Важливо, щоб теплові насоси були цифровими «розумними» та могли спілкуватися з іншими пристроями. Так само якнайкраще використовувати той факт, що їх можна використовувати, коли споживачі вирішать це зробити - наприклад, коли попит на енергію нижчий. Споживачі повинні отримувати винагороду за це, наприклад, за допомогою змінних тарифів. Європейська комісія нещодавно опублікувала кодекс поведінки для енергорозумних приладів (теплових насосів, а також пральних машин, сушильних машин), підписанти якого зобов'язалися протягом року розробити взаємосумісні підключені продукти ЄС [16 -17].

1.2 Висновки до розділу 1

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

Основною метою роботи є підвищення енергоефективності теплової схеми водогрійної опалювальної котельні шляхом застосування когенераційної теплонасосної установки.

Для досягнення встановленої мети визначені наступні завдання:

1. Виконати аналітичний огляд літературної інформації із визначення шляхів підвищення енергоефективності шляхом застосування теплонасосних установок.
2. Оцінити фактори ефективності систем з тепловими насосами, критерії ефективності, проаналізувати математичну модель та визначитись із застосовуваним програмним забезпеченням для проведення досліджень для забезпечення підвищення енергоефективності в тепловій схемі водогрійної опалювальної котельні.
3. Розробити рішення з технології монтажу нового обладнання в тепловій схемі водогрійної опалювальної котельні.
4. Виконати оцінку економічних показників варіанту модернізації в схемі котельні.

2 МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ З МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ З ТЕПЛОВИМИ НАСОСАМИ

2.1 Аналіз показників ефективності систем енергозабезпечення з тепловими насосами, структури системи, методики розрахунків

Представлена в цьому підрозділі інформація зібрана та систематизована на основі інформаційного пошуку в мережі Internet, з використанням ресурсів штучного інтелекту. Зазначена інформація використана в МКР для побудови системного підходу до оптимізації систем енергозабезпечення з тепловими насосами, здійснення комплексної оцінки.

Алгоритм оптимізації системи теплового насоса включає наступні ключові елементи:

1. Розрахунок COP (коефіцієнта перетворення енергії):

- Враховує залежність від температури навколишнього середовища
- Враховує вплив частоти компресора
- Використовує параметричну модель для опису характеристик теплового

насоса

2. Оптимізація параметрів роботи:

- Частота компресора (20-80 Гц)
- Витрата теплоносія (0.5-2.0 л/с)
- Мінімізація загального енергоспоживання

3. Врахування обмежень:

- Діапазони робочих параметрів
- Необхідна теплова потужність
- Характеристики циркуляційного насоса

Алгоритм можна налаштувати під конкретні умови, змінюючи:

- Діапазон робочих температур
- Цільову температуру теплоносія

- Параметри кривої COP
- Обмеження на параметри системи

На рис. 2.1 представлено алгоритм оптимізації системи теплового насоса.

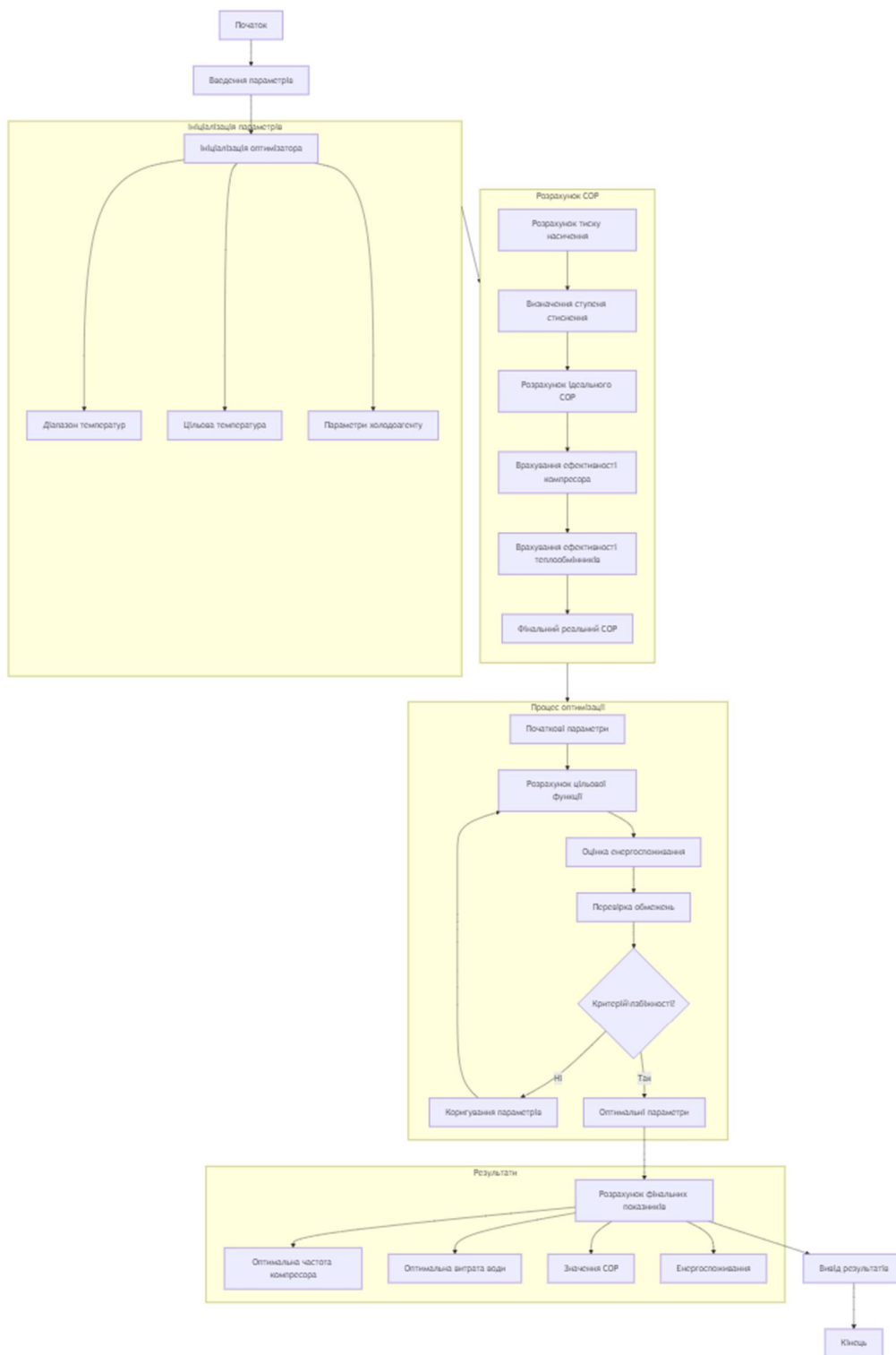


Рисунок 2.1 - Алгоритм оптимізації системи теплового насоса

У модифікованій версії цільової функції слід додати наступні важливі компоненти:

1. Врахування комфорту:

- Розрахунок відхилення від цільової температури
- Можливість налаштування ваги параметра комфорту

2. Економічні фактори:

- Вартість електроенергії
- Оцінка вартості обслуговування
- Розрахунок циклів включення/виключення

3. Розширені параметри оптимізації:

- Більш детальний вивід результатів
- Статус оптимізації
- Можливість налаштування вагових коефіцієнтів

4. Додаткові метрики:

- Кількість циклів роботи
- ККД передачі тепла
- Фактична температура теплоносія

Додатково слід врахувати:

- Ваговий коефіцієнт комфорту (comfort_weight)
- Вартість електроенергії (energy_cost)
- Параметри обслуговування
- Цільову температуру та діапазон роботи

У моделі розрахунку COP можливо додатково врахувати:

1. Термодинамічні розрахунки:

- Використання рівняння Антуана для розрахунку тиску насичення холодоагенту
- Врахування циклу Карно як теоретичного максимуму
- Розрахунок реального ступеня стиснення

2. Ефективність компресора:

- Залежність від частоти обертання
- Вплив ступеня стиснення
- Базова механічна ефективність

3. Ефективність теплообмінників:

- Залежність від витрати теплоносія
- Вплив різниці температур
- Врахування теплових втрат

4. Додаткові фактори:

- Властивості холодоагенту
- Втрати в трубопроводах
- Обмеження максимального COP до реалістичних значень

Додатково можливо змінювати:

- Параметри холодоагенту для іншого типу
- Коефіцієнти ефективності компонентів
- Температурні діапазони роботи
- Обмеження максимального COP

Економічна оптимізація теплового насоса.

Розглянемо основні аспекти економічної оптимізації теплового насоса:

1. Капітальні витрати:

- Вартість самого теплового насоса
- Витрати на монтажні роботи
- Вартість додаткового обладнання (буферна ємність, трубопроводи тощо)
- Проектні роботи

2. Експлуатаційні витрати:

- Витрати на електроенергію для роботи теплового насоса
- Технічне обслуговування
- Можливі ремонтні роботи

3. Фактори, що впливають на ефективність:

- Коефіцієнт продуктивності (COP) теплового насоса
- Кліматичні умови регіону
- Теплові втрати будівлі
- Тарифи на електроенергію

4. Економічна оптимізація включає:

- Вибір оптимальної потужності теплового насоса
- Розрахунок терміну окупності
- Порівняння з альтернативними системами опалення
- Оцінка щорічної економії

5. Рекомендації для оптимізації:

- Вибір теплового насоса з високим COP
- Правильний розрахунок потужності
- Якісна теплоізоляція будівлі
- Використання додаткових джерел енергії при потребі
- Регулярне технічне обслуговування

Детальний алгоритм визначення показників ефективності теплового насоса:

1. Збір та підготовка вхідних даних:

- Технічні характеристики теплового насоса
- Кліматичні дані регіону
- Теплотехнічні параметри будівлі
- Режимми експлуатації системи

2. Розрахунок теплового навантаження:

3. Визначення COP

4. Розрахунок SCOP

5. Визначення SPF

6. Енергетичний аналіз:

- Річне енергоспоживання:
- Теплова продуктивність:

7. Економічна ефективність

8. Екологічна ефективність

9. Додаткові показники:

- Коефіцієнт використання встановленої потужності
- Час роботи на повній потужності
- Коефіцієнт завантаження

10. Аналіз результатів:

- Порівняння з нормативними показниками
- Оцінка потенціалу оптимізації
- Розробка рекомендацій

1. Інтерпретація основних показників:

SCOP (Сезонний коефіцієнт продуктивності):

- >4.5: Відмінна ефективність

- * Система працює оптимально
- * Рекомендується підтримувати поточні налаштування

- 3.5-4.5: Добра ефективність

- * Нормальна робота системи
- * Можливі незначні оптимізації

- 2.5-3.5: Задовільна ефективність

- * Потрібна оптимізація налаштувань
- * Перевірка компонентів системи

- <2.5: Низька ефективність

- * Необхідна повна діагностика
- * Можлива модернізація обладнання

2. SPF (Фактор сезонної продуктивності):

- >4.0: Оптимальна робота

- * Система повністю відповідає проектним параметрам

- * Високий рівень енергоефективності

- 3.0-4.0: Нормальна робота

- * Система працює в межах норми

- * Можливі точкові покращення

- 2.0-3.0: Потребує оптимізації

- * Необхідний аналіз режимів роботи

- * Можливі проблеми з налаштуваннями

- <2.0: Критичний стан

- * Термінова діагностика required

- * Можливі серйозні несправності

3. Аналіз енергоспоживання:

Відхилення від проектних значень:

- $\pm 5\%$: Нормальна робота

- $\pm 5-15\%$: Потребує уваги

- $>15\%$: Необхідна оптимізація

4. Економічні показники:

Термін окупності:

- <3 років: Відмінна інвестиція

- 3-5 років: Добра інвестиція

- 5-7 років: Задовільна інвестиція
- >7 років: Потребує перегляду

5. Рекомендації щодо оптимізації:

При низьких показниках SCOP:

- Перевірка температурних режимів
- Оптимізація графіку роботи
- Аналіз теплових втрат

При низьких показниках SPF:

- Діагностика компонентів
- Перевірка холодоагенту
- Оцінка ефективності теплообмінників

6. Комплексна оцінка:

Відмінний стан системи:

- SCOP >4.5
- SPF >4.0
- Окупність <3 років

Потребує уваги:

- SCOP <3.5
- SPF <3.0
- Окупність >5 років

1. Температурна оптимізація:

При низькому SCOP:

- Зниження температури подачі теплоносія на 2-3°C
- Оптимізація температурного графіка
- Налаштування погодозалежного регулювання

2. Технічна оптимізація:

При низькому SPF:

- Очищення теплообмінників
- Перевірка тиску холодоагенту
- Оптимізація витрат теплоносіїв

3. Режимна оптимізація:

При високому енергоспоживанні:

- Програмування часових режимів
- Оптимізація циклів розморожування
- Налаштування каскадної роботи

4. Економічна оптимізація:

При довгій окупності:

- Перехід на багатотарифний облік
- Оптимізація пікових навантажень
- Використання теплоаккумуляторів

5. Комплексні заходи:

Модернізація обладнання:

- Встановлення частотних приводів
- Заміна циркуляційних насосів

- Впровадження системи моніторингу

Оптимізація алгоритмів:

- Адаптивне управління
- Предиктивна аналітика
- Самонавчальні системи

6. Моніторинг результатів:

Контрольовані параметри:

- Щоденний COP
- Тижневе енергоспоживання
- Місячна економія
- Фактичний термін окупності

1. Система моніторингу параметрів:

Основні параметри контролю:

- Температури:
 - * Вхід/вихід джерела тепла
 - * подача/зворотка системи опалення
 - * Температура приміщень
 - * Зовнішня температура
- Витрати:
 - * Витрата теплоносія джерела
 - * Витрата теплоносія системи
 - * Витрата електроенергії
 - * Теплова енергія

2. Налаштування системи управління:
3. Алгоритми оптимізації:
4. Прогнозування та аналітика:
5. Моніторинг ефективності:

Щоденний контроль:

- COP за останні 24 години
- Порівняння з базовим періодом
- Аналіз відхилень
- Рекомендації з оптимізації

Тижневий аналіз:

- Тренди енергоспоживання
- Ефективність в різних режимах
- Оцінка економії
- Корегування налаштувань

6. Звітність та аналіз:

Щомісячний звіт:

- Загальне енергоспоживання
- Середній COP
- Економічна ефективність
- Рекомендації з оптимізації

7. Оптимізація на основі даних:

Автоматичне налаштування:

- Корегування температурного графіка
- Оптимізація циклів роботи
- Адаптація до патернів використання
- Енергетичний менеджмент

1. Структуру викидів для кожної системи:

- Енергетична: 65% прямих, 35% непрямих викидів
- Транспортна: 80% прямих, 20% непрямих викидів
- Промислова: 75% прямих, 25% непрямих викидів
- Житлова: 45% прямих, 55% непрямих викидів
- Аграрна: 60% прямих, 40% непрямих викидів

2. Потенціал зниження викидів:

- Енергетична система: 40%
- Транспортна система: 35%
- Промислова система: 30%
- Житлова система: 25%
- Аграрна система: 20%

Розглянемо детальніше структуру викидів та потенціал їх зниження для кожної системи:

1. Теплові насоси:

- Прямі викиди (10-15%):
 - Витоки холодоагенту
 - Викиди при технічному обслуговуванні
- Непрямі викиди (85-90%):
 - Споживання електроенергії для роботи компресора
 - Викиди при виробництві електроенергії
- Потенціал зниження: до 60% порівняно з газовими котлами

2. Газові котли (базовий рівень порівняння):

- Прямі викиди (80-85%):
 - Спалювання природного газу
- Втрати при згорянні

- Непрямі викиди (15-20%):
- Споживання електроенергії для роботи насосів та автоматики
- Втрати при транспортуванні газу

3. Електричні котли:

- Прямі викиди (5-10%):
- Втрати при перетворенні електроенергії в тепло
- Непрямі викиди (90-95%):
- Викиди при виробництві електроенергії
- Потенціал зниження: до 20% порівняно з газовими котлами

Важливі фактори, що впливають на потенціал зниження викидів:

1. Джерела електроенергії в енергомережі
2. Кліматичні умови та сезонний коефіцієнт продуктивності (COP)
3. Ефективність обладнання та якість монтажу
4. Теплове навантаження будівлі

1. Джерела електроенергії в енергомережі:

Вплив на викиди CO₂ (кг CO₂/кВт·год):

- Вітрова енергія: 0.011
- Сонячна енергія: 0.040
- Атомна енергія: 0.012
- Природний газ: 0.490
- Вугілля: 0.820

Особливості впливу:

- Чим більша частка відновлюваних джерел, тим нижчі непрямі викиди теплового насоса
- Добові та сезонні коливання генерації впливають на ефективність
- Важливість розумного керування для використання періодів "чистої" енергії

2. Кліматичні умови та сезонний COP:

Температурні діапазони та відповідні COP:

- Помірні температури (+7°C до +12°C): COP 4.0-5.0
- Низькі температури (-7°C до +2°C): COP 2.5-3.5
- Екстремально низькі температури (нижче -15°C): COP 1.5-2.5

Фактори впливу на COP:

- Температура джерела тепла (повітря, ґрунт, вода)
- Необхідна температура теплоносія
- Вологість повітря (для повітряних теплових насосів)
- Тривалість опалювального сезону

Рекомендації для оптимізації:

1. Вибір типу теплового насоса:

- Для холодних регіонів: ґрунтові теплові насоси
- Для помірного клімату: повітряні теплові насоси

2. Налаштування режимів роботи:

- Використання погодозалежної автоматики
- Оптимізація температурних графіків
- Врахування тарифів на електроенергію

3. Додаткові заходи:

- Акумуляування тепла в періоди високого COP
- Комбінування з іншими відновлюваними джерелами
- Утеплення будівлі для зниження необхідної температури теплоносія

Розглянемо детальні стратегії оптимізації роботи теплового насоса.

1. Погодозалежне регулювання:

- Автоматичне налаштування температури теплоносія залежно від зовнішньої температури

- Використання прогнозних даних погоди для попереднього нагріву
- Адаптивні алгоритми з урахуванням теплової інерції будівлі

2. Оптимізація режимів роботи:

- Нічне зниження температури (на 2-3°C)
- Підвищення температури перед піковими навантаженнями
- Використання природного охолодження коли можливо

3. Інтеграція з відновлюваними джерелами:

- Синхронізація з власною сонячною електростанцією
- Використання надлишкової "зеленої" енергії для акумулювання тепла
- Оптимізація роботи в періоди найнижчих тарифів

4. Технічні рішення для підвищення ефективності:

- Встановлення буферної ємності для стабілізації роботи
- Використання рекуператорів для утилізації тепла
- Впровадження системи моніторингу параметрів роботи

5. Експлуатаційні заходи:

- Регулярне очищення теплообмінників
- Перевірка тиску холодоагенту
- Контроль витрати теплоносія

6. Додаткові рекомендації:

- Використання "розумних" термостатів у кожній кімнаті

- Впровадження зонального контролю температури
- Налаштування режимів роботи під конкретні потреби користувача

7. Моніторинг та аналітика:

- Відстеження реального COP
- Аналіз патернів споживання
- Оптимізація налаштувань на основі зібраних даних

Економічні аспекти впровадження стратегій оптимізації теплового насоса.

1. Структура початкових інвестицій:

Базова система:

- Тепловий насос: 8000-15000 €
- Система управління: 1500-3000 €
- Буферна ємність: 800-1500 €
- Монтажні роботи: 2000-4000 €

Додаткове обладнання для оптимізації:

- Погодозалежна автоматика: 500-1000 €
- Зональні термостати: 100-200 € за зону
- Система моніторингу: 300-800 €
- Інтеграція з СЕС: 1000-2000 €

2. Операційні витрати та економія:

Щорічні експлуатаційні витрати:

- Електроенергія: 500-1500 €/рік
- Технічне обслуговування: 150-300 €/рік
- Планові заміни: 100-200 €/рік

Потенційна економія:

- Зниження енергоспоживання: 30-40%
- Оптимізація тарифів: 10-20%
- Збільшення терміну служби: 5-10%

3. Фінансові показники:

Термін окупності:

- Базова оптимізація: 2-3 роки
- Комплексна система: 3-5 років
- Повна автоматизація: 5-7 років

ROI (Return on Investment):

- Базова оптимізація: 25-35%
- Комплексна система: 20-30%
- Повна автоматизація: 15-25%

4. Додаткові економічні переваги:

- Зниження вартості обслуговування на 15-25%
- Збільшення ринкової вартості нерухомості
- Можливість участі в програмах енергоефективності
- Захист від зростання тарифів на енергоносії

5. Фактори, що впливають на економічну ефективність:

- Кліматична зона
- Тарифи на електроенергію
- Якість утеплення будівлі
- Режим експлуатації
- Можливість використання "зеленого" тарифу

Енергетичні аспекти впровадження теплових насосів.

1. Енергетичний баланс системи:

Вхідна енергія:

- Низькопотенційне тепло джерела: 65-75%
- Електроенергія для компресора: 25-35%
- Додаткова енергія для циркуляційних насосів: 2-5%

Вихідна енергія:

- Корисне тепло для опалення: 85-95%
- Втрати в системі: 5-15%
- Теплові втрати при транспортуванні: 2-5%

2. Енергетична ефективність:

Сезонні показники:

- SCOP (Сезонний коефіцієнт продуктивності): 3.5-5.0
- SPF (Сезонний фактор продуктивності): 3.0-4.5
- Енергетична ефективність системи: 300-500%

3. Фактори впливу на енергоспоживання:

Температурні режими:

- Температура джерела тепла: оптимально +5...+15°C
- Температура теплоносія: оптимально 35-45°C
- Температурний ліфт: бажано не більше 40°C

4. Оптимізація енергоспоживання:

Технічні заходи:

- Використання частотного регулювання
- Оптимізація температурних режимів
- Мінімізація теплових втрат

Експлуатаційні заходи:

- Регулярне обслуговування
- Моніторинг енергетичних параметрів
- Оптимізація режимів роботи

5. Інтеграція з іншими системами:

Комбіновані рішення:

- Сонячні колектори
- Фотоелектричні панелі
- Теплоаккумулятори
- Рекуператори тепла

6. Енергетична безпека:

Переваги:

- Незалежність від викопного палива
- Стабільність роботи
- Можливість резервування

Технічні рішення для підвищення енергетичної ефективності теплових насосів

1. Інноваційні компоненти:

Інверторні технології:

- Змінна швидкість компресора: 30-120 Гц
- Плавне регулювання потужності
- Зниження пускових струмів на 65%
- Збільшення COP на 15-25%

Електронні TRV:

- Точне регулювання потоку холодоагенту
- Оптимізація перегріву
- Швидка реакція на зміну навантаження
- Підвищення COP на 5-10%

2. Оптимізація теплообміну:

Пластинчаті теплообмінники:

- Збільшена площа теплообміну
- Зниження гідравлічного опору
- Компактність конструкції
- Покращення COP на 8-12%

ЕС-вентилятори:

- Плавне регулювання швидкості
- Зниження споживання на 30%
- Збільшення повітряного потоку
- Підвищення COP на 3-7%

3. Інтелектуальні системи керування:

Адаптивні алгоритми:

- Самонавчання системи
- Оптимізація режимів роботи
- Врахування поведінки користувачів
- Покращення ефективності на 10-15%

Предиктивна аналітика:

- Прогнозування навантаження
- Оптимізація циклів розморожування
- Превентивне обслуговування
- Збільшення COP на 5-8%

4. Системна інтеграція:

Теплові акумулятори:

- Ємність: 300-1000 л
- Температурна стратифікація
- Згладжування пікових навантажень
- Підвищення COP на 15-20%

Геліосистеми:

- Підтримка температури джерела
- Регенерація ґрунтового контуру
- Нагрів води в міжсезоння
- Збільшення COP на 20-30%

5. Інноваційні технології:

Каскадні системи:

- Оптимізація для різних температурних рівнів
- Підвищена надійність
- Гнучкість потужності
- Збільшення загальної ефективності на 25-35%

Гібридні рішення:

- Комбінація з газовим котлом
- Оптимізація за вартістю енергії
- Підвищена надійність
- Покращення сезонної ефективності на 20-30%

Практичні аспекти впровадження технічних рішень, їх економічна ефективність

1. Аналіз інвестицій за компонентами:

Інверторні технології:

- Початкові витрати: 4000-6000€
- Річна економія: 600-900€
- Термін окупності: 2-3 роки
- ROI: 25-35%

Системи керування:

- Початкові витрати: 1500-3000€
- Річна економія: 400-600€
- Термін окупності: 2-3 роки
- ROI: 20-30%

2. Системи акумулювання:

Теплові акумулятори:

- Початкові витрати: 2000-3500€
- Річна економія: 300-500€
- Термін окупності: 4-5 років
- ROI: 15-20%

3. Вдосконалені компоненти:

Електронні TRV та ЕС-вентилятори:

- Початкові витрати: 1000-1500€
- Річна економія: 200-300€
- Термін окупності: 3-4 роки
- ROI: 18-25%

4. Фактори економічної ефективності:

Прямі заощадження:

- Зниження енергоспоживання: 25-40%
- Оптимізація пікових навантажень
- Зменшення витрат на обслуговування

Непрямі переваги:

- Збільшення терміну служби обладнання
- Підвищення надійності системи
- Зростання вартості нерухомості

5. Фінансові показники для комплексного рішення:

Повна модернізація системи:

- Загальні інвестиції: 8000-12000€
- Сумарна річна економія: 1500-2200€
- Середній термін окупності: 4-5 років
- Загальний ROI: 20-25%

6. Додаткові економічні фактори:

Державна підтримка:

- Грантові програми: 20-40% вартості
- Пільгові кредити: 5-7% річних
- Податкові пільги

Ринкові фактори:

- Зростання цін на енергоносії
- Збільшення вартості обслуговування
- Розвиток технологій

На рис. 2.2 – 2.17 наведені блок-схеми комплексного енерго-еколого-економічного аналізу та оптимізації систем теплозабезпечення з ТН, що отримано за результатами інформаційного пошуку та аналізу одержаної інформації.

