

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 ефективності енерговикористання в тепловій схемі водогрійної опалювальної котельні»

08-15.МКР.009.00.00.000 ПЗ

Виконав: студент 2 курсу групи ТЕ-22м  
спеціальності 144 - теплоенергетика

(шифр і назва спеціальності)

Яворський Б. І.  
(прізвище та ініціали студента)

Керівник Остапенко О.П.  
(прізвище та ініціали)

« 05 » 12 2023 р.

Опонент Андрухов В. М.  
(прізвище та ініціали)

« 18 » 12 2023 р.

Допущено до захисту  
Завідувач кафедри ТЕ

с.п.н., доц. Дмитро СТЕЦАНОВ

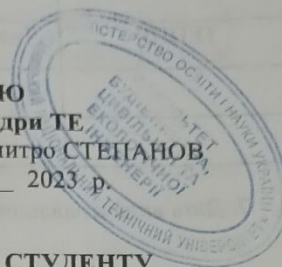
(прізвище та ініціали)

« 18 » 12 2023 р.

Вінниця ВНТУ - 2023 рік

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

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри ТЕ  
Дмитро **СТЕЦАНОВ**  
"22" 09 2023 р.



## ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

### ЯВОРСЬКОМУ БОГДАНУ ІГОРОВИЧУ

(прізвище, ім'я, по батькові)

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

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від 18.09.2023 р. № 247.

2. Строк подання студентом роботи 5 грудня 2023 року.

3. Вихідні дані до роботи: потужність системи опалення 12,55 МВт; потужність системи гарячого водопостачання 5,16 МВт; температурний графік теплової мережі 95/70°C; паливо – природний газ; теплота згорання палива 34 МДж/м<sup>3</sup>.

4. Зміст текстової частини: аналітичний літературний огляд, оцінка варіантів з підвищення ефективності енерговикористання в тепловій схемі опалювальної котельні, розробка технології монтажу обладнання когенераційних теплонасосних установок, автоматизація теплової схеми котельні, техніко - економічні показники проєктних рішень, охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

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

схема теплова загальна котельні з КТНУ; аксонометрична схема монтажу когенераційно-теплонасосної установки, план розташування обладнання та трубопроводів КТНУ, розрізи, календарний план монтажних робіт, функціональна схема автоматизації водогрійної котельні, результати математичного моделювання; результати дослідження варіантів застосування теплонасосних установок в тепловій схемі котельні (4 листи);

6. Консультанти розділів роботи

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата   |                  |
|--------|---|----------------|------------------|
|        |   | завдання видав | завдання прийняв |
| ОПБНС  | Кобилянська І.М.<br>доц. каф. БЖДПБ       |                |                  |
| ТЕППР  | Лялюк О.Г., доц. каф. БМГА                |                |                  |
|        |   |                |                  |
|        |   |                |                  |

7. Дата видачі завдання 22.09.23

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

| № з/п | Назва етапів МКР   | Строк виконання етапів МКР | Примітка |
|-------|--|----------------------------|----------|
| 1     | Аналітичний літературний огляд   | 25.09.2023 – 05.10.2023    | викон    |
| 2     | Оцінка варіантів з підвищення ефективності енерговикористання в тепловій схемі опалювальної котельні | 06.10.2023– 18.10.2023     | викон    |
| 3     | Розробка технології монтажу обладнання когенераційних теплонасосних установок                        | 19.10.2023 – 02.11.2023    | викон    |
| 4     | Автоматизація теплової схеми котельні.   | 03.11.2023 – 19.11.2023    | викон    |
| 5     | Техніко - економічні показники проектних рішень  | 20.11.2023 – 29.11.2023    | викон    |
| 6     | Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.   | 30.11.2023 – 07.12.2023    | викон    |
| 7     | Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу   | 30.11.2023 – 05.12.2023    | викон    |

Студент

(підпис)

**Яворський Б. І.**  
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

**Остапенко О.П.**  
(прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

УДК 621.577

Яворський Б. І. Підвищення ефективності енерговикористання в тепловій схемі водогрійної опалювальної котельні. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 144 – Теплоенергетика, освітня програма - Теплоенергетика. Вінниця: ВНТУ, 2023. 77 с. На укр. мові. Бібліогр.: 56 назв; рис.: 71; табл. 23.

В магістерській кваліфікаційній роботі (МКР) оцінюється підвищення ефективності енерговикористання в тепловій схемі водогрійної опалювальної котельні. Це досягається за рахунок впровадження когенераційної теплонасосної установки на вторинних енергоресурсах в тепловій схемі котельні. Проведено аналітичний огляд літературної інформації щодо енергоефективної енергозбережної технології теплових насосів, було враховано світовий та європейський досвід. Виконано моделювання у програмі HP FAT Calculator Programme-2023 для трьох режимів роботи схеми з теплонасосними установками у відповідності з режимними параметрами теплової схеми котельні. Екологічний вплив варіантів модернізації було оцінено в програмі компанії Treeze Ltd з оцінки життєвого циклу. Було обрано до проектування варіант модернізації теплової схеми опалювальної котельні з теплонасосною установкою на теплоти вторинних низькотемпературних енергоресурсів котельні. Розроблено функціональну схему автоматизації котельні, розроблено технологію монтажу когенераційної теплонасосної установки в тепловій схемі котельні, виконано розробку кошторису та економічних показників впровадження когенераційної теплонасосної установки в котельні заводу, розроблено заходи з охорони праці.

Графічна частина складається з 10 аркушів.

Ключові слова: теплонасосна установка, когенераційна установка, котельня, витрата палива, енергоефективність

## ABSTRACT

Yavorskyi B. I. Increasing the efficiency of energy use in the thermal scheme of a water heating boiler house. Master's qualification work in the specialty 144 - Heat Power Engineering, educational program - Heat Power Engineering. Vinnytsia: VNTU, 2023. 77 p. In Ukrainian language. Bibliogr .: 57 titles; fig .: 71; table 23.

The master's qualification thesis (MQT) evaluates the improvement of the efficiency of energy use in the thermal circuit of a water-heating boiler house. This is achieved due to the introduction of a cogeneration heat pump unit using secondary energy resources in the boiler room's thermal scheme. An analytical review of literary information on energy-efficient energy-saving technology of heat pumps was conducted, world and European experience was taken into account. Modeling was carried out in the HP FAT Calculator Program-2023 for three modes of operation of the circuit with heat pump units in accordance with the mode parameters of the thermal circuit of the boiler house. The environmental impact of the retrofit options was evaluated in Treeze Ltd's Life Cycle Assessment program. The option of modernizing the thermal circuit of the heating boiler room with a heat pump installation for the heat of secondary low-temperature energy resources of the boiler room was chosen for the design. A functional scheme of automation of the boiler room was developed, the technology of installation of a cogeneration heat pump unit in the thermal scheme of the boiler room was developed, an estimate and economic indicators of the introduction of a cogeneration heat pump unit in the boiler room of the plant were developed, labor protection measures were developed.

The graphic part consists of 10 sheets.

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

## ЗМІСТ

|  |     |
|--|-----|
| ВСТУП.....   | 6   |
| 1 АНАЛІТИЧНИЙ ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД .....   | 8   |
| 1.1 Енергоефективна енергозбережна технологія теплових насосів.<br>Світовий та європейський досвід.....                    | 8   |
| 1.2 Висновки до розділу 1.....   | 16  |
| 2 ОЦІНКА ВАРІАНТІВ З ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ<br>ЕНЕРГОВИКОРИСТАННЯ В ТЕПЛОВІЙ СХЕМІ ОПАЛЮВАЛЬНОЇ<br>КОТЕЛЬНІ .....         | 17  |
| 2.1 Математичне програмне забезпечення розрахунків.....  | 17  |
| 2.2 Результати математичного моделювання з використанням<br>програмних продуктів.....                                      | 19  |
| 2.3 Висновки до розділу 2.....   | 58  |
| 3 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ МОНТАЖУ ОБЛАДНАННЯ<br>КОГЕНЕРАЦІЙНИХ ТЕПЛОНАСОСНИХ УСТАНОВОК .....                                   | 59  |
| 4 АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕПЛОВОЇ СХЕМИ КОТЕЛЬНІ ..   | 60  |
| 5 ТЕХНІКО - ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ПРОЄКТНИХ РІШЕНЬ .....  | 61  |
| 6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....   | 62  |
| ВИСНОВКИ.....  | 68  |
| ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....   | 70  |
| Додаток А (обов'язковий). ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ<br>КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ<br>ЗАПОЗИЧЕНЬ.....           | 73  |
| Додаток Б (обов'язковий). ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ.....   | 78  |
| Додаток В (довідковий). МОНТАЖ ОБЛАДНАННЯ КОГЕНЕРАЦІЙНОЇ<br>ТЕПЛОНАСОСНОЇ УСТАНОВКИ.....                                   | 83  |
| Додаток Г (довідковий). АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕПЛОВОЇ СХЕМИ ПАРОВОЇ<br>КОТЕЛЬНІ З КОГЕНЕРАЦІЙНОЮ ТЕПЛОНАСОСНОЮ<br>УСТАНОВКОЮ..... | 89  |
| Додаток Д (довідковий). ТЕХНІКО - ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ<br>ПРОЄКТНИХ РІШЕНЬ.....  | 107 |
| Додаток Е. ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА.....   | 114 |

## ВСТУП

**Актуальність теми.** На основі результатів багаторічних досліджень були отримані показники відносної паливної економічності комбінованих когенераційних теплонасосних установок, які підтверджують більш високу енергоефективність комбінованих установок, перспективність і доцільність їх застосування в муніципальній теплоенергетиці і теплотехнологіях в Україні.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** МКР виконана за темою, що відповідає тематиці досліджень відповідно до наукового напрямку досліджень кафедри теплоенергетики ВНТУ.