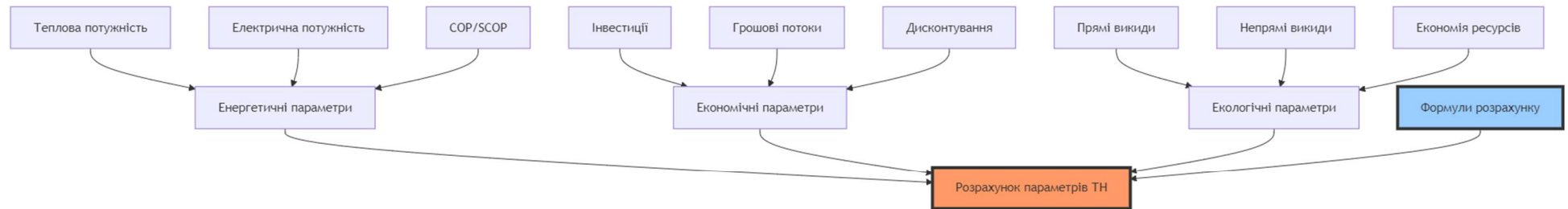


Рисунок 2.2 - Блок-схема розрахунку системи з тепловими насосами

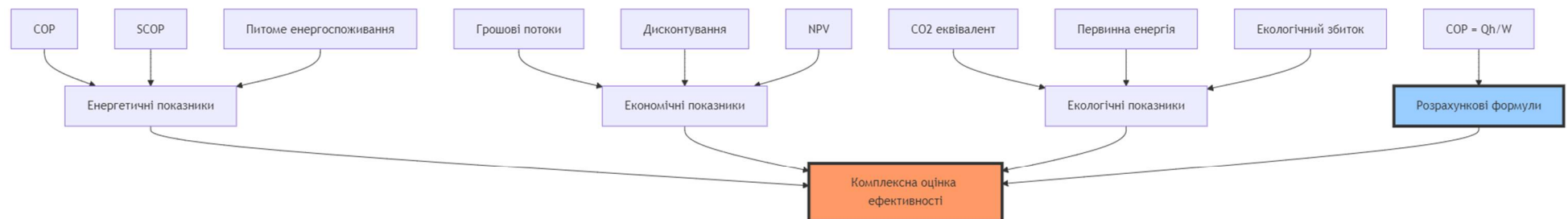


Рисунок 2.3 - Блок-схема розрахунку та комплексної оптимізації системи з тепловими насосами

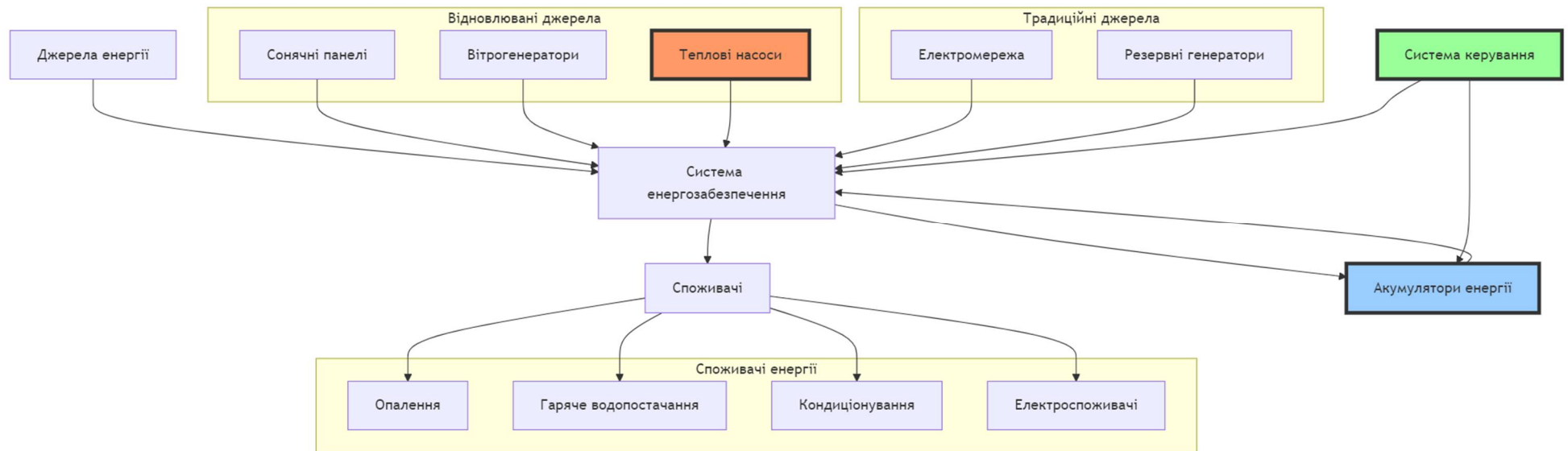


Рисунок 2.4 - Блок-схема комплексної оптимізації системи енергозабезпечення з тепловими насосами

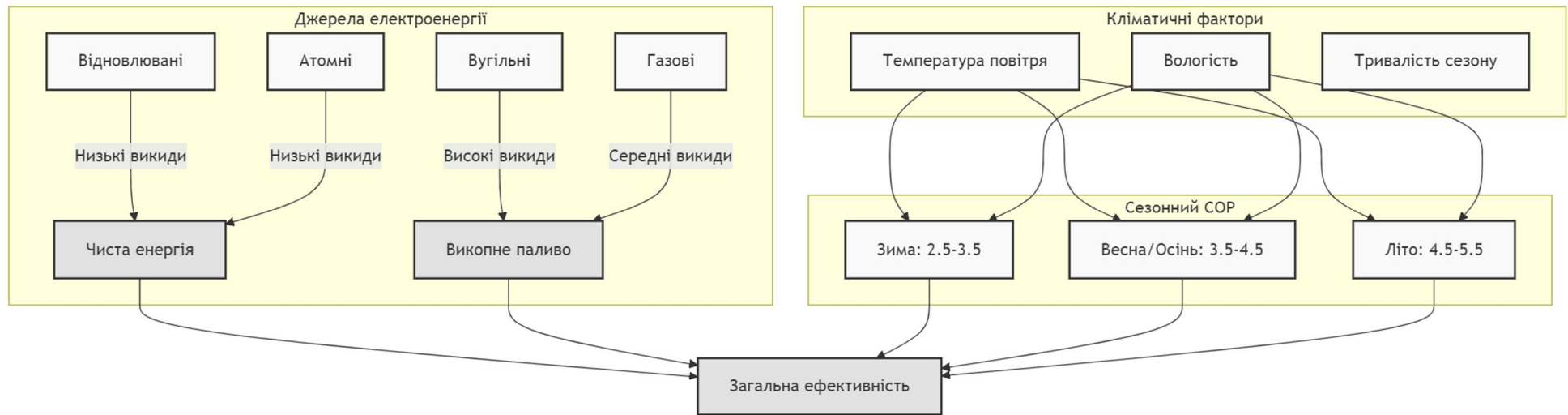


Рисунок 2.5 - Блок-схема розрахунку та енерго-екологічної оптимізації системи з тепловими насосами

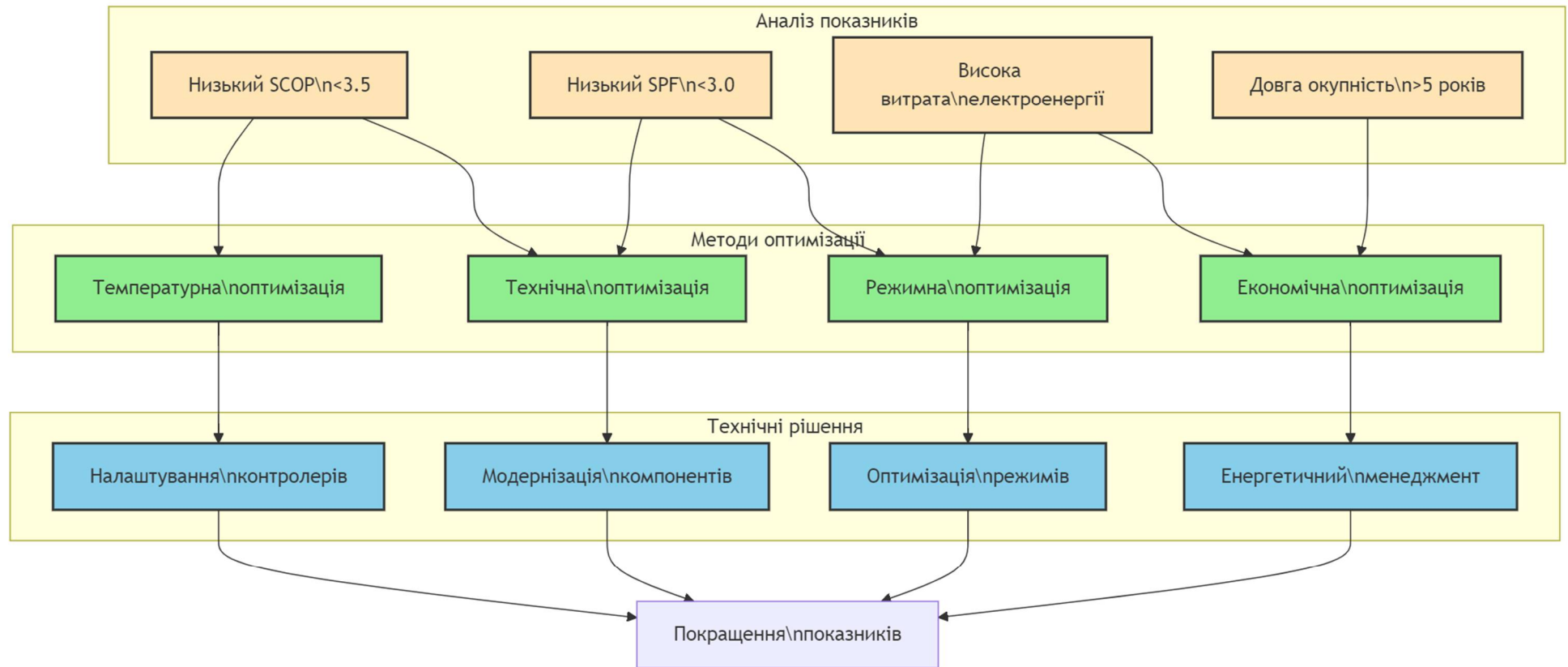


Рисунок 2.6 - Блок-схема багаторівневої комплексної оптимізації системи з тепловими насосами

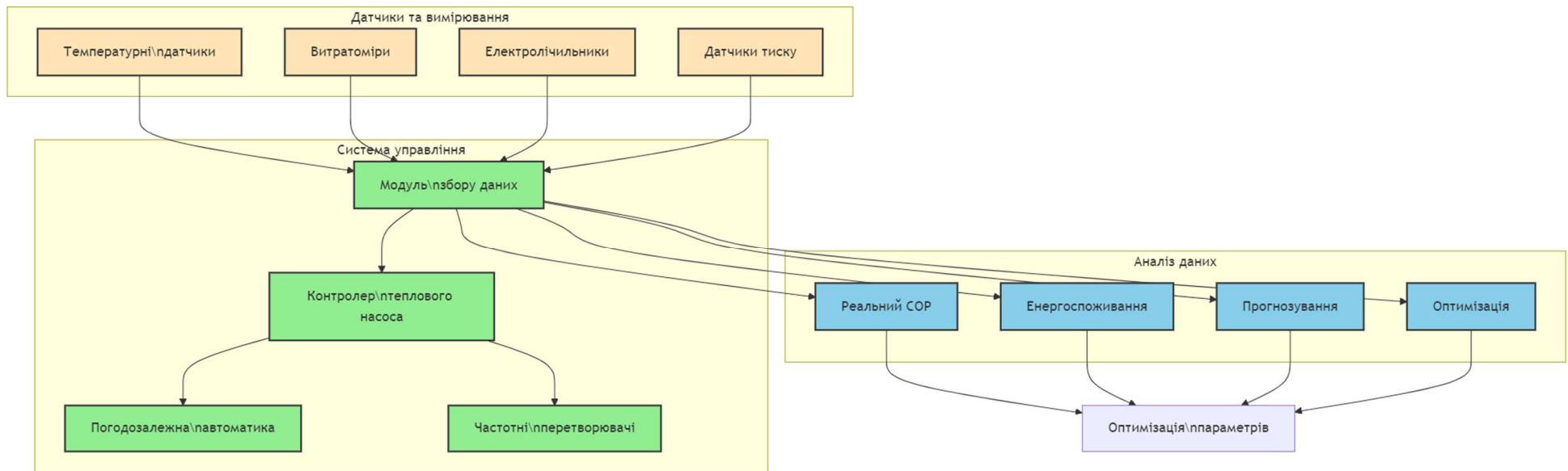


Рисунок 2.7 - Блок-схема оптимізації керування тепловими насосами

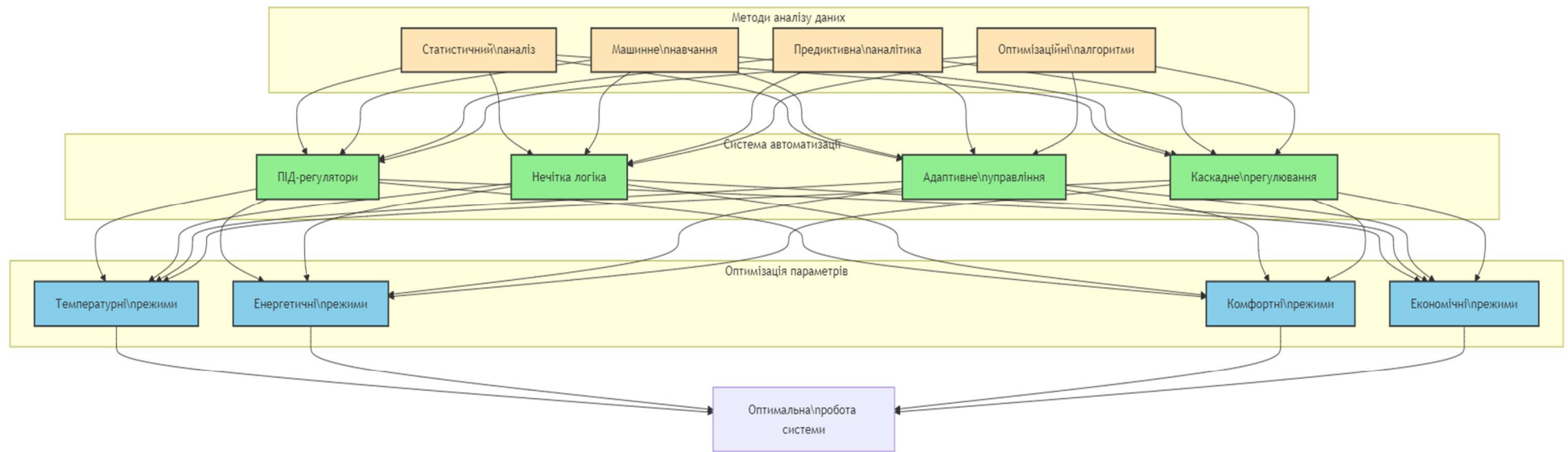


Рисунок 2.8 - Блок-схема розрахунку та комплексної оптимізації системи з тепловими насосами

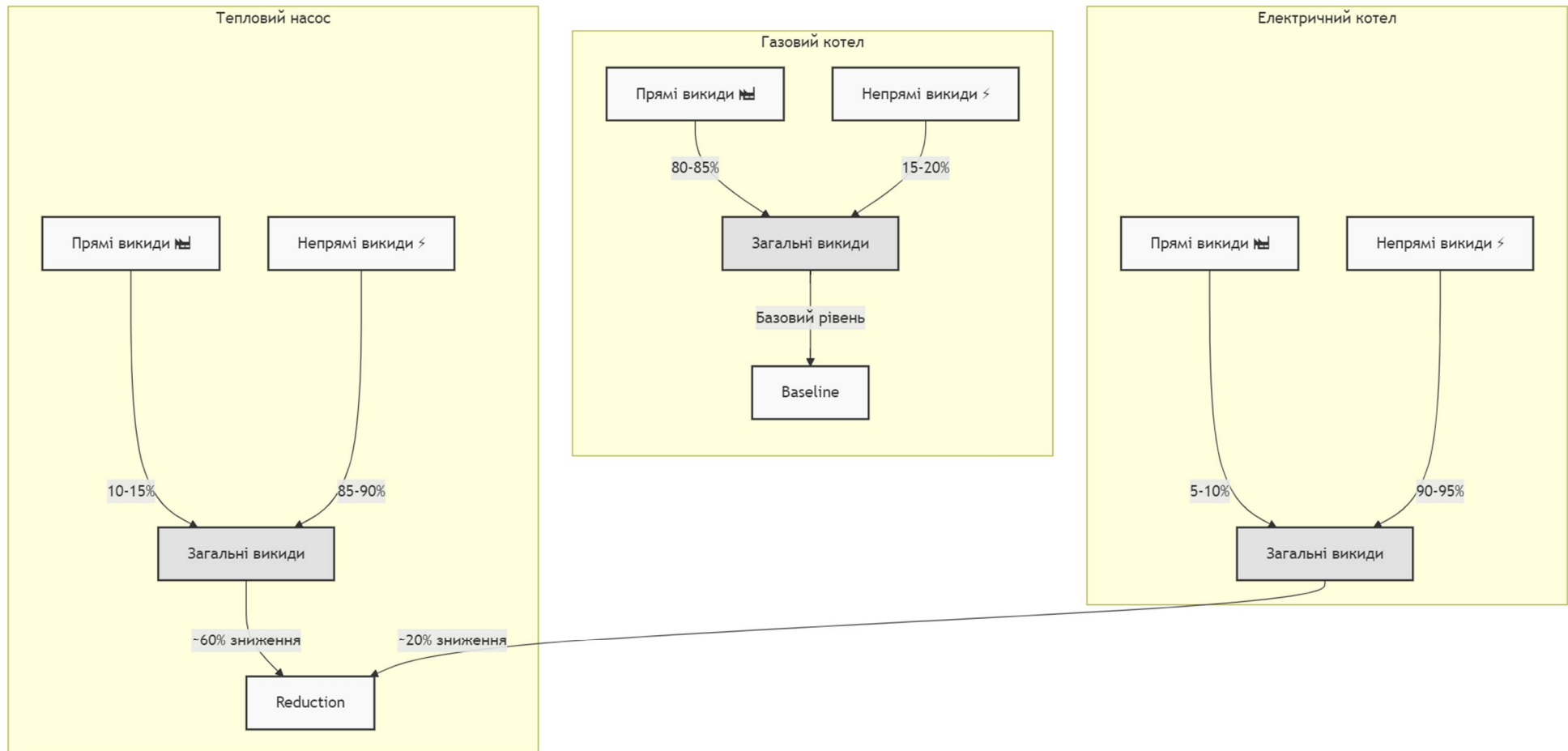


Рисунок 2.9 - Блок-схема екологічного аналізу системи з тепловими насосами та додатковими джерелами теплоти

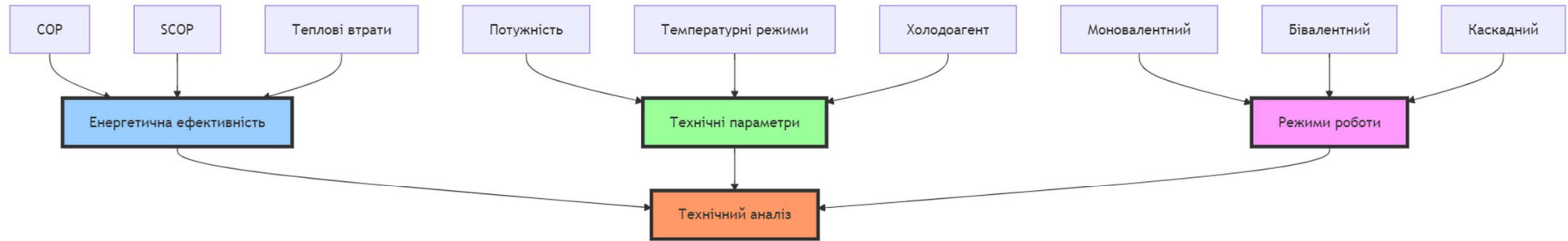


Рисунок 2.10 - Блок-схема оптимізації системи з тепловими насосами за енергетичними показниками

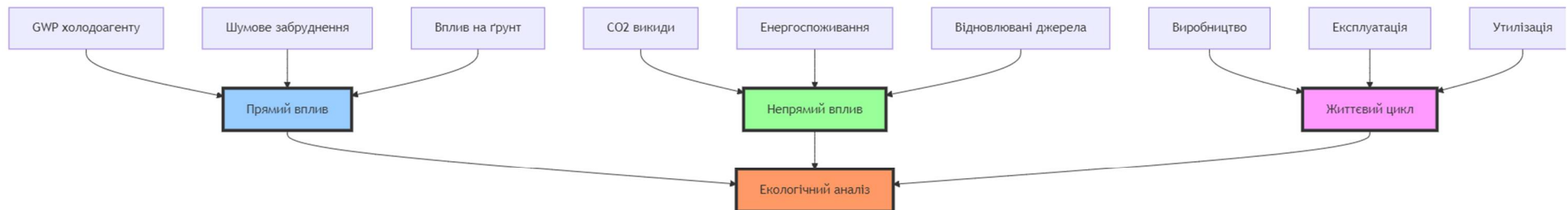


Рисунок 2.11 - Блок-схема оптимізації системи з тепловими насосами за екологічними показниками

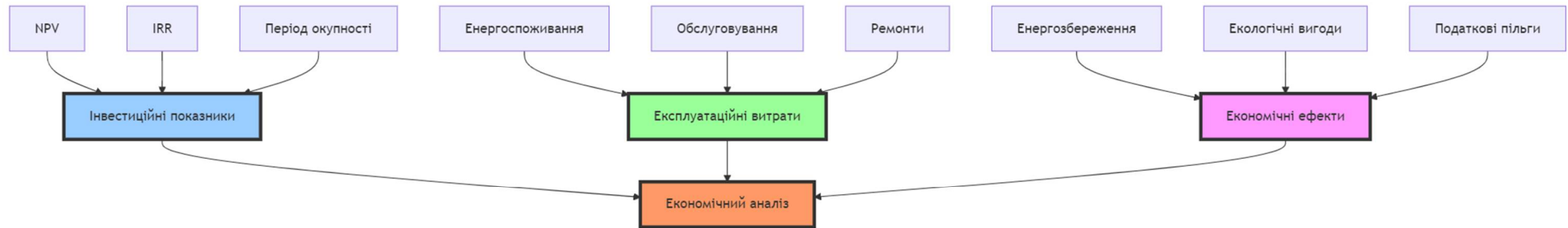


Рисунок 2.12 - Блок-схема оптимізації системи з тепловими насосами за економічними показниками