**Метою МКР** є підвищення ефективності енерговикористання в тепловій схемі котельні з використанням когенераційних теплонасосних установок (КТНУ), обґрунтування енергоефективних та економічно обґрунтованих режимів роботи котельних з КТНУ, оцінка обсягів економії паливно-енергетичних ресурсів та економії коштів від застосування КТНУ в тепловій схемі котельні.

**Об'єкт дослідження** – ефективність енерговикористання в тепловій схемі водогрійної котельні із застосуванням когенераційних теплонасосних установок.

**Предметом дослідження** є процеси в елементах теплової схеми котельні та КТНУ, що сприятимуть підвищенню ефективності енерговикористання.

### **Завдання МКР:**

- дослідити засоби з підвищення ефективності енерговикористання, з залученням методологічних основ енергозбереження як фактора стійкого розвитку, що можуть бути застосовані до теплових схем водогрійних котельних для випадків використання КТНУ;
- дослідити та оцінити вплив змінних режимів роботи теплової схеми котельні з КТНУ на значення показників ефективності теплової схеми котельні;
- за результатами проведених досліджень визначити енергоефективні та економічно доцільні умови ефективної експлуатації КТНУ в тепловій схемі котельні;
- розробити та запропонувати рекомендації із підвищення ефективності енерговикористання в теплових схемах котельних у разі застосування у схемі КТНУ.

**Наукова новизна:**

- проведено апробацію методу оцінювання енергоекологічної ефективності КТНУ у схемах водогрійних котелень на основі показників енергетичної та екологічної ефективності теплових схем з КТНУ, що здійснено для визначення режимів енергоефективної та енергоекономічної експлуатації;
- дістали подальший розвиток методи прогнозування умов енергоекономічно ефективної інтеграції КТНУ в муніципальну та промислову теплоенергетику України в частині визначення оптимальних енергоекономічних умов застосування КТНУ.

**Методи дослідження.** В МКР використано методи математичного моделювання, аналізу та синтезу складних енергетичних систем.

**Практичне значення одержаних результатів.**

Встановлено енергетичний, екологічний та економічний ефект від застосування КТНУ в тепловій схемі котельні.

**Апробація результатів роботи.** Матеріали та результати досліджень доповідалися на двох конференціях.

**Публікації.** Результати проведених досліджень опубліковано в двох тезах доповідей [1 - 2].

**Структура та обсяг роботи.** МКР складається: із вступу, шести розділів, загальних висновків, списку використаної літератури, технічного завдання та додатків. Загальний об'єм роботи становить 77 сторінок. МКР містить ілюстрації, графічні залежності, необхідні креслення.



## 1 АНАЛІТИЧНИЙ ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

### 1.1 Енергоефективна енергозбережна технологія теплових насосів. Світовий та європейський досвід

Технологія теплового насоса може забезпечити значні економічні, екологічні та енергетичні переваги для Європи. Теплові насоси використовують відновлювану енергію і можуть бути єдиною найефективнішою технологією для опалення та охолодження, особливо коли обидві послуги потрібні в одному місці й одночасно.

Теплові насоси встановлюються у великій кількості лише нещодавно, тоді як основна концепція існує вже понад 150 років. Зараз ця технологія стає нарижним каменем «енергетичної суміші» для декарбонізації опалення та охолодження в промисловості та суспільстві в цілому. Тому енергетичний перехід – це не технологічний виклик, а скоріше питання політики та підвищення обізнаності.

Тепловий насос може забезпечити опалення, охолодження та гарячу воду для житлових, комерційних і промислових приміщень. Будь-яка установка теплового насоса може забезпечувати обігрів і охолодження паралельно. Залежно від того, яка послуга переважно використовується, машина називається тепловим насосом, кондиціонером або охолоджуючою/холодильною машиною.

Існує багато термодинамічних принципів, які використовуються для забезпечення нагріву та охолодження. Отже, термін тепловий насос відноситься не до одного рішення, а до ряду технологій, які можна використовувати. Це стало достатньою причиною для того, щоб Міжнародне енергетичне агентство (МЕА) перейменувало свій центр знань у «Програму технологічної співпраці з технологій теплових насосів (МЕА НРТ ТСП)» [3].

Електричний парокомпресійний цикл використовується в більшості теплових насосів, доступних на ринку. Крім електричного компресійного циклу, компресор теплового насоса може працювати від електродвигуна або газового двигуна. Менша частка теплових насосів використовує цикл стиснення пари, але вони працюють від двигунів внутрішнього згорання. Залежно від процесу, розрізняють процеси адсорбції та абсорбції. Інші технології нагріву та охолодження, деякі з них все ще знаходяться на експериментальній стадії та деякі з них мають ринкову значимість, засновані на

стисненні холодного газу, а також на термоелектричних, термомагнітних, термоакустичних і термопружних процесах.

У режимі охолодження бажаною послугою є постійне охолодження джерела енергії. У цьому випадку вироблена енергія викидається в навколишнє середовище як відходи.

Промислові теплові насоси – це найчастіше індивідуальні системи, призначені для задоволення конкретних потреб. Залежно від конструкції системи та використовуваного холодоагенту, різниця температур приблизно в 70 К покривається максимальним корисним теплом приблизно від 150 до 170 °С. Більшість застосувань забезпечує опалення при 30 - 55°С і гарячу воду при 55°С до 65°. Температурний рівень можна збільшити за допомогою теплових насосів на CO<sub>2</sub>, які ефективно забезпечують гарячу воду при 90°С. Однією з проблем проектування промислових теплових насосів є вибір компонентів, які можуть працювати при більш високих температурах на стороні джерела енергії.

Електричний компресійний тепловий насос використовує електроенергію для роботи компресора та насосів; сорбційний тепловий насос використовує теплову енергію для керування циклом. У загальному енергетичному балансі частка рушійної енергії, необхідної для руху циклу, порівняно мала; в режимі опалення одна одиниця рушійної енергії генерує приблизно 3-5 одиниць корисного тепла [4].

Більшість виробленої енергії відбирається з навколишнього середовища: теплові насоси можуть використовувати відновлювану енергію з повітря, води та землі. Теплові насоси також можуть використовувати надлишок енергії з промислових процесів, об'єкти інфраструктури (каналізація, метро, підземний паркінг) і повторно використовувати відпрацьоване повітря з будівель. Відрізнити відновлювану енергію від надлишкової іноді нелегко, однак вплив той самий: очевидне зменшення кінцевого попиту на невідновлювану енергію та відповідних викидів. Співвідношення між часткою рушійної енергії та відновлюваної/надлишкової енергії визначається коефіцієнтом продуктивності (COP) машини.

Завдяки «озелененню» суміші електроенергії, усі теплові насоси зменшують викиди. У Європі теплові насоси є технологією відновлюваної енергії за термодинамікою та за визначенням. Стаття 2 Європейської директиви щодо сприяння

використанню енергії з відновлюваних джерел (2009/28/EU) визначає аеротермальну, геотермальну та гідротермальну енергію як відновлювану. Стаття 5 передбачає, що ця енергія повинна враховуватися в європейській енергетичній статистиці. Метод розрахунку цього внеску наведено в Додатку до Директиви, а також у наступному рішенні Європейської Комісії.

Відновлювана енергія вважається кінцевою енергією: різниця між корисною енергією, виробленою тепловим насосом, і рушійною енергією, яка використовується для приводу агрегату, вважається відновлюваною. Теплові насоси, що працюють на 100% екологічно чистій електроенергії, сьогодні забезпечують опалення та охолодження на 100% відновлюваними джерелами без викидів. Однак з точки зору енергетичної статистики джерело рушійної енергії розглядається як «чорний ящик». Євростат підраховує вироблену теплову енергію в сегменті опалення, тоді як частка «зеленої» електроенергії враховується окремо в статистиці електроенергії. Використання відновлюваної енергії для опалення щорічно публікується на сайті Євростату.

Опалення є основою життя людини. Пара, вироблена з вугілля, привела до промислової революції, а потім відкриття нафти й газу створило прорив в транспортних секторах, що стало причиною торгівлі по всьому світу. Але це не тільки опалення – сьогодні глобальні ланцюжки створення вартості були б неможливі без охолодження.

Протягом століть опалення забезпечувалося спалюванням викопних джерел енергії – деревини, вугілля, нафти та газу. Проте негативні наслідки для навколишнього середовища стали вже неприйнятні для суспільства. Паризька угода передбачає повну декарбонізацію нашої економічної діяльності на Землі, що значною мірою вплине особливо на енергетичну систему, а також економіку [5].

Сценарії декарбонізації, розраховані Міжурядовою групою експертів зі зміни клімату (IPCC), чітко показують, що якщо глобальне потепління потрібно обмежити 1,5 °C з імовірністю 50%, тоді світовий обсяг викидів CO<sub>2</sub> необхідно скоротити до нуля до середини 21 століття. Усі шляхи досягнення цієї мети включають негативні викиди – фільтрацію CO<sub>2</sub> з атмосфери – тоді як технології для цього в кращому випадку лише зароджуються.

Опалення та охолодження відіграють особливу роль у переході до сталої енергетичної системи. У всьому світі цей сектор відповідає за близько 40% кінцевого попиту на енергію. У Європі 52% кінцевого попиту на енергію припадає на опалення та охолодження; 25% використовується для виробництва електроенергії і 23% на транспорті. Таким чином, декарбонізація суспільства без декарбонізації опалення та охолодження неможлива.