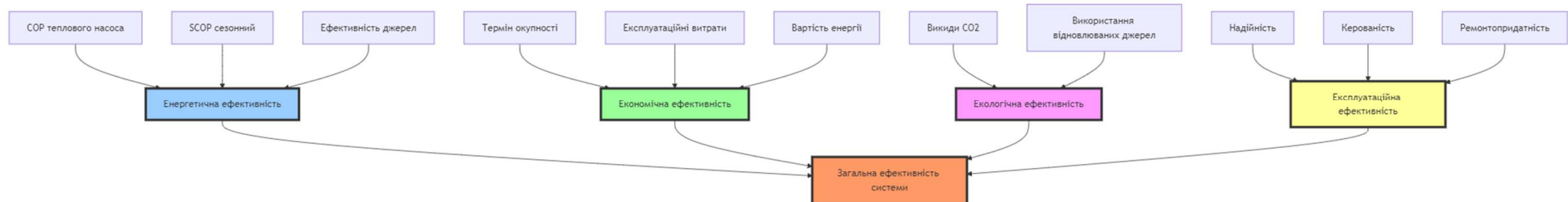


Рисунок 2.13 - Блок-схема комплексної енерго-еколого-економічної оптимізації системи з тепловими насосами

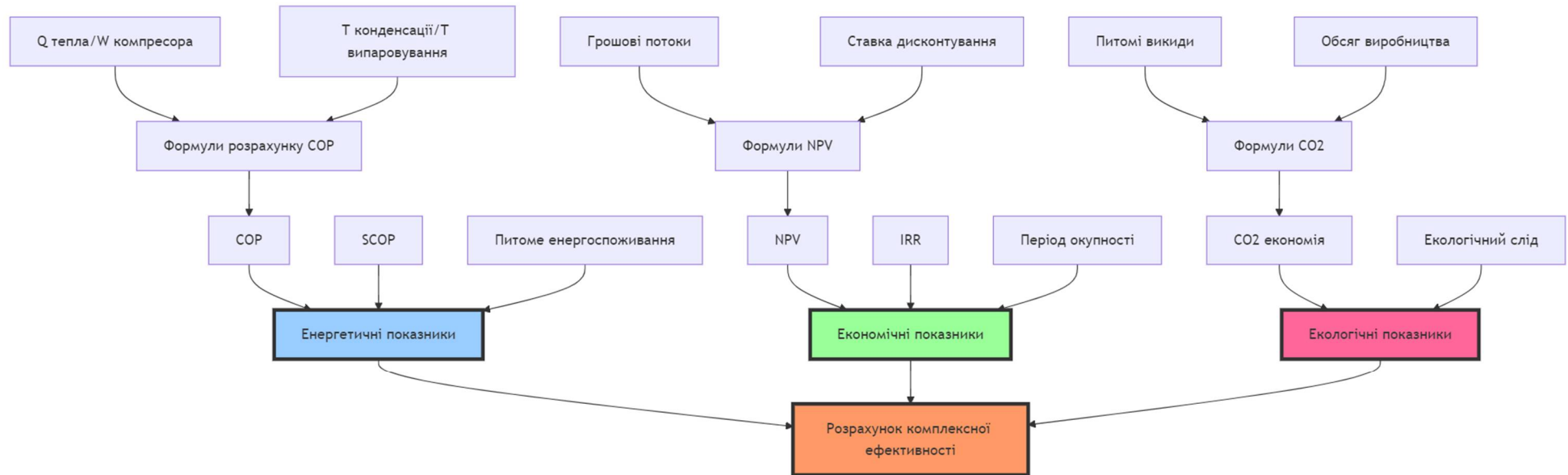


Рисунок 2.14 - Блок-схема розрахунку комплексної ефективності системи з тепловими насосами

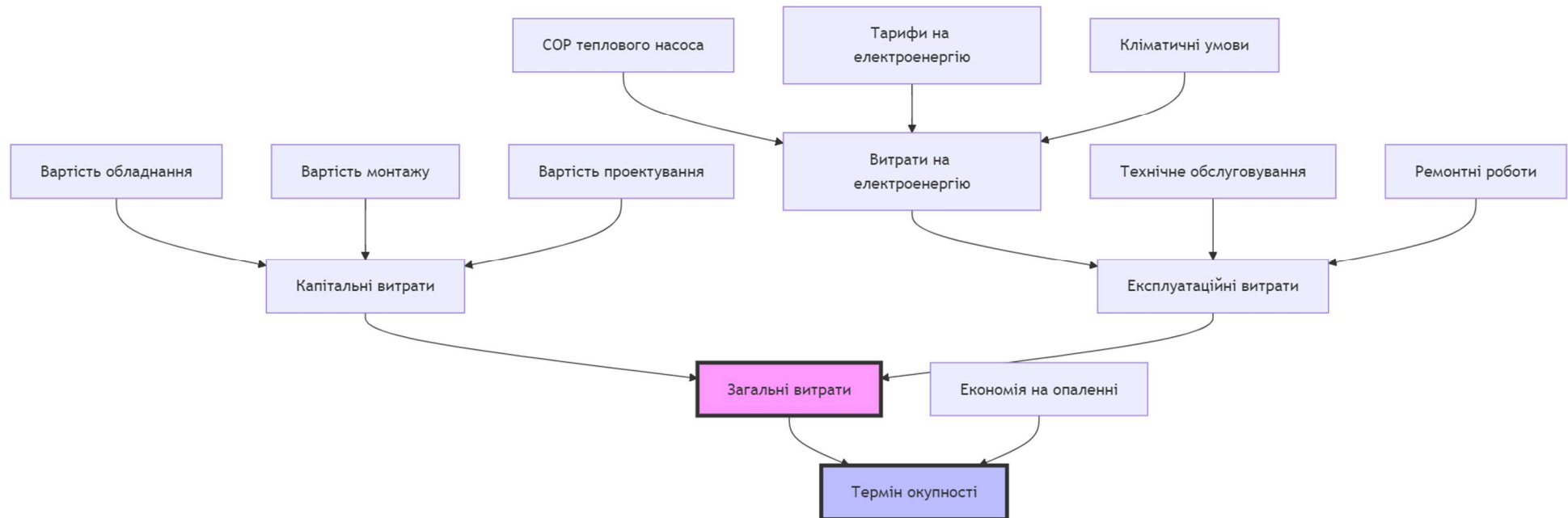


Рисунок 2.15 - Блок-схема розрахунку економічної ефективності системи з тепловими насосами

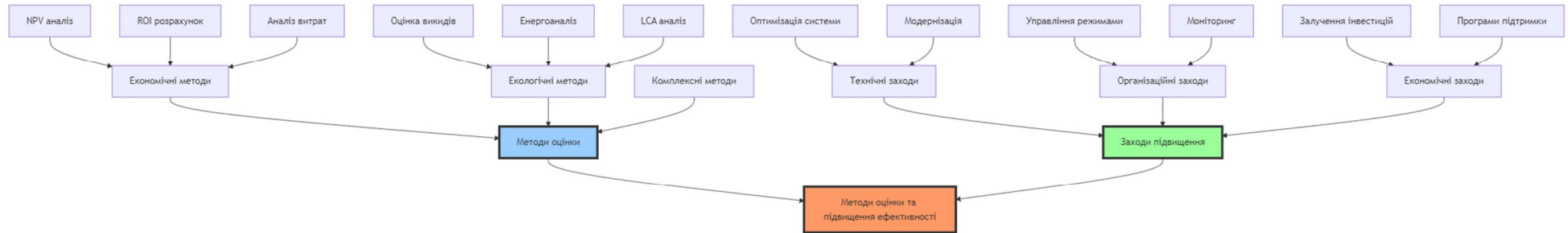


Рисунок 2.16 - Блок-схема методів оцінки та підвищення ефективності системи з тепловими насосами

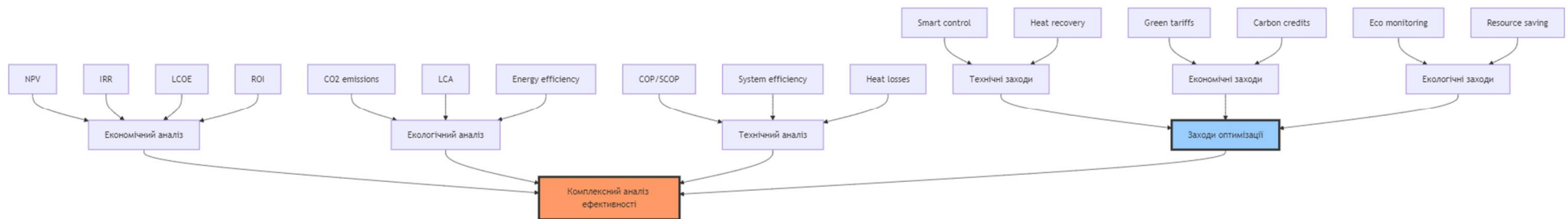


Рисунок 2.17 - Блок-схема комплексного аналізу ефективності системи з тепловими насосами

2.2 Методика досліджень ефективності роботи водогрійних котельних з тепловими насосами

Методика досліджень систем енергозабезпечення на базі водогрійних котельних з тепловими насосами (ТН) складена з використанням наукових та методологічних основ, що можуть бути використані для комплексного оцінювання ефективності теплових схем водогрійних котельних з теплонасосними установками (ТНУ), методологічні основи розроблені науковим керівником МКР та опубліковані в низці вітчизняних та закордонних публікацій [18 – 28].

Схема фреонової парокомпресійної теплонасосної установки (ТНУ) з вказанням основних позначень показана на рис. 2.18, а зображення циклу на Т-s і P-h діаграмах показано на рис. 2.19 і 2.20, на основі інформації з джерел [29-31].

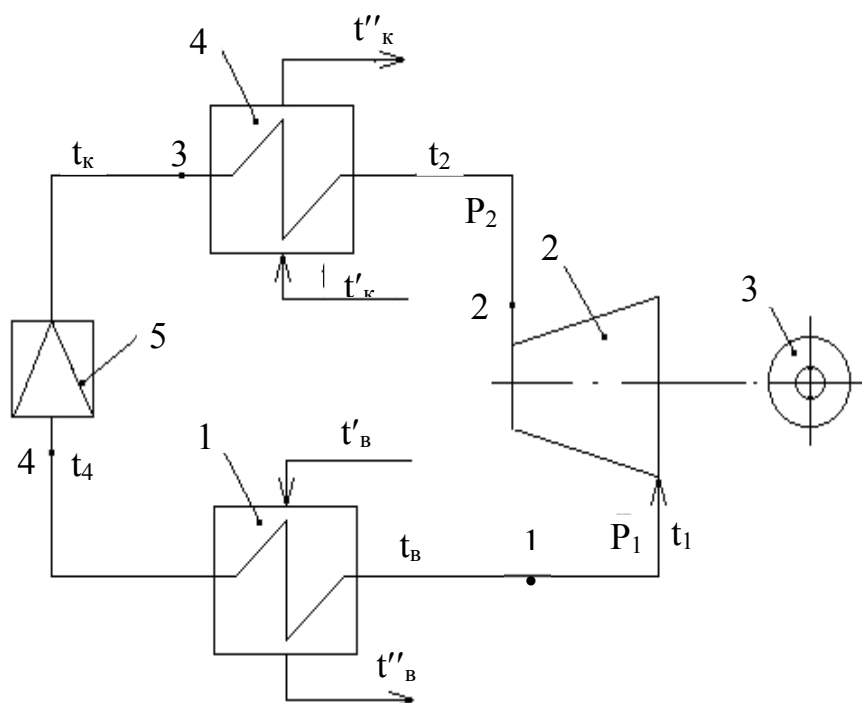


Рисунок 2.18 – Схема парокомпресійної ТНУ: 1 – випарник; 2 – компресор; 3 – електродвигун; 4 – конденсатор; 5 – дросель

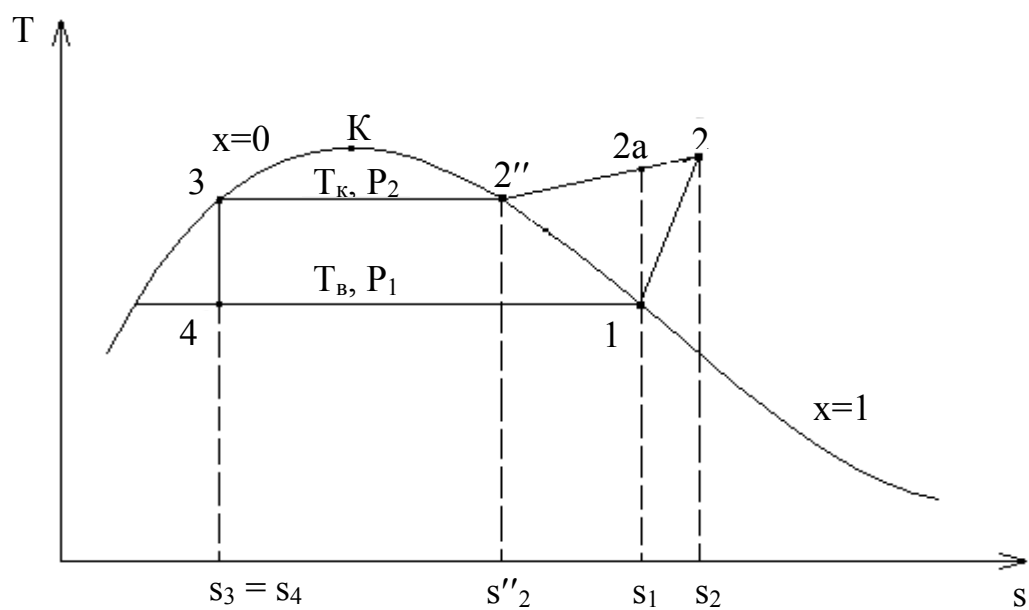


Рисунок 2.19 – Цикл парокомпресійної ТНУ на $T-s$ діаграмі

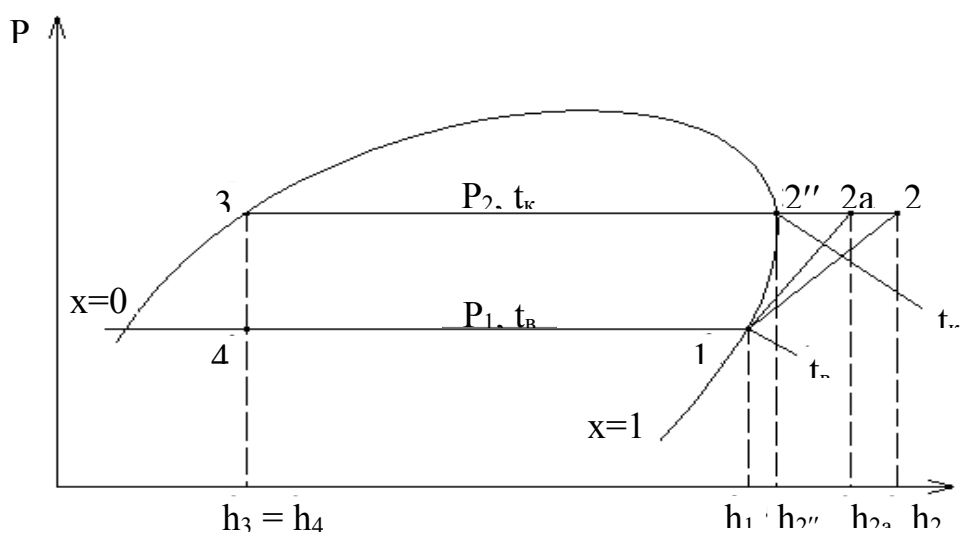


Рисунок 2.20 – Цикл парокомпресійної ТНУ на $lg P-h$ діаграмі

Питома робота компресора, кДж/кг

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

Питома підведена робота електродвигуна, кДж/кг

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

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

Питома теплота, яка відводиться з конденсатора, кДж/кг

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

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

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

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

Рівняння енергетичного балансу ТНУ, кДж/кг

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

або

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

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

2.3 Математичне програмне забезпечення розрахунків теплових схем з ТНУ

Математичний опис матеріальних та енергетичних потоків закладений у математичну модель для досліджень ефективності ТНУ у відомих програмних продуктах.

В МКР моделювання та дослідження рівнів енергоефективності здійснювалось за допомогою програми HP FAT Calculator Programme-2023 [32], розробленої Датським Технологічним Інститутом.

Зазначена програма базується на комерційному програмному пакеті Engineering Equation Solver (EES), який пропонує розв’язування систем лінійних та нелінійних рівнянь, в ньому забезпечені спеціалізовані функції, закладені рівняння з термодинаміки та теплопередачі. Програма дозволяє оцінювати термодинамічні властивості теплоносіїв, забезпечувати ітераційне розв’язання, забезпечує визначення термодинамічних властивостей холодоагенту з використанням вбудованих функцій.

Пакет EES застосовується для моделювання та оптимізації, дозволяє оптимізувати вибрану змінну.

EES розроблено компанією F-Chart Software [33].

Програма HP FAT здійснює оцінку ефективності застосування ТНУ в схемі, оцінює прості фінансові показники.

Екологічний вплив для обраних варіантів оцінено в програмі компанії Treeze Ltd для оцінки життєвого циклу [34]. Використано програми-калькулятори для оцінки екологічного впливу ТН та альтернативних джерел генерування енергії [35-36].

Екологічний вплив варіантів оцінюється за Швейцарською методикою «Точка впливу на навколишнє середовище 2021» (оновлена версія). Програма-калькулятор для оцінки ТН оцінює вплив джерела теплоти, значення коефіцієнта перетворення ТН (загального та локального), тип будівлі та враховує структуру спожитої електроенергії (альтернативний варіант, мережева чи з мережі з використанням відновлюваних джерел). Результати моделювання дозволяють оцінити екологічний вплив ТНУ та її режиму роботи, виду електричної енергії.

2.4 Висновки до розділу 2

В цьому розділі наведено методичні основи з математичного моделювання систем енергозабезпечення з тепловими насосами, аналіз показників ефективності систем енергозабезпечення з тепловими насосами, структури системи, методики розрахунків, наведена характеристика математичного та програмного забезпечення.

3 МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ТЕПЛОНАСОСНОЇ УСТАНОВКИ В ТЕПЛОВІЙ СХЕМІ ВОДОГРІЙНОЇ КОТЕЛЬНОЇ

3.1 Показники роботи теплової схеми котельні

Основні вихідні дані наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Основні вихідні дані

Назва	Формула	Розрахункові режими		
		Опалювальний максимальний	Опалювальний середній	Режим гарячого водопостачання (ГВП))
Температура навколишнього повітря t_n , °C	По кліматичним таблицям	-21	-1,1	+8
Потужність опалення $Q_{оп}$, МВт	$Q_{оп}^p \cdot \frac{t_{вн}^p - t_n}{t_{вн}^p - t_n^p}$	12,5	6,57	—
Потужність гарячого водопостачання (ГВП) $Q_{ГВП}$, МВт	За початковими даними	5,1	5,1	5,1
Загальна тепловидатність котельні Q_k , МВт	$Q_{оп} + Q_v + Q_{ГВП}$	17,6	11,67	5,1
Температура прямої мережної води $t'_{мв}$, °C	По графіку	95	70	70
Температура зворотної мережної води $t''_{мв}$, °C	По графіку	70	49	38

Результати розрахунку теплової схеми виконані за методикою з [37], показані в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати розрахунку теплової схеми водогрійної котельні

Показник	Позначення	Одиниця вимірювання	Формула	Розрахункові режими		
				Опалюв. максимальний	Опалюв. середній	Режим ГВП
1	2	3	4	5	6	7
Температура навколишнього повітря	t_n	°C	Заданоя	-21	-1,1	+8
Відпуск теплоти на опалення	$Q_{оп}$	МВт	$Q_{оп} = Q_{оп}^p \cdot \frac{t_{вн}^p - t_n}{t_{вн}^p - t_n^p}$	12,5	6,57	—
Відпуск теплоти на ГВП	$Q_{гвп}$	МВт	По графіку	5,1	5,1	5,1
Температура води на вході в котел	t_k'	°C	За режимною картою	70	70	70
Температура води на виході із котла	t_k''	°C	За режимною картою	110	110	110
Витрата мережної води в котлах	G_k	кг/с	$G_k = G_{мн} - G_{пер} + G_{рец}$	111,69	74,46	31,58
Теплова потужність котельні	Q_k	МВт	$Q_k = G_k \cdot c_v \cdot (t_k'' - t_k') \cdot 10^{-3}$	18,72	12,48	5,292
Витрата робочого палива в котельні	B_p	м³/с	$B_p = \frac{Q_k}{Q_H^p \cdot \eta_k}$	0,598	0,399	0,169
ККД-брутто котельні	$\eta_{бр}$		$\eta_{бр} = \frac{Q_{гвп} + Q_{оп}}{Q_H^p \cdot B_p}$	0,866	0,860	0,886

Проведено розрахунок теплової схеми котельні для трьох режимів роботи без модернізації. Визначено показники роботи котельні для всіх періодів: подачу теплоносія, ККД-брутто котельні, витрату робочого палива на котел, теплову потужність котельні. Отримані дані будуть далі використовуватися для аналізу та розрахунку теплової схеми з ТНУ.

3.2 Моделювання роботи теплонасосної установки в тепловій схемі опалювальної водогрійної котельні

Початкові дані для виконання досліджень з використанням математичної моделі парокомпресійної теплонасосної установки визначені у [29-31].

Моделювання роботи теплових насосів здійснювалось в програмі HP FAT Calculator Programme-2023 [32] (розробка Датського Технологічного Інституту).

На рис. 3.1 – 3.4 проілюстровано результати моделювання в програмі HP FAT для чотирьох режимів роботи схеми з теплонасосними установками з використанням теплоти від контактного утилізатора у відповідності з режимними параметрами теплової схеми котельні.

На рис. 3.1 наведені результати моделювання в програмі HP FAT роботи теплового насоса в тепловій схемі з використанням 85% потужності контактного утилізатора.

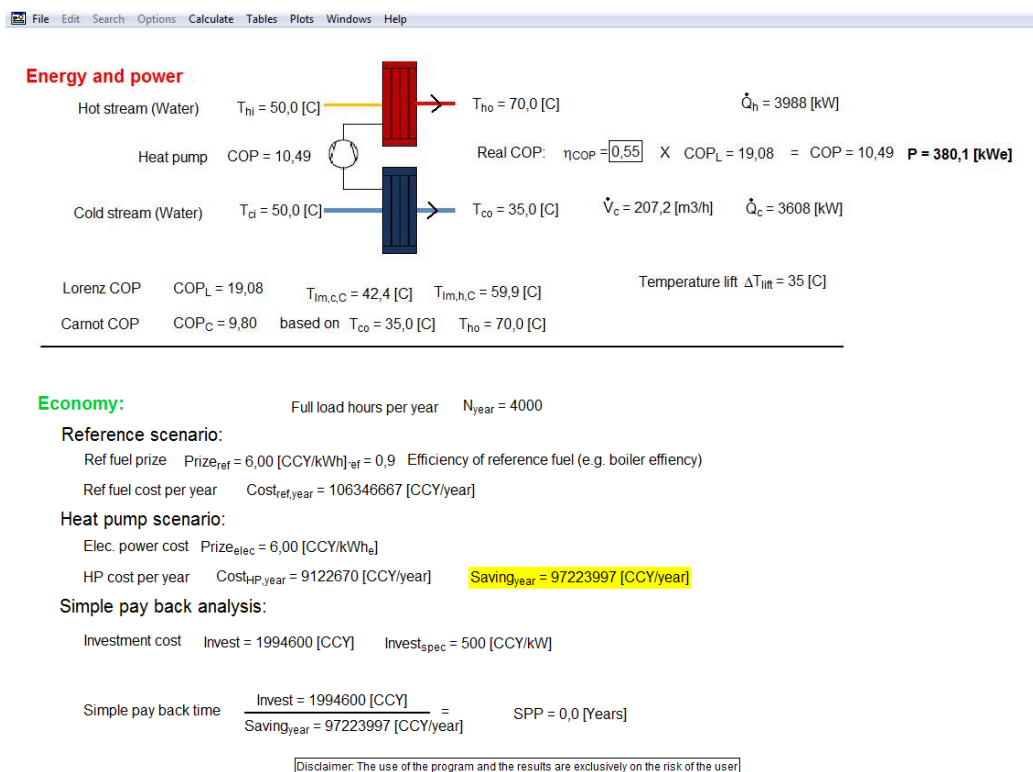


Рисунок 3.1 - Результати моделювання в програмі HP FAT роботи теплового насосу в тепловій схемі з використанням 85% потужності контактного утилізатора

На рис. 3.2 наведені результати моделювання в програмі HP FAT роботи теплового насосу в тепловій схемі з використанням 75% потужності контактного утилізатора.

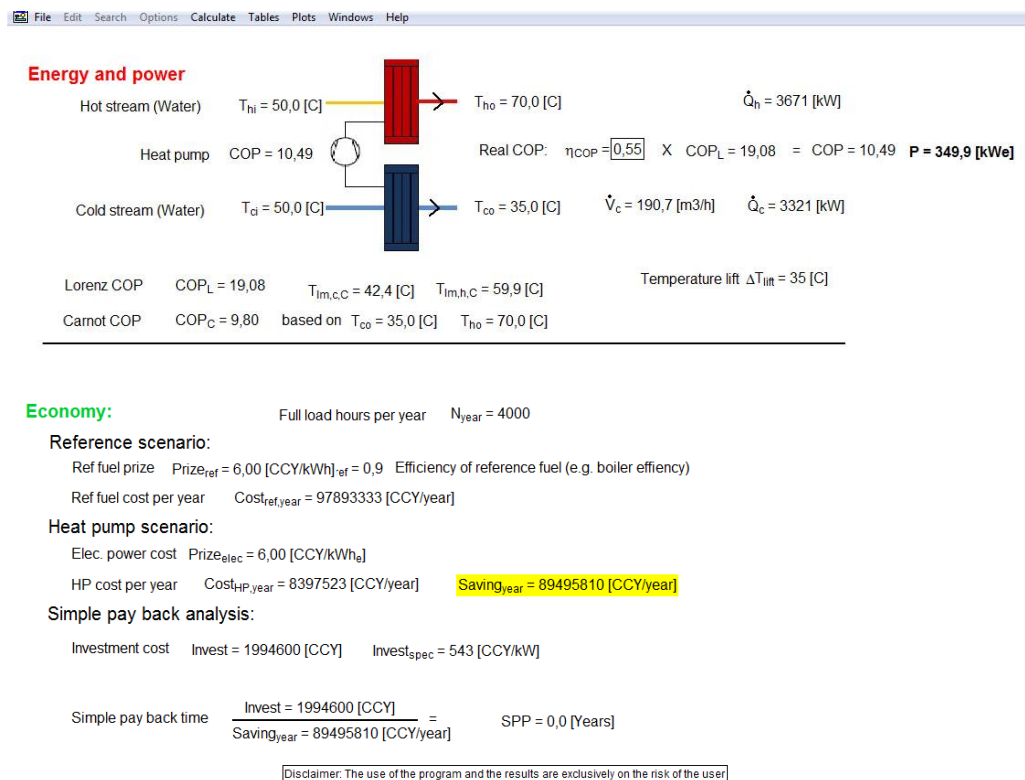


Рисунок 3.2 - Результати моделювання в програмі HP FAT роботи теплового насосу в тепловій схемі з використанням 75% потужності контактного утилізатора

На рис. 3.3 наведені результати моделювання в програмі HP FAT роботи теплового насосу в тепловій схемі з використанням 65% потужності контактного утилізатора.

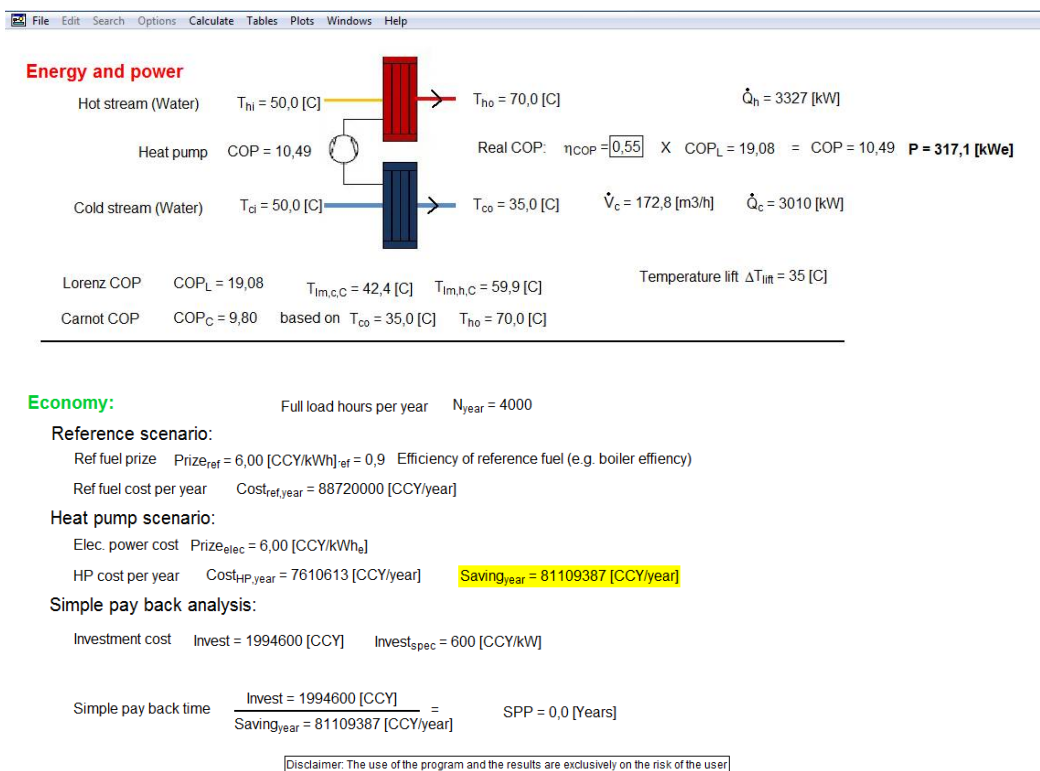


Рисунок 3.3 - Результати моделювання в програмі HP FAT роботи теплового насосу в тепловій схемі з використанням 65% потужності контактного утилізатора

На рис. 3.4 наведені результати моделювання в програмі HP FAT роботи теплового насосу в тепловій схемі з використанням 55% потужності контактного утилізатора.

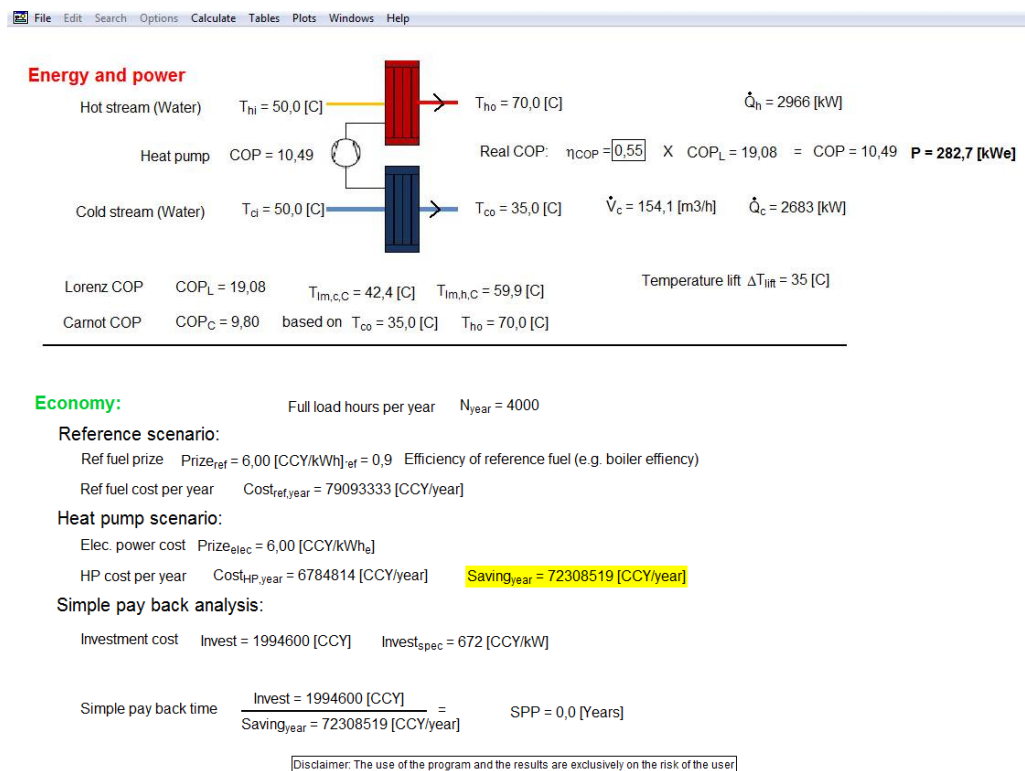


Рисунок 3.4 - Результати моделювання в програмі HP FAT роботи теплового насосу в тепловій схемі з використанням 55% потужності контактного утилізатора

На рис. 3.5 наведені результати моделювання в програмі HP FAT роботи теплового насосу в тепловій схемі з використанням теплоти поверхневих вод.

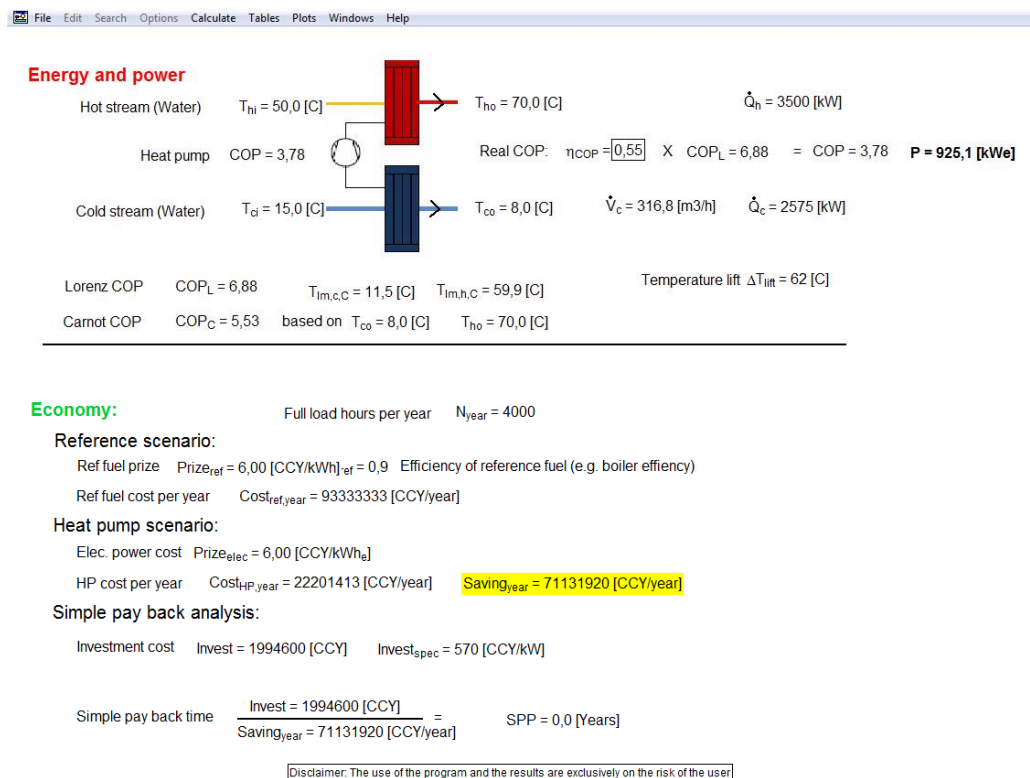


Рисунок 3.5 - Результати моделювання в програмі HP FAT роботи теплового насосу в тепловій схемі з використанням теплоти поверхневих вод

Розрахунки показників ефективності ТНУ для теплової схеми котельні для двох режимів роботи ТНУ виконувались з використанням програми SOLKANE Refrigerants 8.0 [38], яка є потужною спеціалізованою програмою з обчислення теплофізичних властивостей холодоагентів та розрахунку циклів ТНУ.

Результати моделювання циклів ТНУ для двох режимів роботи опалювальної водогрійної котельні в програмі SOLKANE Refrigerants 8.0 показані на рис. 3.6 – 3.11.

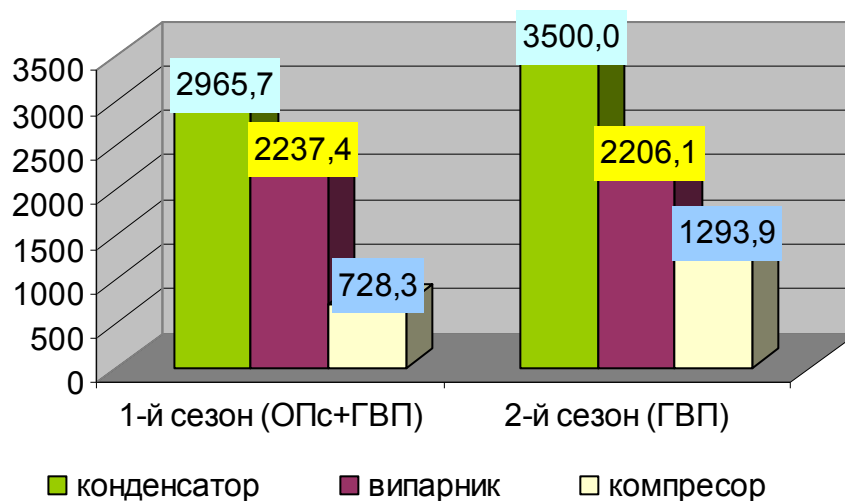


Рисунок 3.6 – Значення потужностей конденсатора, випарника та компресора ТНУ для режимів роботи теплової схеми опалювальної котельні з використанням 55% потужності утилізації, кВт

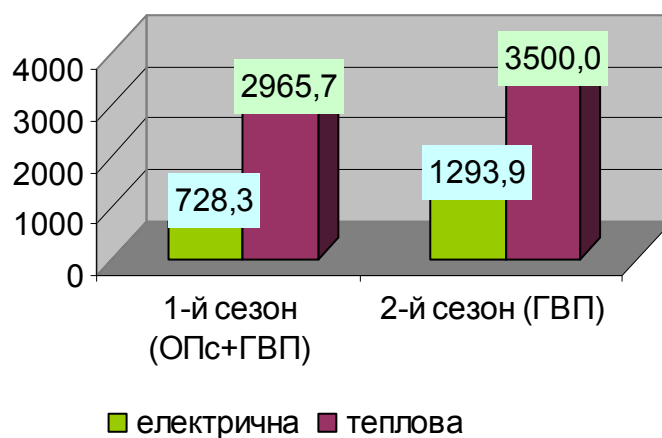


Рисунок 3.7 – Значення теплової та електричної потужностей ТНУ для двох сезонів роботи теплової схеми опалювальної котельні з використанням 55% потужності утилізації, кВт

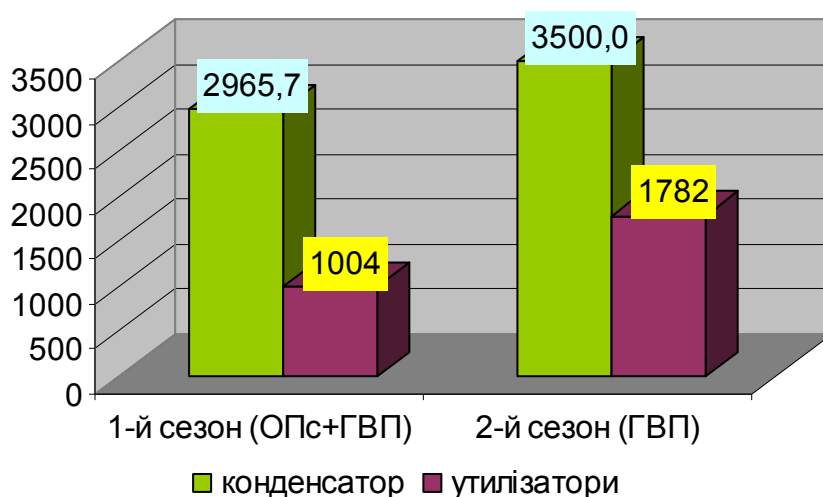


Рисунок 3.8 – Значення теплових потужностей конденсатора та утилізаторів ТНУ для режимів роботи теплової схеми опалювальної котельні з використанням 55% потужності утилізації, кВт

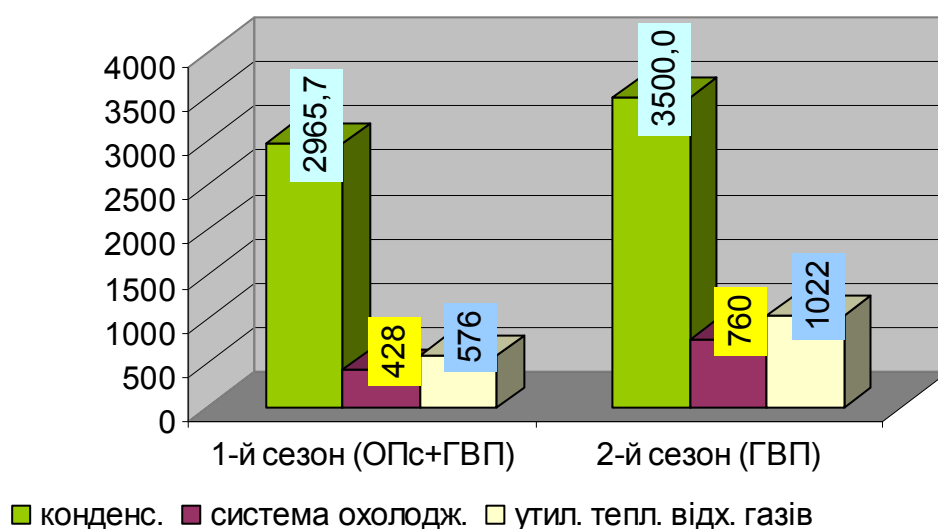


Рисунок 3.9 – Значення теплових потужностей конденсатора ТНУ, системи охолодження та утилізаторів КТНУ для режимів роботи теплової схеми опалювальної котельні з використанням 55% потужності утилізації, кВт

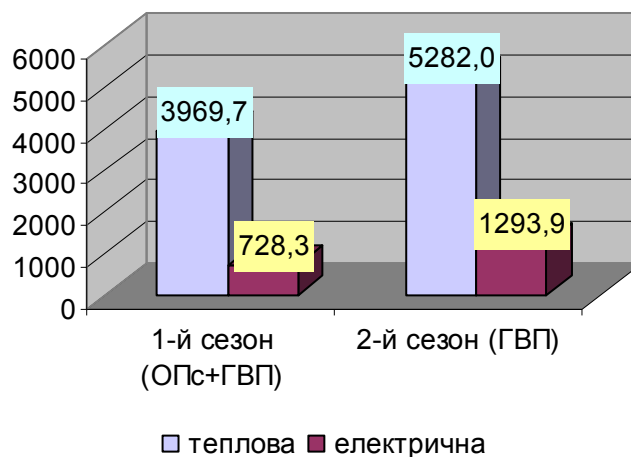


Рисунок 3.10 – Значення теплової та електричної потужностей ТНУ для теплової схеми опалювальної котельні з використанням 55% потужності утилізації від сезону роботи, кВт

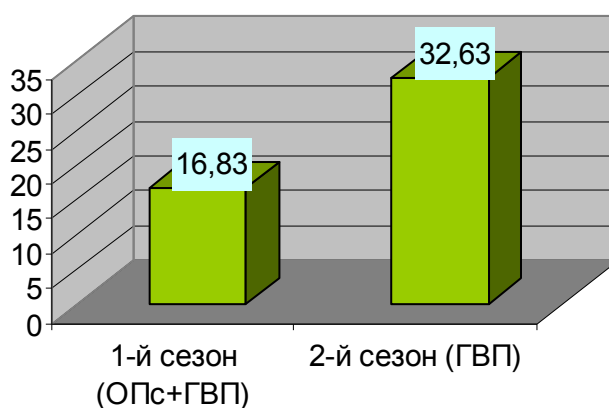


Рисунок 3.11 – Значення економії робочого палива від застосування ТНУ для теплової схеми котельні з використанням 55% потужності утилізації в залежності від сезону роботи, кВт

Проаналізуємо ефективність розглянутих варіантів застосування ТНУ в тепловій схемі. Значення показників ефективності для варіантів теплових схем з ТНУ наведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Основні показники теплових схем з ТНУ

Показник	Одиниці вимірювання	Варіант застосування			
		1	2	3	4
Річна економія робочого палива	%	27,85	26,9	25,87	24,78
Температура відхідних газів	°C	74	87	100	110
Економія робочого палива	тис.м³/рік	2477,23	2392,73	2301,11	2204,15
Кількість зекономлених коштів	млн. грн./рік	25,12	24,26	23,34	22,35

В таблиці 3.3 позначені такі варіанти: 1– застосування ТНУ в тепловій схемі для роботи в двох сезонах з використанням 85% потужності контактного утилізатора; 2 – застосування ТНУ в тепловій схемі для роботи в двох сезонах з використанням 75% потужності контактного утилізатора; 3 – застосування ТНУ в тепловій схемі для роботи в двох сезонах з використанням 65% потужності контактного утилізатора; 4 – застосування ТНУ в тепловій схемі для роботи в двох сезонах з використанням 55% потужності контактного утилізатора.

Як видно з табл. 3.3, найбільш ефективним за технічними показниками є варіант застосування ТНУ в тепловій схемі з використанням 55% потужності контактного утилізатора, при якому температура відхідних газів становить 110°C. Економія палива для даного варіанту становить 24,78%, економія коштів складає 22,35 млн. грн./рік, отже вибираємо даний варіант до впровадження.

Висновки до розділу 3

Найбільш ефективним за технічними показниками є варіант застосування ТНУ в тепловій схемі з використанням 55% потужності контактного утилізатора. Економія палива для даного варіанту становить 24,78%, економія коштів складає 22,35 млн. грн./рік, отже вибираємо даний варіант до впровадження.

4 МОДЕЛЮВАННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО ВПЛИВУ ВАРІАНТІВ МОДЕРНІЗАЦІЇ ТЕПЛОВОЇ СХЕМИ ОПАЛЮВАЛЬНОЇ ВОДОГРІЙНОЇ КОТЕЛЬНОЇ

Екологічний вплив для обраних варіантів оцінено в програмі компанії Treeze Ltd для оцінки життєвого циклу [34]. Використано програми-калькулятори для оцінки екологічного впливу ТН та альтернативних джерел генерування енергії [35-36].