У секторі опалення та охолодження сьогодні доступні технології для досягнення 100% декарбонізації. Теплові насоси можуть відігравати важливу роль як самостійні рішення або в поєднанні з біомасою, сонячною тепловою енергією, прямою геотермальною енергією та - меншою мірою - екологічним газом і нафтою. Виклик у цьому секторі не стільки технологічний, оскільки потрібні політичні рішення, що потребуватимуть набагато амбітніших політичних зусиль для зміни законодавчої бази, що регулює опалення та охолодження, щоб зробити її сумісною з повною декарбонізацією до 2050 року.

Сьогодні технології теплових насосів можуть сприяти фундаментальним змінам у напрямку системи опалення та охолодження до 2050 року. Теплові насоси дозволяють суспільству усунути викиди від опалення та охолодження, і вони мають кілька додаткових економічних, екологічних і соціальних переваг для сталого майбутнього, не в останню чергу вони допомагають модернізувати економіку та підтримувати неделокалізовані робочі місця в Європі [6].

Опалення та охолодження потрібні суспільству та промисловості. Завдання полягає в тому, щоб мінімізувати вплив на навколишнє середовище внаслідок зростаючого попиту на енергію в Європі. Хоча вплив опалення та охолодження на попит на енергію в Європі було визначено, фундаментальні та точні дані раніше були недоступні. Це стосується Європи в цілому та її держав-членів і регіонів. Якість статистичних даних, що вимірюють попит на енергію та енергоефективність будівель, значно відрізняється від країни до країни, що ускладнює будь-які спроби агрегувати їх на європейському рівні.

Європейська комісія зробила величезний крок вперед у виправленні цієї ситуації, оголосивши тендер на дослідження ринку опалення та охолодження в Європі. Отримані баланси кінцевого використання дозволяють набагато більш

цілеспрямовано розробляти політику та, якщо звіт постійно оновлювати, дадуть змогу оцінити вплив політики в майбутньому, а також подальші цільові коригування.

Додавання відновлюваної енергії, централізованого опалення та тепла навколишнього середовища до поточних викопних джерел енергії, додавання секторів і розширення за наданими послугами, а також поділ за відповідними рівнями температури – все це є важливими вдосконаленнями енергетичної статистики. Вони дозволять провести більш детальний аналіз, визначити пріоритетні сфери та оцінити варіанти заміни викопного палива, а також оцінити відповідний потенціал економії.

Згідно з даними за 2015 рік, кінцевий попит на енергію в Європі становить приблизно 12 600 ТВт-год. 6352 ТВт-год (50,3%) призначені для опалення та охолодження, причому домінуючим енергоносієм є викопний газ (42%), за яким йдуть нафта, біомаса та електроенергія (усі 12%). На централізоване тепlopостачання припадає 9%, а на вугілля – 8%. Потім електроенергія використовується для прямого електричного опалення або теплових насосів [7].

Сумарна потреба в енергії для опалення приміщень і технологічного процесу відповідає за 85% енергії, що використовується для опалення та охолодження, або 43% від загального кінцевого попиту на енергію в ЄС. Хоча очікується, що попит на охолодження значно зросте, у 2018 році він становив лише 3,8 % загальної кінцевої потреби в енергії. З наявних даних можна зробити висновок, що декарбонізація енергетичної системи Європи залежить від успішної декарбонізації опалення. Проте не варто нехтувати охолодженням, оскільки очікується, що в майбутньому попит на нього значно зросте. Спільний погляд на опалення та охолодження та надання обох послуг на основі енергії з відновлюваних джерел/відходів сприятиме декарбонізації. Хоча охолодженню слід приділяти більше уваги, вирішення питання опалення є найбільшим індивідуальним викликом для декарбонізації сектора.

З технічної точки зору, майже всі охолоджувальні пристрої використовують цикл охолодження, який може забезпечити нагрівання та охолодження одночасно. Особливо в комерційних будівлях розгортання теплових насосів у поєднанні з системою управління енергією може допомогти уникнути марних витрат енергії. Відпрацьоване тепло від охолодження однієї частини будівлі може розподілятися в інші частини, де потрібне опалення, або цю енергію можна використовувати для

забезпечення гарячою водою для побутових потреб. Як наслідок, кінцевий попит на енергію буде зменшено, а енергетичні цикли будуть замкнуті.

Розподіл споживання енергії за секторами показує, що опалення приміщень і вода є відповідальними за найбільшу частку попиту на енергію в житлових і комерційних будівлях, тоді як технологічне опалення домінує в промислових застосуваннях, а опалення приміщень має лише незначне значення в цій сфері. Останнє вказує на те, що потреби в обігріві приміщень у промисловому застосуванні можна покрити за рахунок використання відпрацьованого тепла промислових процесів. Надлишок цих процесів можна також використовувати для обігріву будівельного фонду за межами даного промислового приміщення – якщо енергія може бути доступною через енергетичні мережі за необхідного рівня температури, часу та місця. Щоб оцінити цей варіант, потрібні кращі дані, і є численні дослідницькі проекти усунення цієї інформаційної прогалини. Хороший огляд використання енергії в опаленні та охолодженні було надано в результаті тендерного картографування цього сектору, і ці дані були оновлені в рамках європейського проекту «Дорожня карта тепла». Останній також представляє карти використання енергії для різних країн, а також інтерактивний термальний атлас для всієї Європи [8].

Розподіл споживання енергії між секторами показує, що опалення є домінуючою послугою в житловому секторі, тоді як технологічне опалення домінує в промисловості. Коли справа доходить до потенціалу заміщення цих вимог тепловими насосами, опалення та виробництво гарячої води є найбільш очевидними, тоді як можливості технологічного опалення - з використанням доступних технологій - обмежені діапазонами температур нижче 170°C. Поточний рівень впровадження теплових насосів у всіх секторах є набагато нижчим за потенціал.

Попит на опалення та охолодження в Європі залежить від кліматичної зони в поєднанні з відповідними традиціями будівництва та місцевими чи національними стандартами енергоефективності. Варіації від країни до країни значно впливають на потенціал заміни теплових насосів. Очевидно, що потреба в опаленні є вищою в холодному кліматі, тоді як потреба в охолодженні домінує в теплішому кліматі. Огороджувальні конструкції стають кращими, тобто вони втрачають менше тепла через стіни та вікна (краща якість ізоляції) і мають кращу вентиляцію (щільніші вікна

та дахи). Вимоги до комфорту також зростають, а це означає, що жителі теплих регіонів частіше вмикають системи охолодження спекотним літом і, навпаки, підвищують тепло холодною зимою.

Що стосується теплових насосів, це створює можливості для бізнесу, оскільки технологія забезпечує обігрів і охолодження одночасно і відпрацьоване тепло від процесу охолодження може бути використане для забезпечення гарячою водою з дуже низькими додатковими витратами.

Теплові насоси, що працюють на 100% екологічно чистій електроенергії, сьогодні забезпечують опалення та охолодження на 100% відновлюваними джерелами без викидів. Однак з точки зору енергетичної статистики джерело рушійної енергії розглядається як чорний ящик. Євростат підраховує вироблену теплову енергію в сегменті опалення, тоді як частка зеленої електроенергії враховується окремо в статистиці електроенергії. Використання відновлюваної енергії для опалення щорічно публікується на сайті Євростату [9].

Ефективність теплового насоса залежить від різниці температур між джерелом енергії та споживачем енергії. Чим менша температура, необхідна для опалення, і чим вища температура джерела тепла, тим менше роботи повинен виконувати компресор, а отже, тим ефективнішим буде тепловий насос. Коефіцієнт ефективності визначають у стандартних умовах у лабораторії. Цей стандартизований підхід дозволяє порівнювати різні теплові насоси щодо їх ефективності. Вимірювання базуються на стандарті EN14511.

Ефективність роботи систем теплового насоса залежить від ефективності агрегату та потреб у тепловій енергії будівлі, в якій він експлуатується. У житлових приміщеннях енергоспоживання будівлі залежить головним чином від її енергетичної якості та місцевої кліматичної зони. Сезонна ефективність теплового насоса визначається шляхом зважування ефективності агрегату за стандартних умов роботи з кількістю днів, коли вони відбуваються. Отриманий показник є сезонним коефіцієнтом продуктивності (SCOP). Цей коефіцієнт визначається за допомогою європейського стандарту EN14825, а також використовується для більш реалістичного порівняння теплових насосів у різних кліматичних зонах. Цей підхід є основою для визначення ефективності теплового насоса в нормативних актах з

екодизайну, які потім застосовуються для визначення енергетичного маркування для теплових насосів.

Ефективність виробництва гарячої води залежить від кількості та рівня температури води, що використовується. Він визначається за допомогою ряду репрезентативних добових циклів відведення, встановлених у європейському стандарті EN16147. Отриманий показник є добовим коефіцієнтом продуктивності для виробництва гарячої води (COPDHW).

Найбільш комплексний підхід до визначення ефективності системи теплового насоса вимірює продуктивність установки, встановленої в будівлі або процесі. Результат називається сезонним коефіцієнтом продуктивності (SPF) [10].

SPF застосовується до певної комбінації теплових насосів, будівель і кліматичних зон. Це дозволяє провести енергетичну оцінку установки в конкретній будівлі. Щоб порівняти різні значення SPF, межі системи повинні бути ідентичними. У рамках проекту ЄС SEPЕМО було розроблено підхід для оцінки річної ефективності для різних частин систем теплового насоса. Різні значення SPF можуть слугувати схемою для майбутніх польових вимірювань, що дозволить порівнювати дані по всій Європі.