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

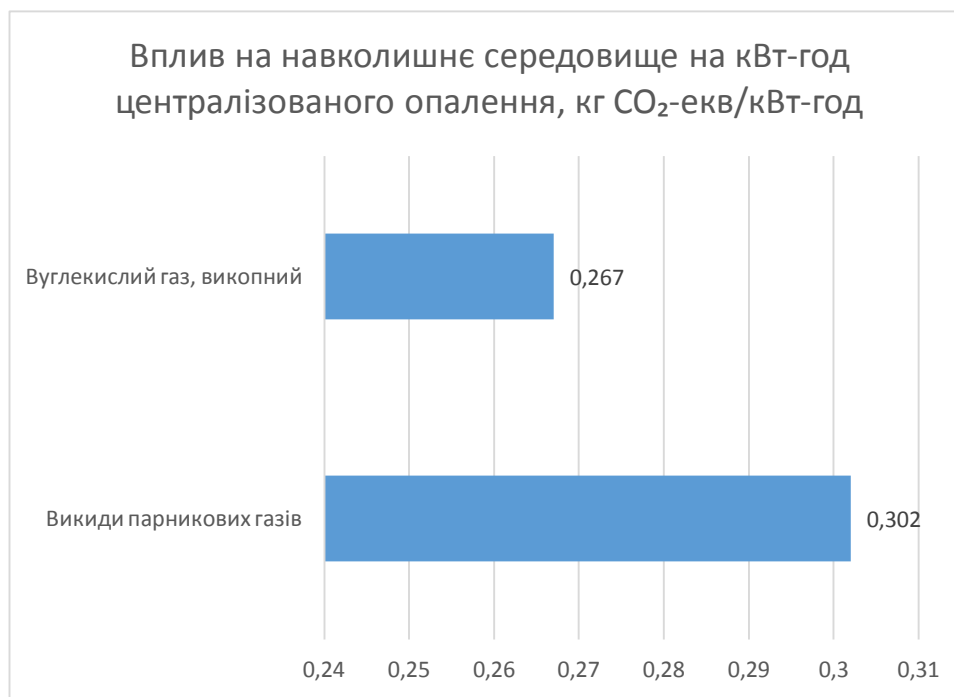


Рисунок 4.1 - Екологічні показники роботи опалювальної котельні на природному газі

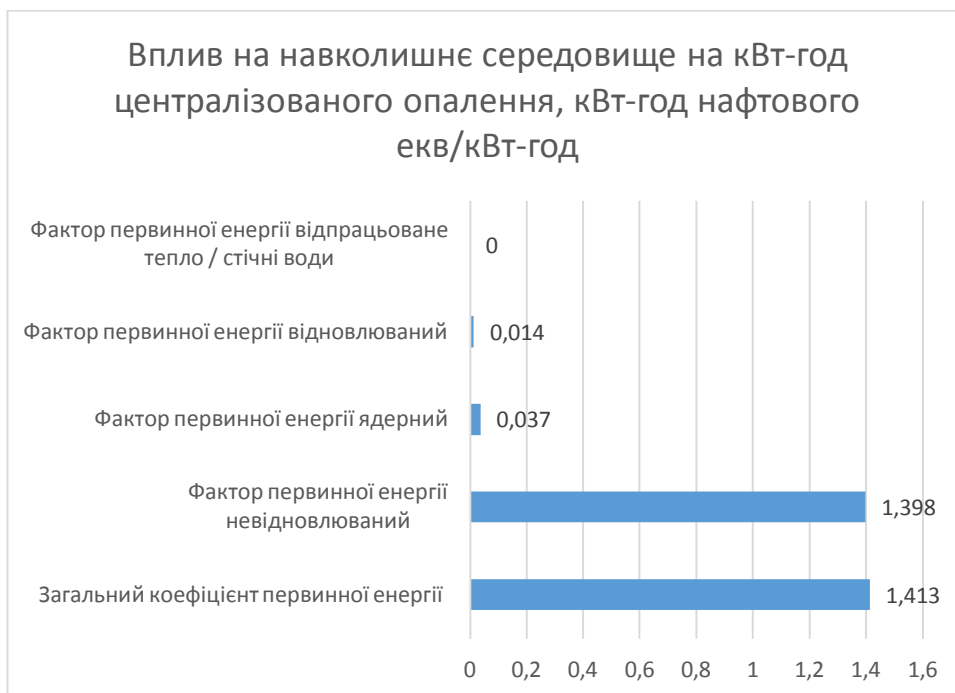


Рисунок 4.2 - Екологічні показники роботи опалювальної котельні на природному газі

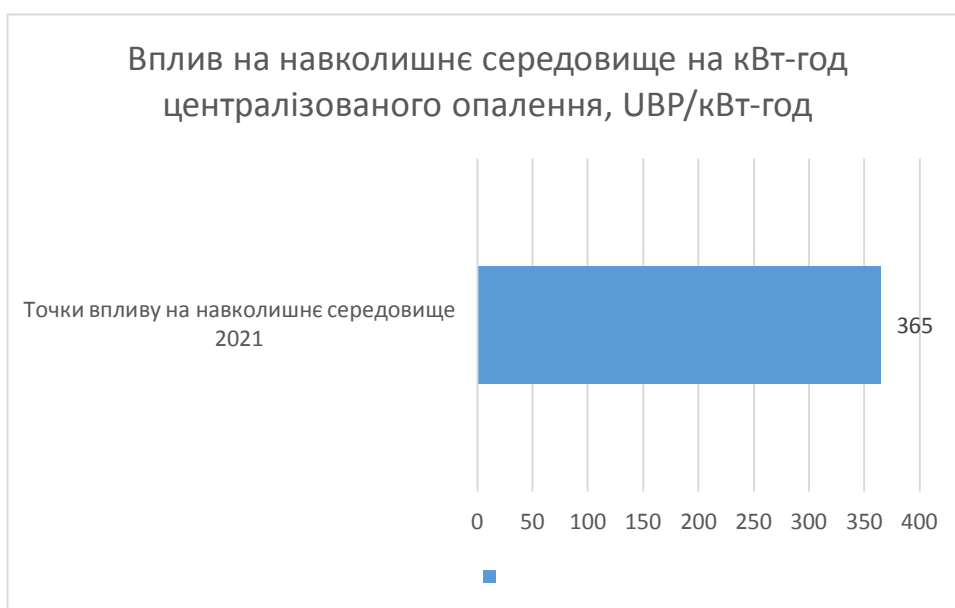


Рисунок 4.3 - Екологічні показники роботи опалювальної котельні на природному газі

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

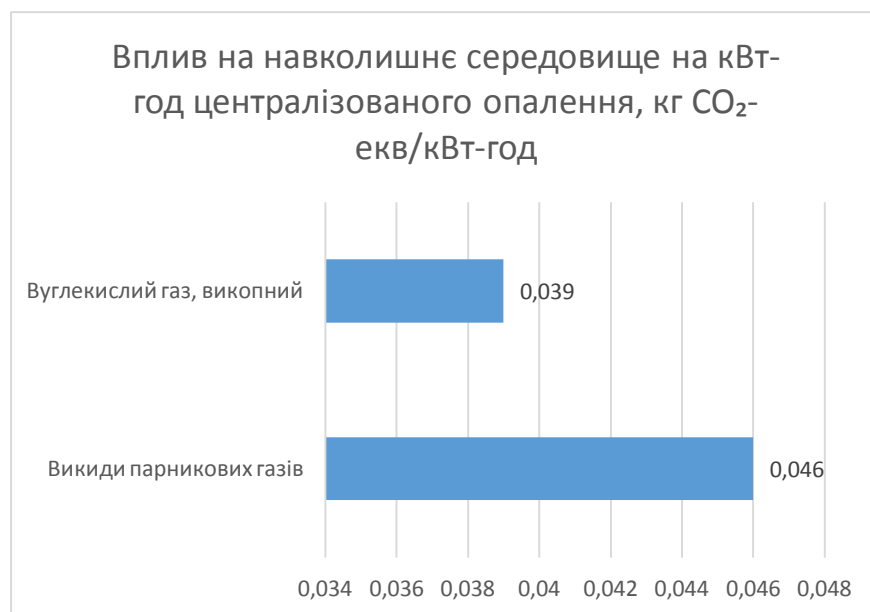


Рисунок 4.4 – Екологічні показники роботи теплонасосної установки на теплоті від контактного утилізатора

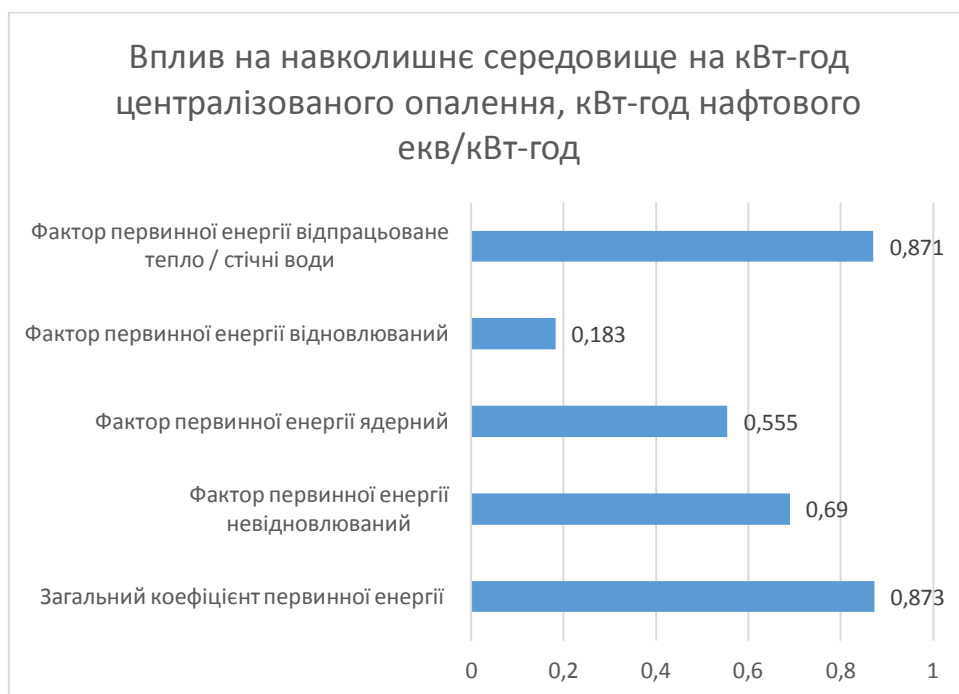


Рисунок 4.5 – Екологічні показники роботи теплонасосної установки на теплоті від контактного утилізатора



Рисунок 3.4 – Екологічні показники роботи теплонасосної установки на теплоті від контактного утилізатора

На рис. 4.7 – 4.9 наведені показники роботи ТЕЦ на природному газі.

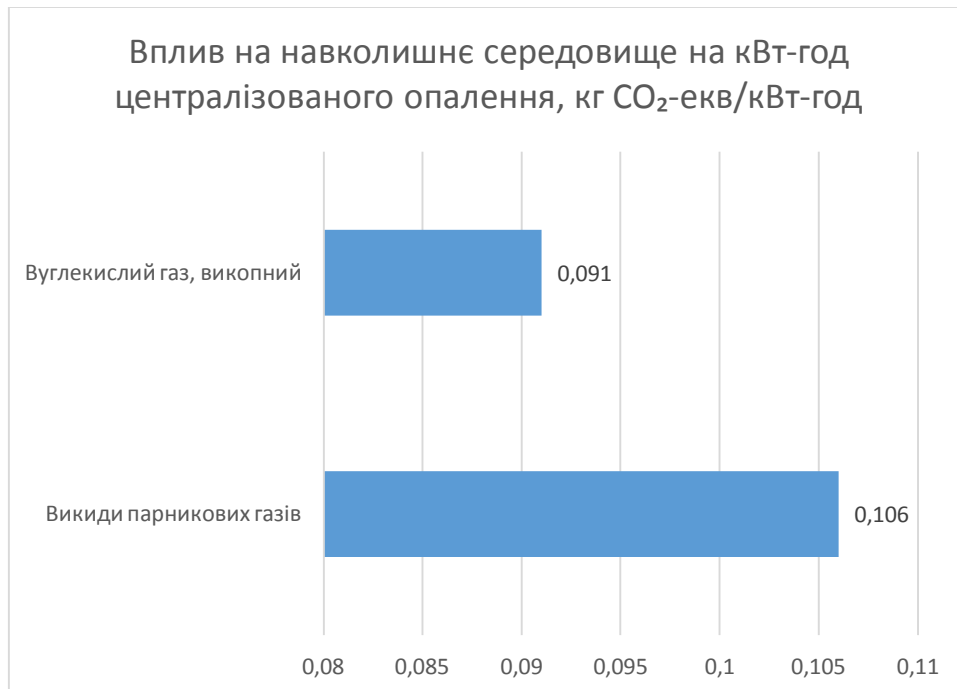


Рисунок 4.7 – Екологічні показники роботи ТЕЦ на природному газі

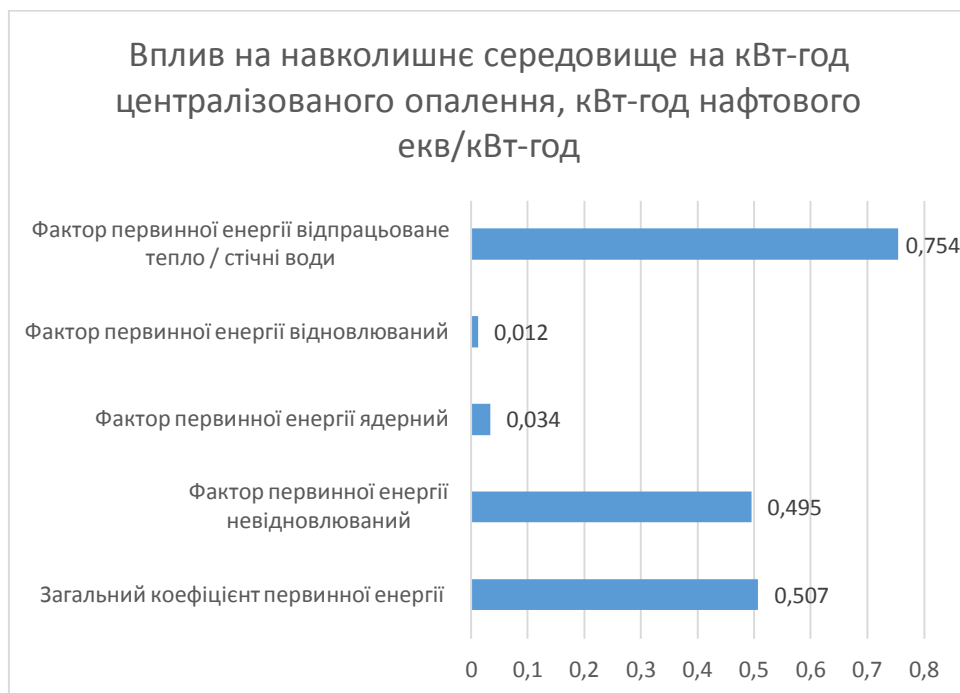


Рисунок 4.8 – Екологічні показники роботи ТЕЦ на природному газі

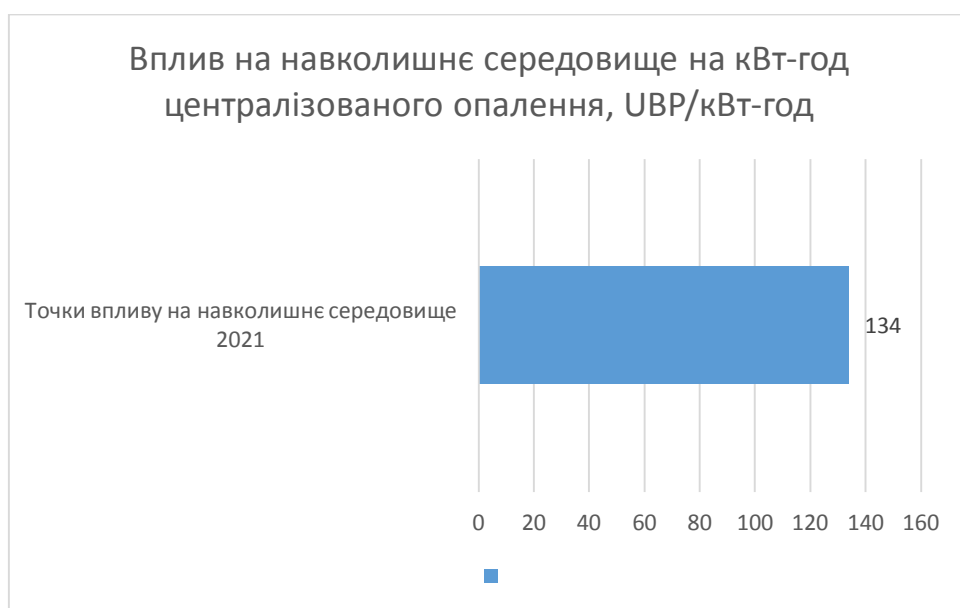


Рисунок 4.9 – Екологічні показники роботи ТЕЦ на природному газі

На рис. 4.10 – 4.12 наведені показники роботи ТЕЦ на рідкому паливі.

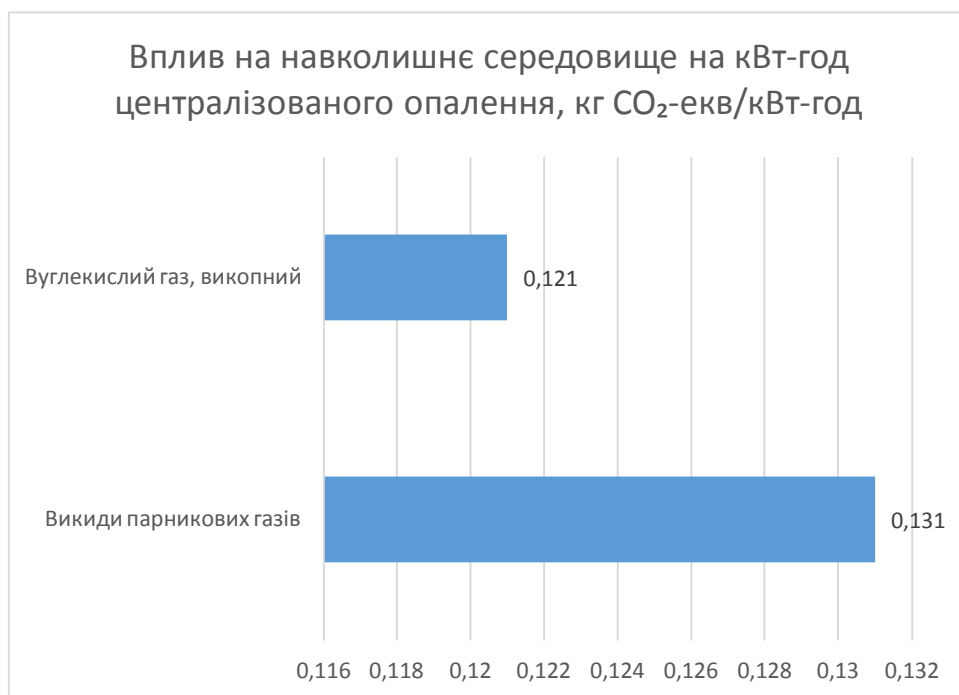


Рисунок 4.10 – Екологічні показники роботи ТЕЦ на рідкому паливі

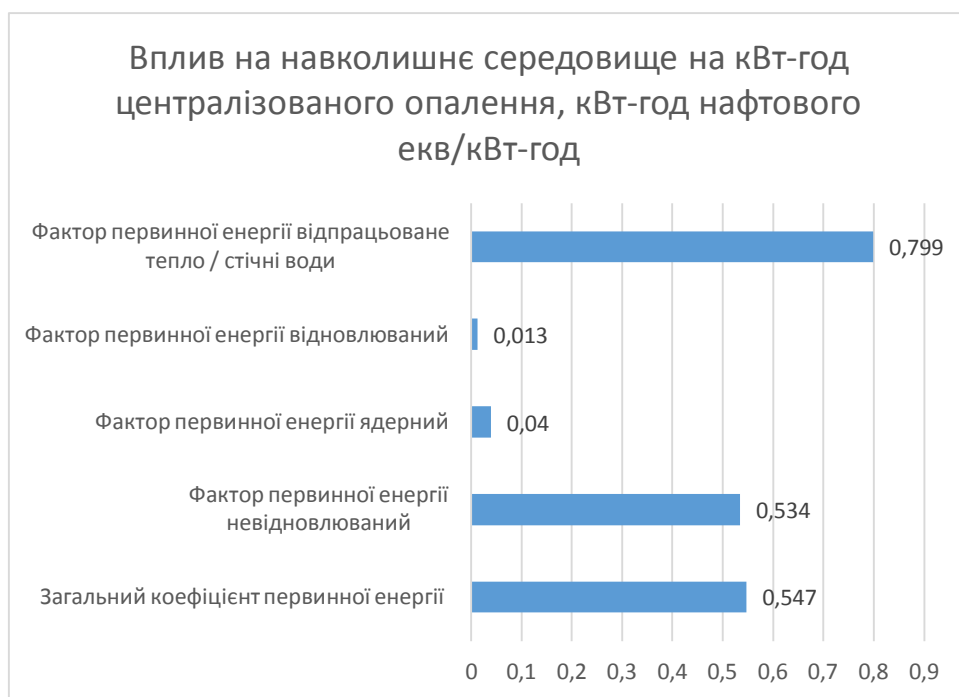


Рисунок 4.11 – Екологічні показники роботи ТЕЦ на рідкому паливі

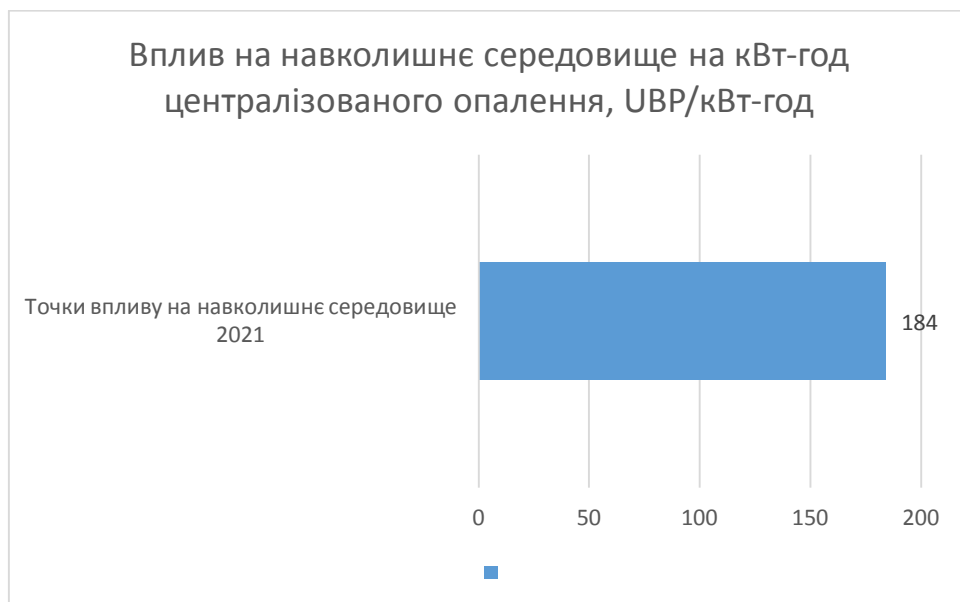


Рисунок 4.12 – Екологічні показники роботи ТЕЦ на рідкому паливі

На рис. 4.13 – 4.15 наведені показники роботи теплової схеми котельні для централізованого опалення на рідкому паливі.