Типовим тепловим насосам потрібна одна одиниця кінцевої енергії (електроенергії) для забезпечення 3-5 одиниць теплової потужності. Для охолодження одна одиниця вхідної електроенергії призводить до 2-4 одиниць охолодження. Очевидно, що це найоптимальніше використання вхідної енергії значно підвищує ефективність установок і зменшує загальну потребу в енергії.

Одна одиниця споживаної електроенергії забезпечує від 5 до 9 одиниць опалення та охолодження. З точки зору інвестицій, для надання обох послуг потрібна лише одна установка.

Ефективність теплових насосів з часом зростає. Це можна спостерігати як у розвитку продуктивності агрегату, так і при розгляді ефективності систем. Оцінка продуктивності теплового насоса в різних проектах, виконаних Fraunhofer ISE у Фрайбурзі, Німеччина, показує підвищення максимальної ефективності в нових будівлях з 5,1 до 5,4 для геотермальних теплових насосів, тоді як повітряно-водяні теплові насоси підвищили свою максимальну ефективність з 3,4 до 4,2.



Оптимальний SPF вимагає перспективи системи під час процесу проектування. Чим нижча розрахункова температура системи розподілу тепла в будівлі або чим краще система відповідає промислового процесу, тим краща ефективність усієї системи.

Для цього потрібні кваліфіковані, навчені та справді далекоглядні архітектори, дизайнери, планувальники та монтажники, щоб зрозуміти взаємозв'язок між властивостями будівлі та сонячною орієнтацією, попитом на опалення та охолодження та переважаючий клімат. По всьому світу – і по всій Європі – з'являються нові оригінальні архітектурні форми, які інтегрують теплові насоси в структуру будівлі естетично привабливим (і часто непомітним) і завжди дуже ефективним способом [11].

## **1.2 Висновки до розділу**

У розділі 1 проведено аналітичний огляд літературної інформації щодо енергоефективної енергозбережної технології теплових насосів, було враховано світовий та європейський досвід.

Основною метою роботи є підвищення ефективності енерговикористання енергії в тепловій схемі опалювальної водогрійної котельні. Це досягається за рахунок впровадження когенераційної теплонасосної установки на вторинних енергоресурсах в тепловій схемі котельні.

Для досягнення цієї мети визначені завдання, що зазначені в загальній характеристиці роботи у вступі.

## 2 ОЦІНКА ВАРІАНТІВ З ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕНЕРГОВИКОРИСТАННЯ В ТЕПЛОВІЙ СХЕМІ ОПАЛЮВАЛЬНОЇ КОТЕЛЬНІ

### 2.1 Математичне програмне забезпечення розрахунків

Початкові дані для виконання досліджень показників ефективності теплонасосних установок з використанням математичної моделі парокомпресійної теплонасосної установки визначені у [12-16]. Математичний опис систем з тепловими насосами закладений у модель для досліджень показників теплонасосних установок у відомих та широко застосовуваних програмних продуктах. Моделювання роботи теплових насосів здійснювалось в програмі HP FAT Calculator Programme-2023 [17] (розробка Датського Технологічного Інституту). HP FAT (Heat Pump First Assessment Tool) створена на основі пакета Engineering Equation Solver (EES) і відповідного математичному описі теплового насосу. EES забезпечує врахування термодинамічних властивостей, спрощує визначення термодинамічних властивостей холодоагенту з використанням вбудованих функцій. HP FAT виконує оцінку ефективності схем з тепловим насосом, потужностей та визначає прості фінансові показники. На рис. 2.1 – 2.4 проілюстровано результати моделювання HP FAT для трьох режимів роботи схеми з теплонасосними установками у відповідності з режимними параметрами теплової схеми котельні.