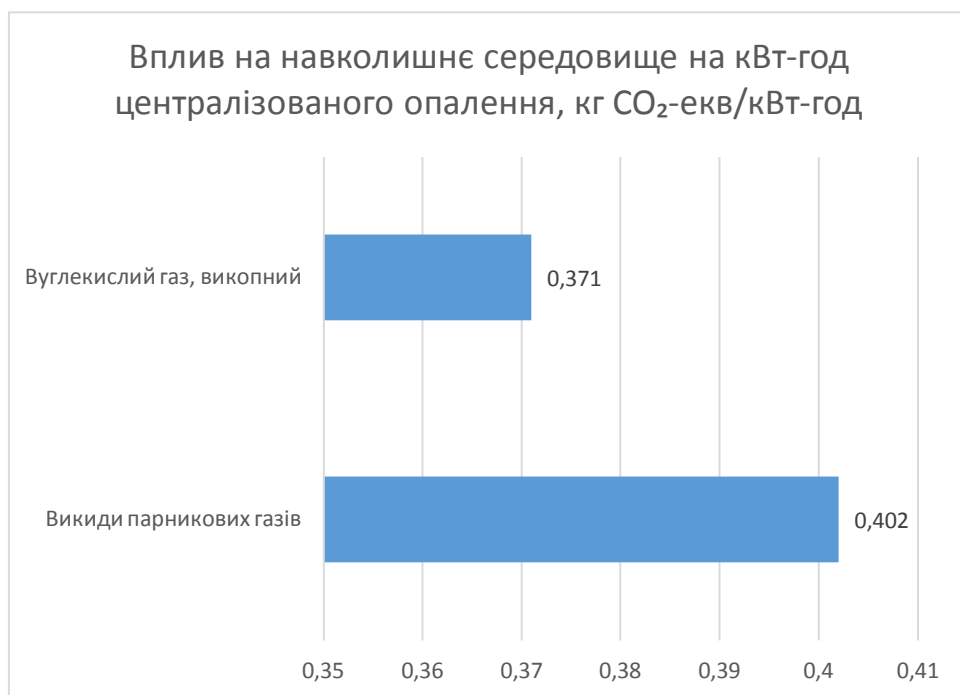


Рисунок 4.13 – Екологічні показники роботи теплової схеми котельні для централізованого опалення на рідкому паливі

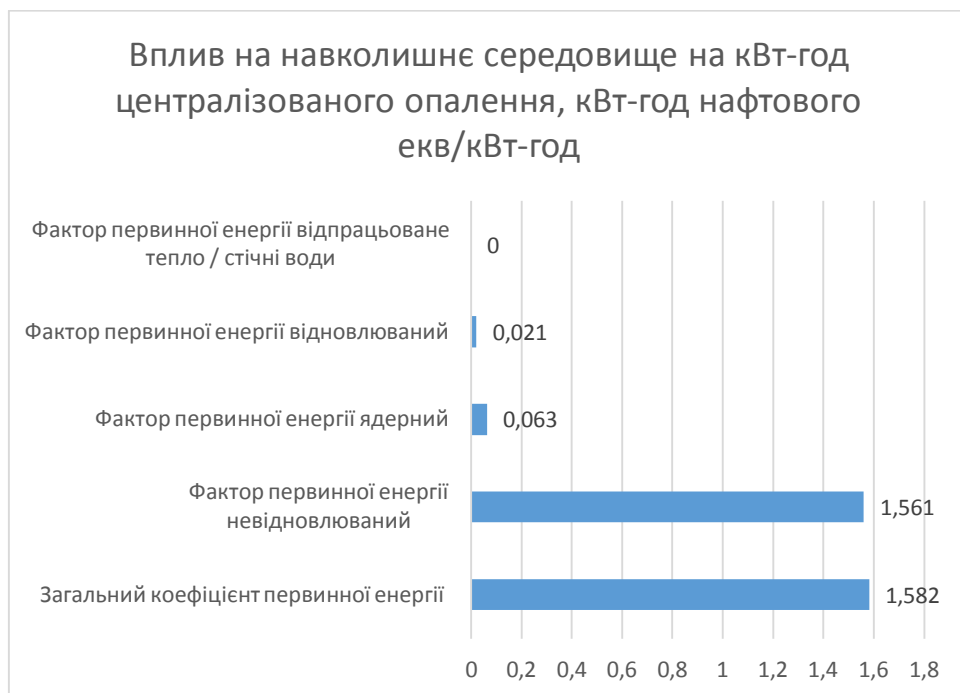


Рисунок 4.14 – Екологічні показники роботи теплової схеми котельні для централізованого опалення на рідкому паливі

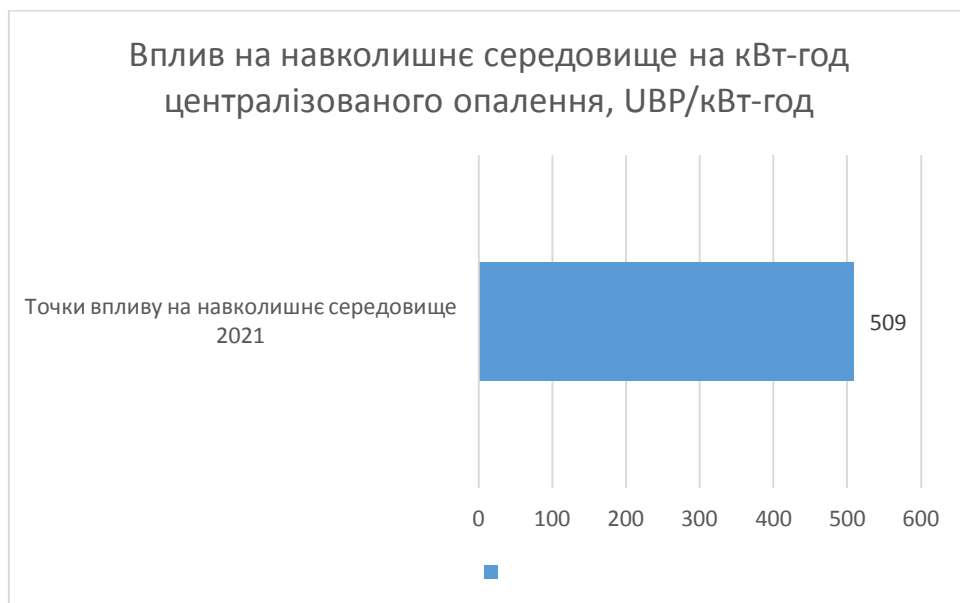


Рисунок 4.15 – Екологічні показники роботи теплової схеми котельні для централізованого опалення на рідкому паливі

За результатами аналізу показників ефективності для базового та альтернативних варіантів схеми опалювальної водогрійної 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 опалювальної водогрійної котельні з теплонасосною установкою на теплоти вторинних низькотемпературних енергоресурсів котельні.

За результатами розрахунків вибираємо ТНУ, ДВЗ та утилізаційне обладнання.

Вибираємо два газопоршневих двигуна-генератора: двигун марки 11ГД100М з номінальною потужністю електрогенератора 1000 кВт виробництва ДП «Завод ім. В. О. Малишева» (Україна) [39].

Із [40] вибираємо тепловий насос потужністю по 3000 кВт фірми OCHSNER марки IWWS.

Встановлюємо КТАН-утилізатор марки КТАН-2,3УГ; розрахункова теплопродуктивність 0,3-3 МВт [41].

Витрати води у випарнику 36,32 кг/с та 76,75 кг/с. Встановлюємо три насоси (два робочих, один резервний) фірми GLONG марки GHE-150-125-18,5 з подачею 220 м³/год., напором 0,15 МПа, ККД 75%, з потужністю електродвигуна 18 кВт [42].

Висновки до розділу 4

За результатами аналізу показників ефективності для базового та альтернативних варіантів схеми опалювальної водогрійної котельні з тепловим насосом з використанням природних та промислових джерел низькотемпературної теплоти був обраний варіант модернізації теплової схеми опалювальної водогрійної 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

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

ОСНОВА:	Кошторисна вартість	1118.856 тис. грн.
креслення(специфікації)№	Кошторисна трудомісткість	4.34257 тис. люд.-год
	Кошторисна заробітна плата	354.652 тис. грн.
	Середній розряд робіт	4.3 розряд

Складений в поточних цінах станом на 2024 р.

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

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	KM7-218-8	Монтаж Тепловий насос марка IWWS 660ER2-1000	шт	1.0	10653.07	1605.68	10653	5977	1606	81.2000	81.20
					5977.13	334.36			334	3.9178	3.92
2	KM7-218-9	Монтаж Тепловий насос марка IWWS 660ER2-3000	шт	1.0	23077.23	5538.82	23077	11954	5539	162.4000	162.40
					11954.26	1151.60			1152	12.9466	12.95
3	KM7-139-2	Монтаж КТАН-утилізатор марка КТАН-1,5УГ	комплект	1.0	143253.61	24250.14	143254	68647	24250	856.8000	856.80
					68646.82	8895.19			8895	103.5069	103.51
4	KM6-407-5	Монтаж Газопоршневий двигун-генератор марка ГДГА800	т	7.8	45573.16	5388.97	355471	70383	42034	117.6000	917.28
					9023.45	1869.07			14579	19.9220	155.39
5	KM6-407-8	Монтаж Газопоршневий двигун-генератор марка 11ГД100М	т	29.0	15238.68	1785.23	441922	118379	51772	53.2000	1542.80
					4082.04	609.33			17671	6.4961	188.39
Разом прямих витрат по кошторису							974377	275340	125201		3560.48
									42631		464.16
Разом прямі витрати						грн.	974377				
в тому числі:											
вартість матеріалів, виробів і комплектів						грн.	573836				
вартість ЕММ						грн.	125201				
в т.ч. заробітна плата в ЕММ						грн.		42631			
заробітна плата робітників						грн.		275340			
всього заробітна плата						грн.		317971			
Загальновиробничі витрати						грн.	144479				
трудомісткість в загальновиробничих витратах						люд-г					317.93

Будівельні Технології: Кошторис 8.3 Онлайн

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		заробітна плата в загальновиробничих витратах				грн.		36681			
		Всього по кошторису				грн.	1118856				
		Кошторисна трудомісткість				люд-г					4342.57
		Кошторисна заробітна плата				грн.		354652			

Керівник
проектної
організації

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

Склав

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

Прийняв

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

(найменування об'єкта будівництва)

Таблиця 5.2 - Локальний кошторисний розрахунок на придбання устаткування, меблів та інвентарю № 2

придбання. утилізат генерат теплонасос

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

ОСНОВА: креслення(специфікації) № _____, відомості тощо

Кошторисна вартість 2 900,499 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	Газопоршневий двигун-генератор марка ГДГА800	шт	1.0	784195.07	784195
2	1501-5025	Газопоршневий двигун-генератор марка 11ГД100М	шт	1.0	1398441.54	1398442
3	1905-13002	КТАН-утилізатор марки КТАН-1,5УГ	шт	1.0	259187.93	259188
4	1505-12081	Тепловий насос марка IWWS 660ER2-1000	шт	1.0	141319.22	141319
5	1505-12080	Тепловий насос марка IWWS 660ER2-3000	шт	1.0	207756.01	207756
Разом						2790900
Транспортні та заготівельно-складські витрати						109599
Всього по кошторису						2900499

Склав

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

Перевірив

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

Будівельні Технології: Кошторис 8.3 Онлайн

Додаток 5
до Настанови (пункти 3.24, 7.1)

(найменування об'єкта будівництва)

Таблиця 5.3 - Об'єктний кошторис

на будівництво

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

Кошторисна вартість	4019.355 тис. грн.
Кошторисна трудомісткість	4.34257 тис. люд.-год
Кошторисна заробітна плата	354.652 тис. грн.
Вимірник одиничної вартості	

Складений в поточних цінах станом на р.

№ Ч.ч.	Номери кошторисів і кошторисних розрахунків	Найменування робіт і витрат	Кошторисна вартість, тис.грн.			Кошторисна трудо- місткість, тис. люд.год	Кошторисна заробітна плата, тис.грн.	Показники одиничної вартості
			будівельних робіт	устаткування, меблів та інвентарю	всього			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	02-003-001	монтаж	1118.856		1118.856	4.34257	354.652	
2	02-003-002	придбання		2900.499	2900.499	-		
		Всього по кошторису	1118.856	2900.499	4019.355	4.34257	354.652	

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	40,19
Вивчення інформаційних джерел, патентний пошук	0,2	1	8,04
Техніко-економічне обґрунтування	1,5	3	60,29
Проектування	2,5	4	100,48
Експертиза інноваційного рішення	1	1	40,19
Витрати на придбання патентів, ліцензій, ноу-хау, технологій	2	2	80,39
Виготовлення нового виробу	100	6	4019,355
Витрати на пусконаладжувальні роботи, комплексне освоєння проектних потужностей і досягнення техніко-економічних показників	3	1	120,58
Витрати на підготовку кадрів	5	2	200,97
Всього		21	4670,49

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	-329,59	-4471,9	1819,69	1700,70	1711,18	1720,68	1759,60
2	Сальдо реальних грошей	-329,59	-4002,88	1819,69	1658,47	1668,95	1682,57	1725,61
3	Сальдо накопичених реальних грошей за п.2	-329,59	-4332,47	-2512,78	-854,31	814,64	2497,21	4222,82
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)	-382,32	-4471,90	1568,70	1263,90	1096,28	950,32	837,77
6	Інтегральний економічний ефект(накопичена чиста вартість) за п 5 ((t)+(t-1))	-382,32	-4854,22	-3285,53	-2021,63	-925,35	24,97	862,74

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.

$$NV = 3910,36.$$

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.

$$NPV = 862,74 \text{ тис. грн.}$$

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	-382,32	-4471,90	1568,70	1263,90	1096,28	950,32	837,77
Кумулятивна	-382,32	-4854,22	-3285,53	-2021,63	-925,35	24,97	862,74

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:

$$T = 3 + 925,35 / 950,32 = 3,97 \text{ років} = 4 \text{ роки.}$$

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

- Кошторисна вартість $K_v = 3474,335$ тис. грн.
- Кошторисна заробітна плата ЗП = 354,65 тис. грн.
- Кошторисна трудомісткість $T = 4,342$ тис. люд –год
- Вартість матеріалів – 1944,107 тис. грн.

Розраховали основні показники ефективності інвестицій в проект:

- Чисті грошові надходження – 3910,36 тис. грн.;
- Чиста поточна вартість –862,74 тис. грн.;
- Термін окупності, розрахований кумулятивним методом – 4 роки.

Висновки до розділу 5

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

ВИСНОВКИ

Встановлено енергетичну та економічну ефективність застосування парокомпресійної теплонасосної установки в тепловій схемі водогрійної котельні.

За результатами проведеного багатоваріантного аналізу низки енергетичних та екологічних показників досліджених варіантів модернізації було обрано варіант застосування парокомпресійної ТНУ з приводом від поршневого двигуна на природному газі як найбільш ефективний. Джерелом низькотемпературної теплоти для ТНУ буде теплота від контактного утилізатора та поверхнева вода.

За результатами проведеного техніко-економічного обґрунтування визначено, що при застосуванні теплонасосної установки з приводом від газопоршневого двигуна в тепловій схемі водогрійної котельні забезпечується економія робочого палива у 32,4%, за рахунок чого знижуються експлуатаційні витрати та собівартість теплоти.

Розрахунки показників ефективності теплової схеми котельні з ТНУ проводились за допомогою спеціалізованої програми SOLKANE Refrigerants 8.0

Проведено моделювання показників екологічної безпеки теплової схеми, для визначення індикаторів екологічної ефективності.

В МКР виконано моделювання роботи теплонасосної установки в тепловій схемі опалювальної водогрійної котельні з використанням спеціалізованих програм: HP FAT Calculator Programme-2023, Treeze та SOLKANE; виконаний аналіз варіантів застосування теплонасосних установок в тепловій схемі котельні, проведено розрахунки ефективності низки варіантів застосування теплонасосних установок в тепловій схемі котельні, виконаний порівняльний аналіз ефективності варіантів застосування ТНУ та

обґрунтування вибору найбільш ефективного варіанту для теплової схеми котельні.

Виконано моделювання роботи теплонасосної установки в тепловій схемі опалювальної водогрійної котельні, а також, моделювання екологічного впливу варіантів модернізації теплової схеми опалювальної водогрійної котельні. Обґрунтовано вибір варіанту застосування когенераційної ТНУ в тепловій схемі котельні з використанням 55% потужності контактного утилізатора. За рахунок впровадження вибраного варіанту когенераційної теплонасосної установки економія робочого палива в тепловій схемі складає $\Delta B_p = 32,41\%$.

За обраним варіантом модернізації підібрано обладнання: підібрано тепловий насос потужністю по 3000 кВт фірми OCHSNER, газопоршневий двигун-генератор марки 11ГД100М, а також утилізаційне обладнання марки КТАН-2,3УГ та насоси фірми GLONG.

Розроблено технологію монтажу нового обладнання.

Визначено основні техніко-економічні показники теплової схеми котельні, у разі модернізації теплової схеми із застосуванням парокомпресійної ТНУ забезпечується економія палива, зменшення експлуатаційних витрат, зниження собівартості теплоти.

За рахунок впровадження парокомпресійної теплонасосної установки в тепловій схемі водогрійної котельні забезпечується економія природного газу в обсязі $\Delta B_p = 32,41\%$. Визначено, що термін окупності капіталовкладень в нове обладнання становить 4 роки, експлуатаційні витрати після модернізації зменшуються на 4,95 млн. грн./рік.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Остапенко О. П., Шиндир О. В. Дослідження показників енергетичної та екологічної ефективності варіантів застосування теплонасосних установок в тепловій схемі водогрійної 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 03.12.24).
2. European Heat Pump Market. URL: <https://www.rehva.eu/rehva-journal/chapter/european-heat-pumpmarket>. (Дата звертання 03.12.24).
3. Market data. URL: <https://www.ehpa.org/market-data/> (Дата звертання 03.12.24).
4. План Європейської комісії REPowerEU: стратегія в галузі теплових насосів. URL: <https://www.heatpump.com.ua/novini-i-publikatsii/novini-industrii/prodazhi-teplovikh-nasosiv-v-vropi-v-2021-rotsi-dosyagli-2-milyoniv.htm> (Дата звертання 03.12.24).
5. REPowerEU. Affordable, secure and sustainable energy for Europe. URL: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/repowerEU-affordable-secure-and-sustainable-energy-europe_en (Дата звертання 03.12.24).
6. Europe's booming demand for heat pumps exposes bottlenecks. URL: <https://www.euractiv.com/section/energy-environment/news/europes-booming-demand-for-heat-pumps-exposes-bottlenecks/> (Дата звертання 03.12.24).
7. Europe avoiding 5.5 billion cubic metres of gas with heat pumps. URL: <https://www.ehpa.org/news-and-resources/news/europe-avoiding-5-5-billion-cubic-metres-of-gas-with-heat-pumps/> (Дата звертання 03.12.24).

8. Wolf, S.; Blesl, M.: Model-based quantification of the contribution of industrial heat pumps to the European climate change mitigation strategy. In: 2016: Proceedings of the ECEEE Industrial Efficiency Conference 2016. Berlin, 12.-14.09.2016. Stockholm, 2016
9. The Future of Heat Pumps. URL: <https://www.iea.org/reports/the-future-of-heat-pumps> (Дата звертання 03.12.24).
10. Heat pumps gain traction as renewable energy grows. URL: <https://www.scientificamerican.com/article/heat-pumpsgain-traction-as-renewable-energy-grows/> (Дата звертання 03.12.24).
11. Advances in heat pump systems: A review. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S030626191000228X> (Дата звертання 03.12.24).
12. The European Heat Pump Association (EHPA). URL: <https://www.ehpa.org/about-heat-pumps/> (Дата звертання 03.12.24).
13. The Heat Pump Accelerator Platform. The Platform is a dynamic EU-wide initiative that aims to speed up the roll-out of heat pumps in buildings, industry, and district heating. URL: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/heat-pumps/heat-pump-accelerator-platform_en (Дата звертання 03.12.24).
14. Local actions for implementing National Energy Plans: decarbonising heating and cooling in Europe. URL: <https://www.ehpa.org/news-and-resources/news/local-actions-for-implementing-national-energy-plans-decarbonising-heating-and-cooling-in-europe/> (Дата звертання 03.12.24).
15. EU could end up 15 million heat pumps short of 2030 ambition. URL: <https://www.ehpa.org/news-and-resources/news/eu-could-end-up-15-million-heat-pumps-short-of-2030-ambition/> (Дата звертання 03.12.24).
16. EHPA manifesto: priorities for EU policy 2024-2029. URL: <https://www.ehpa.org/news-and-resources/publications/ehpa-manifesto-priorities-for-eu-policy-2024-2029/> (Дата звертання 03.12.24).

17. Infographic: how Fit for 55 impacts heat pumps. URL: <https://www.ehpa.org/news-and-resources/news/infographic-how-fit-for-55-impacts-heat-pumps/> (Дата звертання 03.12.24).
18. 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.
19. Ostapenko O. P. Scientific basis of evaluation energy efficiency of heat pump plants: monograph. Saarbrücken, LAP LAMBERT Academic Publishing, 2016. 62 p.
20. 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.
21. 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.
22. 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.

23. 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.
24. 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. 64-68.62.
25. 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 03.12.24).
26. 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.
27. 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.

28. 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 03.12.24).
29. 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.
30. Ткаченко С. Й., Остапенко О. П. Парокомпресійні теплонасосні установки в системах теплопостачання: монографія. Вінниця : УНІВЕРСУМ – Вінниця. 2009. 176 с.
31. Остапенко О. П. Холодильна техніка та холодильна технологія. Теплові насоси : навч. посіб. Вінниця : ВНТУ, 2015. 123 с.
32. HP FAT Calculator Programme-2023. URL: <https://www.dti.dk/specialists/heat-pumps-hp-fat/39679> (Дата звертання 03.12.24).
33. Engineering Equation Solver (EES). URL: <https://fchartsoftware.com/ees/> (Дата звертання 03.12.24).
34. Програмний продукт компанії Treeze Ltd з оцінки життєвого циклу. URL: <https://treeze.ch/> (Дата звертання 03.12.24).
35. Калькулятор централізованого опалення. URL: https://rechner.umweltchemie.ch/HTMLFernwaerme22_de_v4/Oekobilanzrechner_Fernwaerme_2022_deutsch_v4_UVEK2022.htm (Дата звертання 03.12.24).

36. Калькулятор теплового насосу. URL: https://rechner.umweltchemie.ch/HTML/Waermepumpen22_de_v5/Oekobilanzrechner_Waermepumpen_2022_deutsch_v5_UVEK2022.htm (Дата звертання 03.12.24).
37. Ткаченко С. Й., Чепурний М. М., Степанов Д. В. Розрахунки теплових схем і основи проектування джерел теплопостачання. Навч. Посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2005. 137 с.
38. SOLKANE Refrigerants 8. URL: <https://solkane-refrigerants.software.informer.com/8.0/> (Дата звертання 03.12.24).
39. Газопоршневі двигуни. URL: <http://www.malyshevplant.com/>. (Дата звертання 03.12.24)
40. Промислові теплові насоси. URL: <https://www.geoteplo.com.ua/ua/katalog/catalogochsnere/heating/119-industrie.html> (Дата звертання 03.12.24).
41. Застосування систем утилізації вологих газів для підвищення енергозбереження в котельних установках. URL: <https://patriot-nrg.com/uk/content/zastosuvannya-system-utylizaciyi-vologyh-gaziv-dlya-pidvyshchennya-energozberezhennya-v> . (Дата звертання 03.12.24).
42. GLONG Product Catalogue. 80 Min / 700 MB. Fujian Glong Electric Group Co. Ltd. China, 2019. 1 електрон. опт. диск (CDROM); 12 см. Назва з контейнера.

Додатки

Додаток А
(обов'язковий)

**ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ
МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ**

Назва роботи: Підвищення енергоефективності в тепловій схемі
опалювальної водогрійної котельні

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	84%
Загальна схожість	16%

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

С.С.С.
(підпис)

Шиндир О.В.

(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)

108

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

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ
до магістерської кваліфікаційної роботи

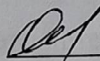
«ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ В ТЕПЛОВІЙ СХЕМІ
ОПАЛЮВАЛЬНОЇ ВОДОГРІЙНОЇ КОТЕЛЬНОЇ»

за спеціальністю

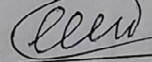
144 – теплоенергетика

08-15.МКР.013.00.00.000 ТЗ

Керівник магістерської
кваліфікаційної роботи

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

Розробив студент гр.ТЕ-23м

 Шиндир О. В.
" 23 " 09 2024 р.

Вінниця 2024

1 Найменування і область використання продукції

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

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

2 Основа для виконання робіт

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

3 Мета та призначення розробки

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

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

основного і допоміжного обладнання когенераційної теплонасосної установки.

4 Джерела розробки

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

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

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

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

4.4 Ткаченко С. Й., Остапенко О. П. Парокомпресійні теплонасосні установки в системах тепlopостачання: 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: потужність системи опалення 7,57 МВт; потужність системи гарячого водопостачання 3,23 МВт; температурний графік теплової мережі 95/70°C; паливо – природний газ; теплота згорання палива 34 МДж/м³.

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 з математичного моделювання систем енергозабезпечення з тепловими насосами	06.10.2024 – 18.10.2024	
3	Моделювання роботи теплонасосної установки в тепловій схемі водогрійної котельні	19.10.2024 – 02.11.2024	
4	Моделювання екологічного впливу варіантів модернізації теплової схеми опалювальної водогрійної 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.

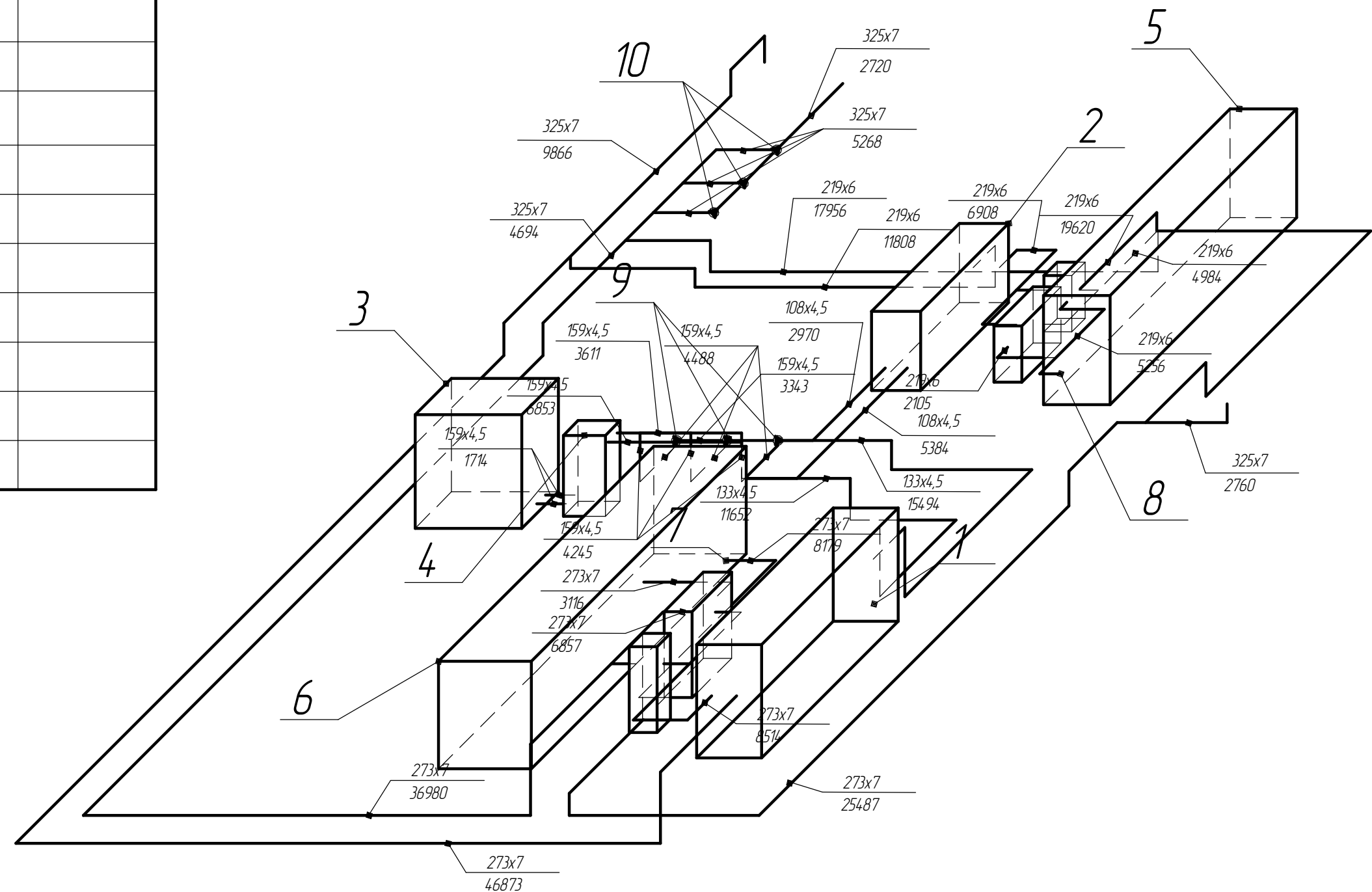
9 Koreгування технічного завдання допускається з дозволу керівника МКР.

Додаток В

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

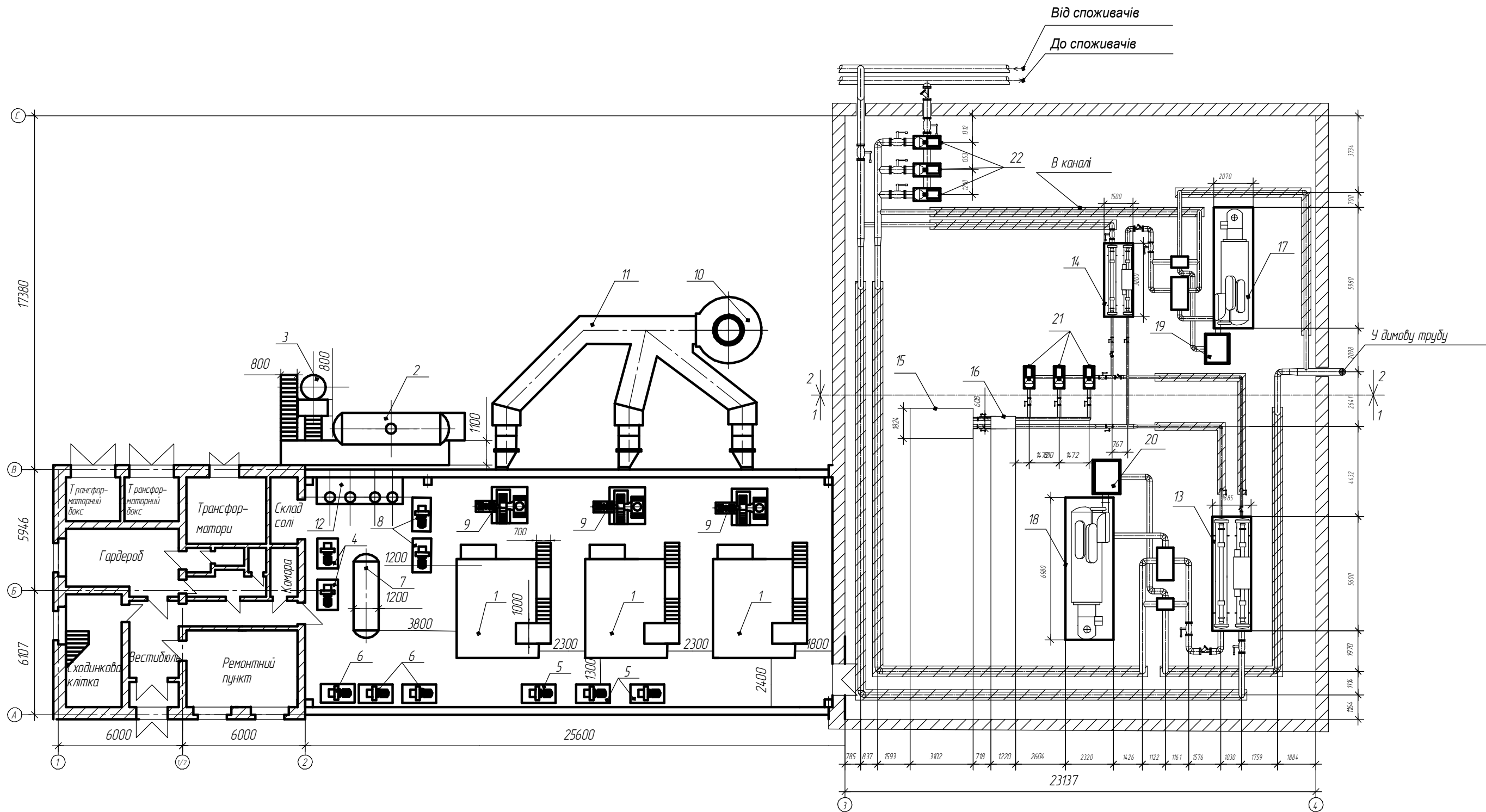
Перелік елементів

Позиція	Найменування	К-сть, шт.	Примітка
1	Теплонасосна установка IWW S 660ER2-3000	1	
2	Теплонасосна установка IWW S 660ER2-1000	1	
3	КТАН-утилізатор КТАН-23УГ	1	
4	Теплообмінник марки HNN°86	1	
5	Газопоршневий двигун- генератор ГДГА800	1	
6	Газопоршневий двигун- генератор 11ГД100М	1	
7	Утилізатор димових газів ГПД	1	
8	Утилізатор димових газів ГПД	1	
9	Насос GLONG GHE-150-125-18,5	3	
10	Насос CALPEDA N4-150-315B	3	



						08-15.МКР.013.01.00.000 Г5			
						м. Вінниця			
Изм.	Кол.ч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Підвищення енергоефективності в тепловій схемі опалювальної водогрійної котельні	Стадія	Лист	Листов
Розроб.		Шиндур О. В.							1
Пров.		Остапенко О. П.							
Опонент									
Т.контр.						Аксонаметрична схема монтажу когенераційно-теплонасосної установки	ТЕ-23м		
Н.контр.		Остапенко О. П.							
Затв.		Степанов Д. В.							

Поз. познач.	Найменування	Кіл.	Примітка
1	Котел	3	
2	Деаератор	1	
3	Розширювальний бак	1	
4	Підживлювальний насос 2КМ-20-30 2К20-18	2	
5	Насос мережний 8К-12	3	
6	Рециркуляційний насос 2К-20-30, 4КМ-12,3КМ-6	3	
7	Бак сирії води	1	
8	Насос сирії води 2К-20-18, 1,5КМ-8/19	2	
9	Димосос ДН-11,2	3	
10	Димова труба	1	
11	Газохід	1	
12	Хімічна водопідготовка	1	
13	Теплонасосна установка 3000	1	
14	Теплонасосна установка 1000	1	
15	КТАН-утилізатор КТАН-2,3УГ	1	
16	Теплообмінник марки НН№86	1	
17	Газопоршневий двигун-генератор ГДГА800	1	
18	Газопоршневий двигун-генератор 11ГД100М	1	
19	Утилізатор димових газів ГПД	1	
20	Утилізатор димових газів ГПД	1	
21	Насос GHE-150-125-18,5	3	
22	Насос CALPEDA N4-150-315B	3	

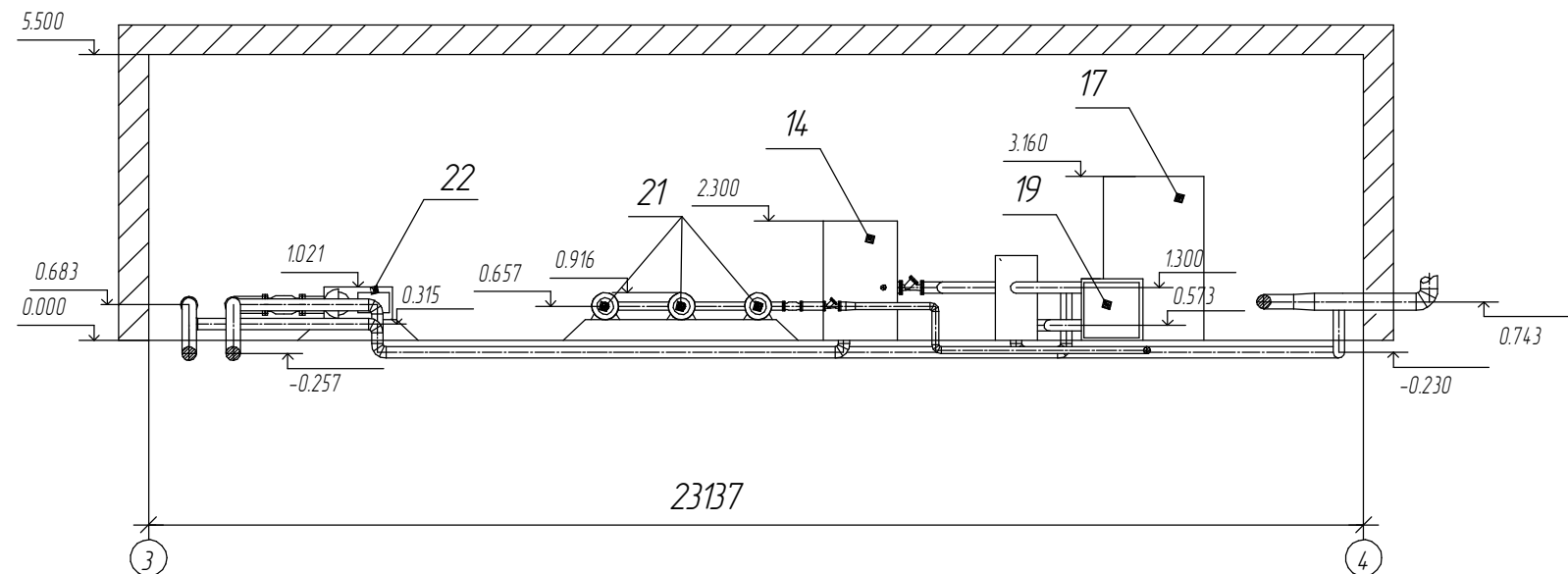


Согласовано

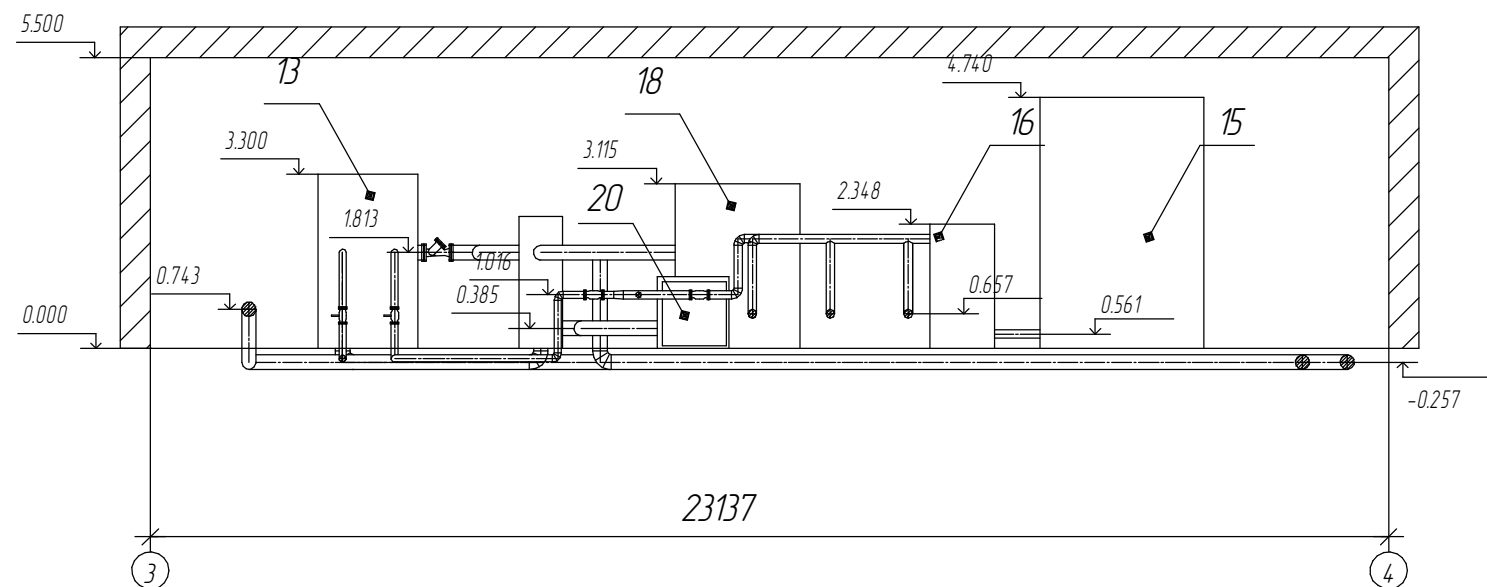
Инд. № подл.	Подп. и дата.	Взам. инв. №

08-15.МКР.013.02.00.000 АР					
м. Вінниця					
Изм.	Колуч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата
Разр.	Шиндур О. В.	Підвищення енергоефективності в тепловій схемі опалювальної водогрійної котельні			
Пров.	Остапенко О. П.				
Опонент		План розташування обладнання та трубопроводів КТНУ			
Т.контр.					
Н.контр.					
Затв.	Остапенко О. П.	Стадія			
	Степанов О. В.				
				Лист	Листов
				1	2
				ТЕ-23М	

Розріз 1-1

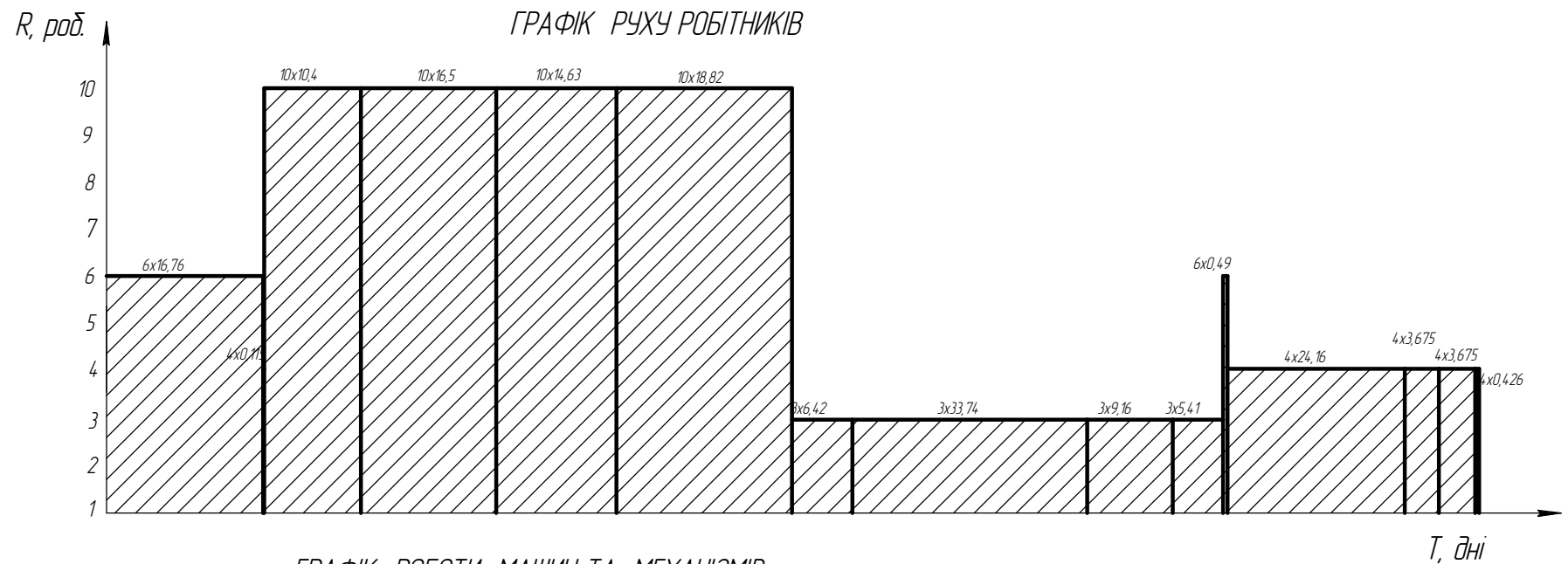


Розріз 2-2



						08-15.МКР.013.02.00.000 АР			
						м. Вінниця			
Изм.	Кол.ц.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Підвищення енергоефективності в тепловій схемі опалювальної водогрійної котельні	Стадія	Лист	Листов
Розроб.		Шиндур О. В.						2	2
Пров.		Остапенко О. П.							
Опонент						Розрізи 1-1,2-2	ТЕ-23м		
Т.контр.									
Н.контр.		Остапенко О. П.							
Затв.		Степанов Д. В.							

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН МОНТАЖУ ТЕПЛОНАСОСНОЇ УСТАНОВКИ

[illegible]

ГРАФІК РОБОТИ МАШИН ТА МЕХАНІЗМІВ

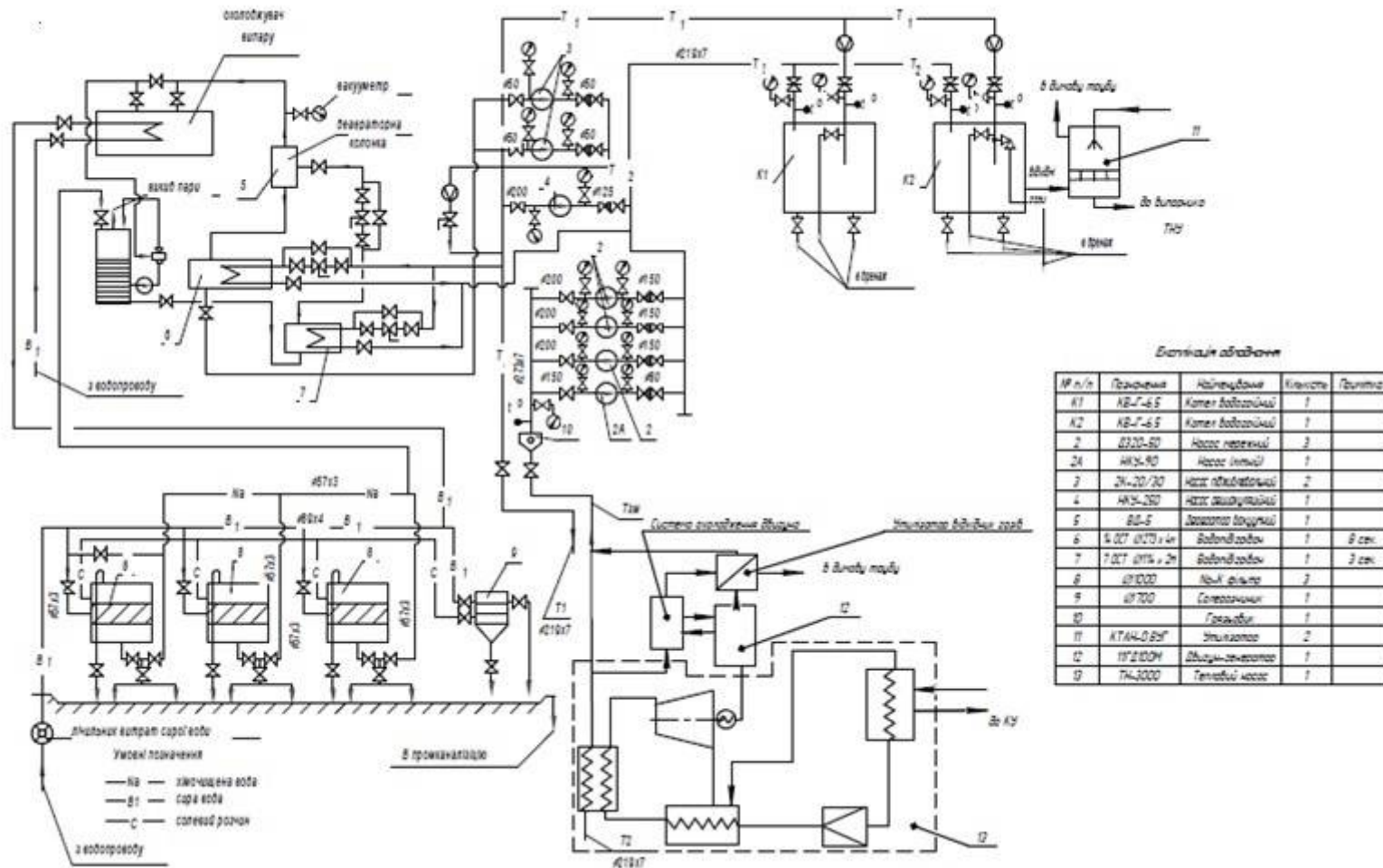
[illegible]

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ
ГРАФІКУ РУХУ РОБІТНИКІВ

№	Позначення	Формула	Результат	Одвімиру
1	$Q_{\text{зоз.}}$	Q_i	998,64	люді/дні
2	$T_{\text{зоз.}}$	–	164,4	дні
3	R_{max}	–	10	людей
4	$R_{\text{сер}}$	$Q_{\text{зоз.}} / T_{\text{зоз.}}$	3	людей
5	$T_{\text{вст.}}$	–	7,6	дні
6	± 1	$R_{\text{сер}} / R_{\text{max}}$	0,3	–
7	± 2	$T_{\text{вст.}} / T_{\text{зоз.}}$	0,1	–

						08-15.МКР.013.03.00.000 КП			
						м. Вінниця			
Изм.	Колуч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Підвищення енергоефективності в тепловій схемі опалювальної водогрійної котельні	Стадія	Лист	Листов
Розроб.	Шиндир О. В.								1
Проб.	Остапенко О. П.								
Рецензент									
Т. контр.									
Н. контр.	Остапенко О. П.					Календарний план монтажних робіт	ТЕ-23М		
Затв.	Остапенко О. В.								

СХЕМА ТЕПЛОА КОТЕЛЬНІ З КОГЕНЕРАЦІЙНОЮ ТЕПЛОНАСОСНОЮ УСТАНОВКОЮ



РЕЗУЛЬТАТИ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Тепловий насос «повітря-вода» Стара будівля Загальний коефіцієнт ефективності 3 Електроенергія з мережі ENTSO E mix Вплив на навколишнє середовище		Per kWh of heat	Per kWh of consumed electricity
Greenhouse gas emissions	kg CO ₂ -eq/kWh	0,205	0,554
Carbon dioxide, fossil	kg CO ₂ /kWh	0,181	0,488
Total primary energy factor	kWh of oil equivalent/kWh	1,804	4,871
Primary energy factor, non-renewable	kWh of oil equivalent/kWh	1,071	2,892
Primary energy factor, nuclear	kWh of oil equivalent/kWh	0,402	1,086
Final energy factor	kWh of oil equivalent/kWh	0,733	1,979
Primary energy factor, on-site renewable	kWh of oil equivalent/kWh	0,63	1,7
Primary energy factor, waste heat/waste water	kWh of oil equivalent/kWh	0	0
Environmental impact points 2021	UBP /kWh	370	999

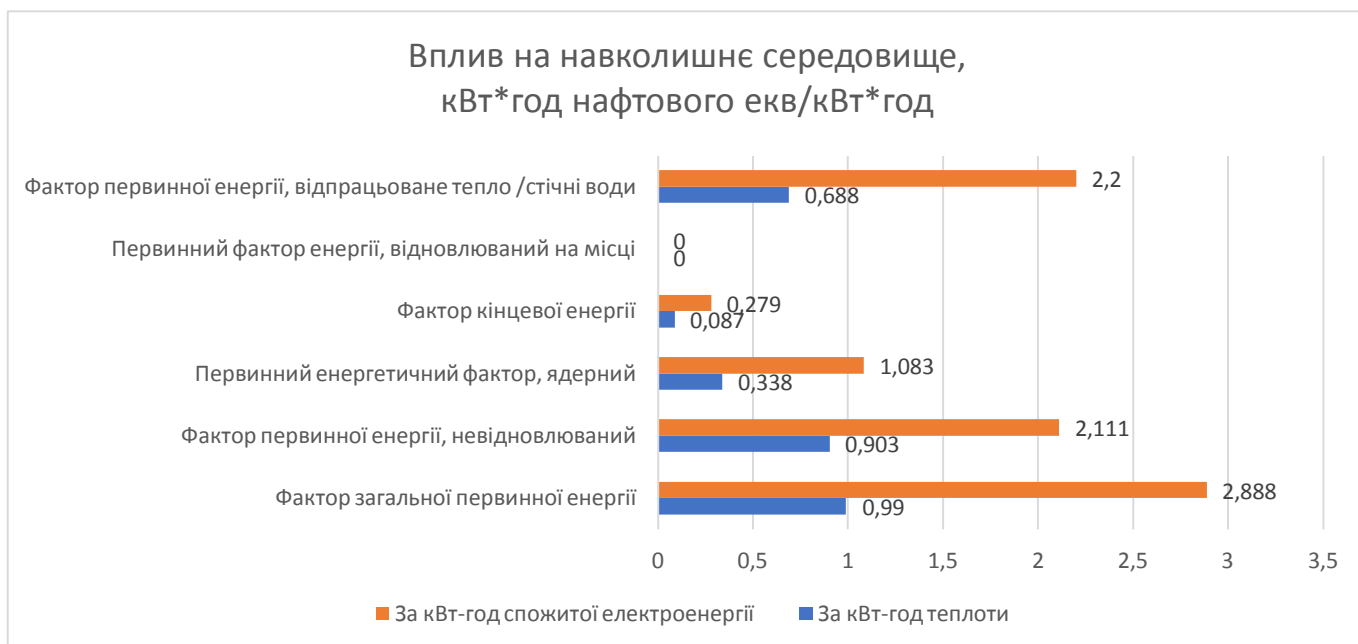
Тепловий насос «повітря-вода» Стара будівля Локальний коефіцієнт ефективності 3 Електроенергія з мережі ENTSO E mix Вплив на навколишнє середовище		Per kWh of heat	Per kWh of consumed electricity
Greenhouse gas emissions	kg CO ₂ -eq/kWh	0,186	0,557
Carbon dioxide, fossil	kg CO ₂ /kWh	0,163	0,489
Total primary energy factor	kWh of oil equivalent/kWh	1,725	5,175
Primary energy factor, non-renewable	kWh of oil equivalent/kWh	0,965	2,896
Primary energy factor, nuclear	kWh of oil equivalent/kWh	0,362	1,087
Final energy factor	kWh of oil equivalent/kWh	0,76	2,279
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	0
Environmental impact points 2021	UBP /kWh	336	1007

РЕЗУЛЬТАТИ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

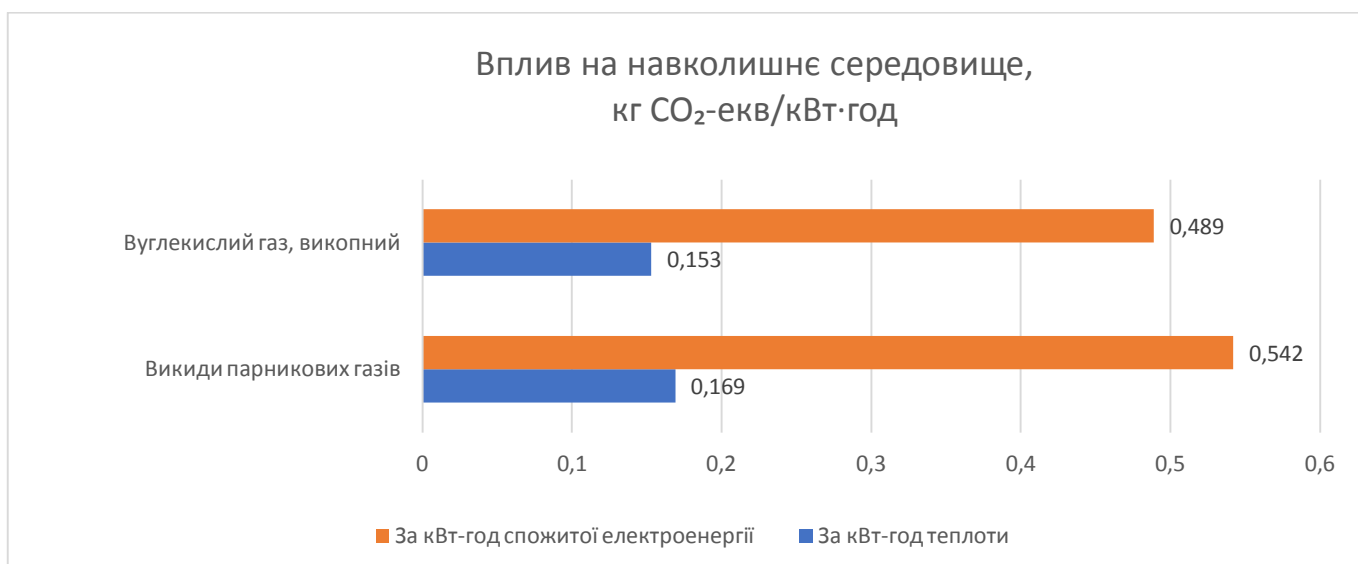
Тепловий насос «повітря-вода» Стара будівля Загальний коефіцієнт ефективності 3 Електроенергія з відновлюваних джерел Вплив на навколишнє середовище		Per kWh of heat	Per kWh of consumed electricity
Greenhouse gas emissions	kg CO ₂ -eq/kWh	0,017	0,047
Carbon dioxide, fossil	kg CO ₂ /kWh	0,006	0,017
Total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

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

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ВАРІАНТІВ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕПЛОНАСОСНИХ УСТАНОВОК В ТЕПЛОВІЙ СХЕМІ КОТЕЛЬНІ

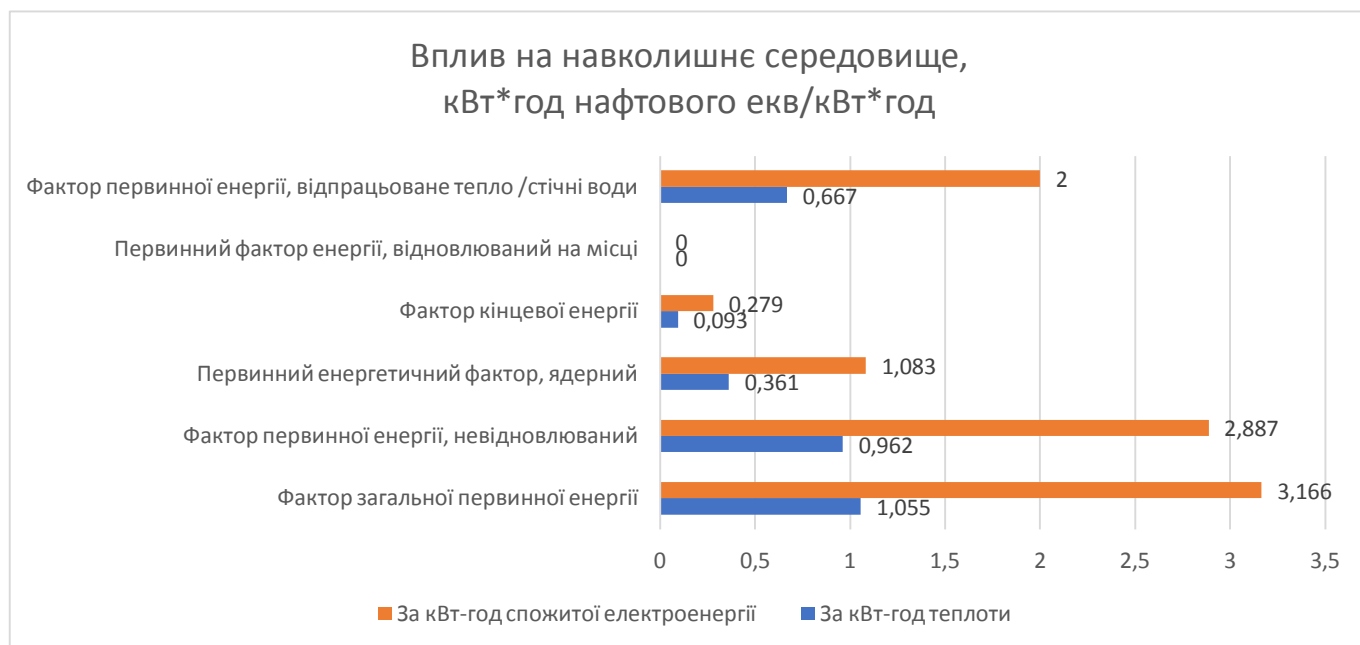


Енергетичні та екологічні показники роботи теплового насоса типу «стічні води-вода» (стара будівля) у разі значення загального коефіцієнта ефективності 3, електроенергія з мережі ENTSO E mix

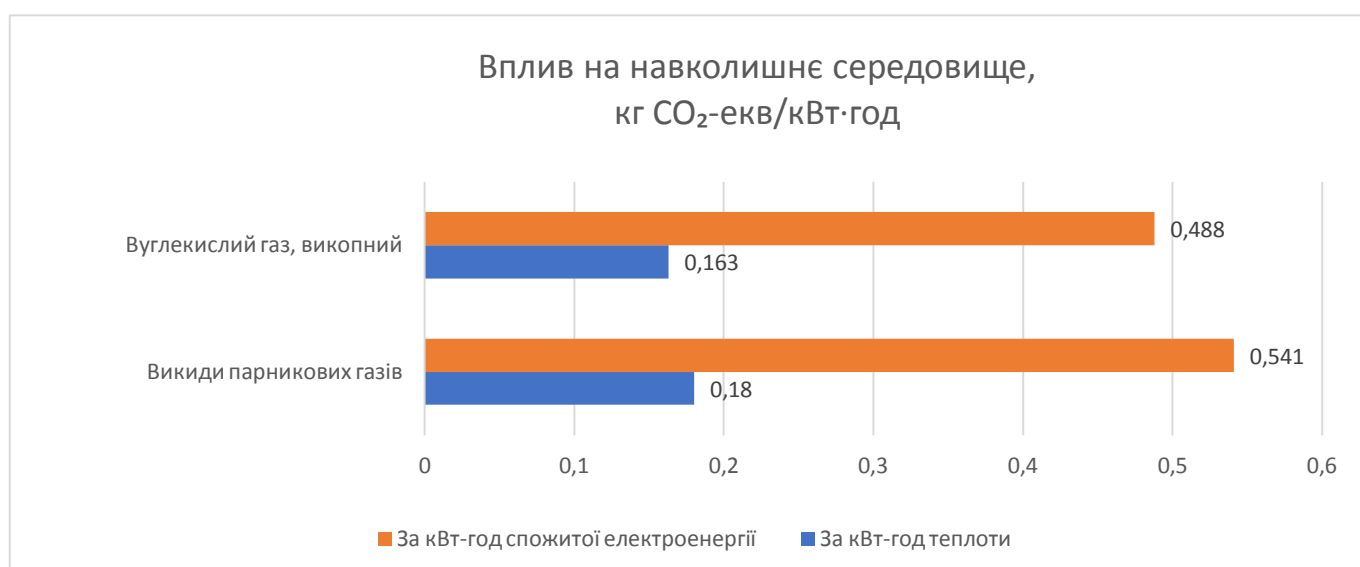


Енергетичні та екологічні показники роботи теплового насоса типу «стічні води-вода» (стара будівля) у разі значення загального коефіцієнта ефективності 3, електроенергія з мережі ENTSO E mix

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ВАРІАНТІВ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕПЛОНАСОСНИХ УСТАНОВОК В ТЕПЛОВІЙ СХЕМІ КОТЕЛЬНОЇ

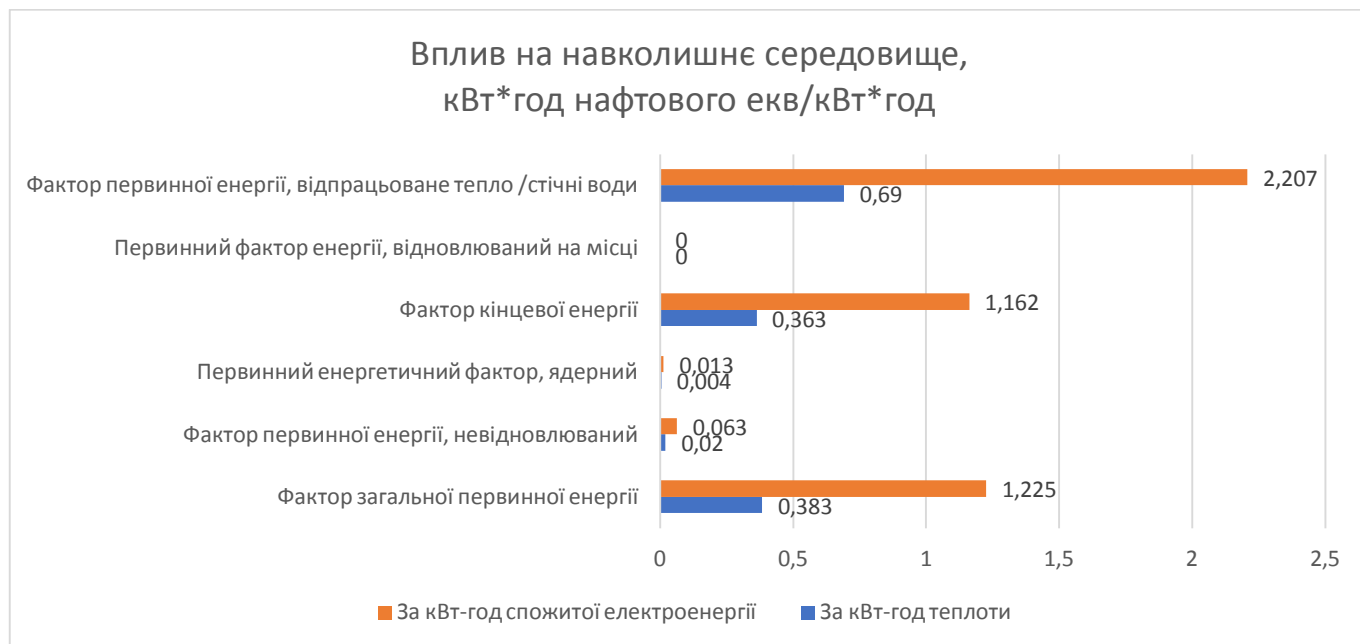


Енергетичні та екологічні показники роботи теплового насоса типу «стічні води-вода» (стара будівля) у разі значення локального коефіцієнта ефективності 3, електроенергія з мережі ENTSO E mix

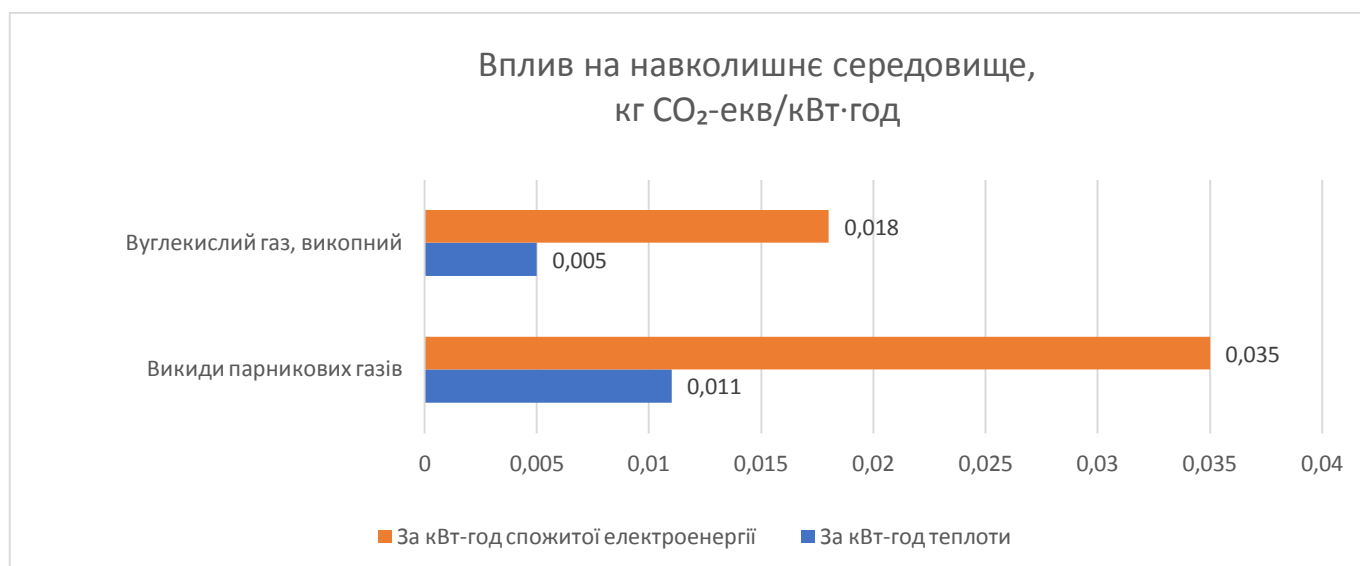


Енергетичні та екологічні показники роботи теплового насоса типу «стічні води-вода» (стара будівля) у разі значення локального коефіцієнта ефективності 3, електроенергія з мережі ENTSO E mix

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ВАРІАНТІВ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕПЛОНАСОСНИХ УСТАНОВОК В ТЕПЛОВІЙ СХЕМІ КОТЕЛЬНОЇ

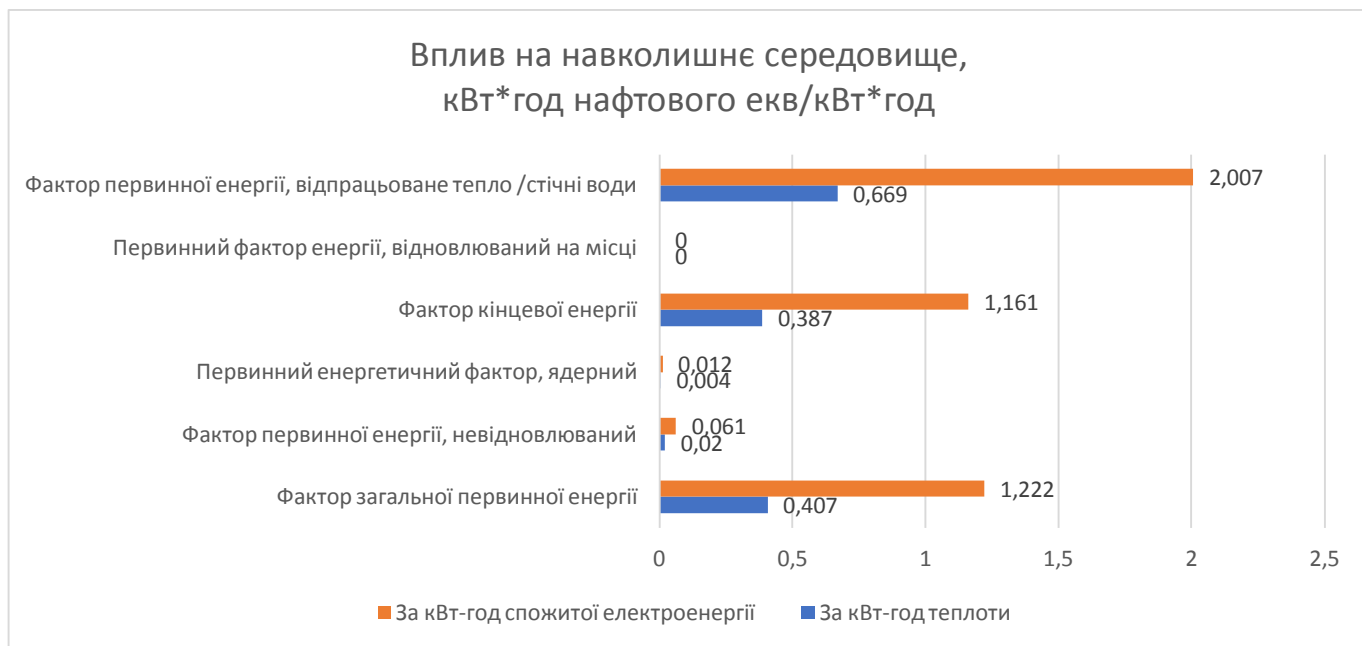


Енергетичні та екологічні показники роботи теплового насоса типу «стічні води-вода» (стара будівля) у разі значення загального коефіцієнта ефективності 3, електроенергія з відновлюваних джерел

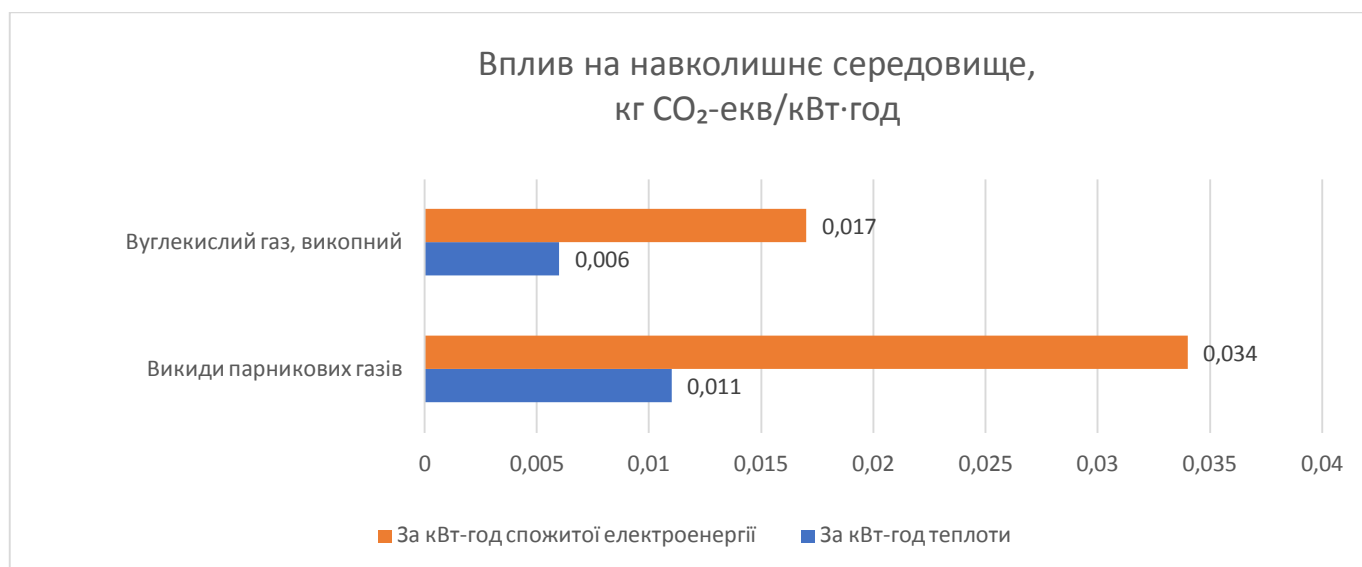


Енергетичні та екологічні показники роботи теплового насоса типу «стічні води-вода» (стара будівля) у разі для значення загального коефіцієнта ефективності 3, електроенергія з відновлюваних джерел

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ВАРІАНТІВ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕПЛОНАСОСНИХ УСТАНОВОК В ТЕПЛОВІЙ СХЕМІ КОТЕЛЬНОЇ



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



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