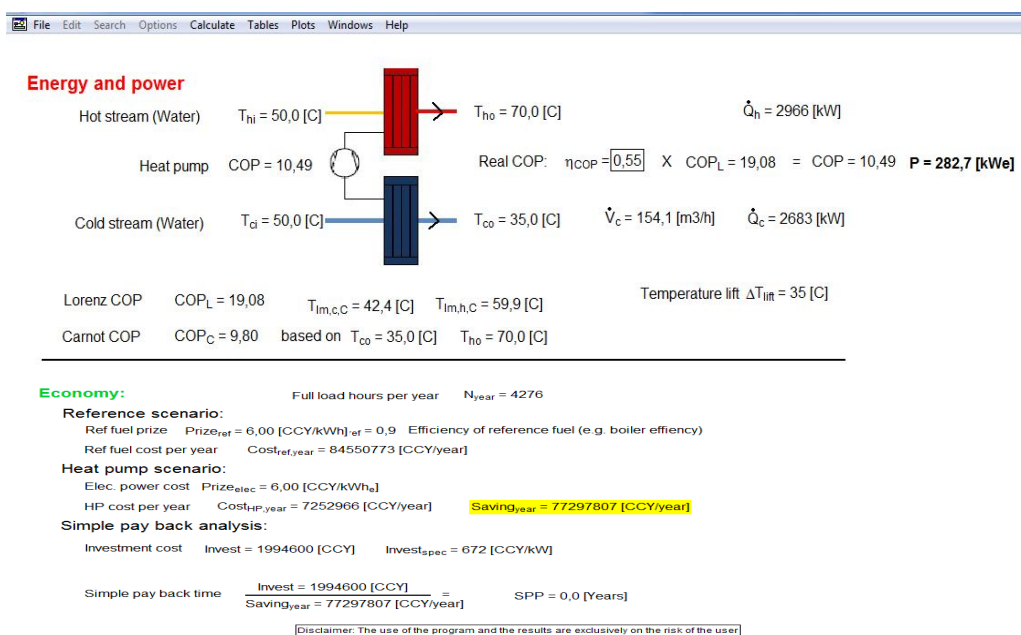
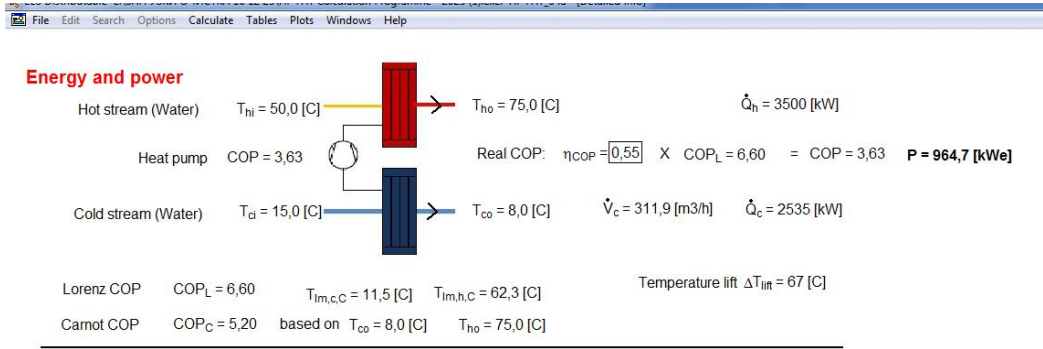


Рисунок 2.1 - Результати моделювання HP FAT



**Economy:**

Full load hours per year  $N_{year} = 4484$

**Reference scenario:**

Ref fuel prize  $Prize_{ref} = 6,00$  [CCY/kWh]<sub>ef</sub> = 0,9 Efficiency of reference fuel (e.g. boiler efficiency)

Ref fuel cost per year  $Cost_{ref,year} = 104626667$  [CCY/year]

**Heat pump scenario:**

Elec. power cost  $Prize_{elec} = 6,00$  [CCY/kWh<sub>e</sub>]

HP cost per year  $Cost_{HP,year} = 25954058$  [CCY/year] **Saving<sub>year</sub> = 78672609 [CCY/year]**

**Simple pay back analysis:**

Investment cost  $Invest = 1994600$  [CCY]  $Invest_{spec} = 570$  [CCY/kW]

Simple pay back time  $\frac{Invest = 1994600 [CCY]}{Saving_{year} = 78672609 [CCY/year]} = SPP = 0,0$  [Years]

Disclaimer: The use of the program and the results are exclusively on the risk of the user

Рисунок 2.2 - Результати моделювання НР FAT

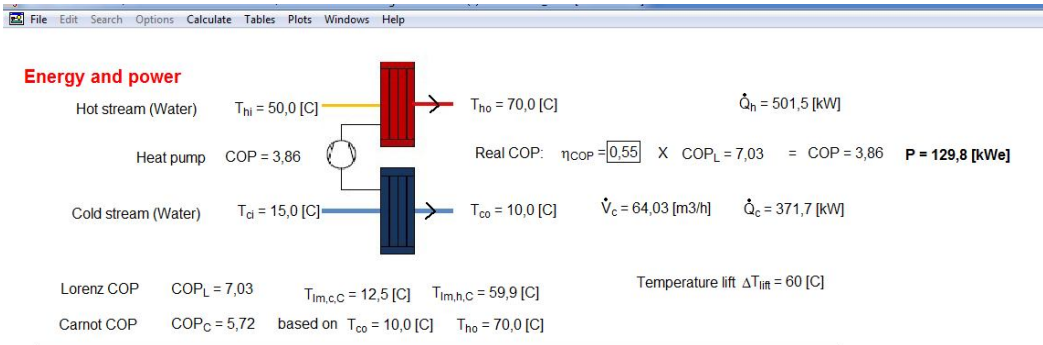


Рисунок 2.3 - Результати моделювання НР FAT

**Economy:** Full load hours per year  $N_{\text{year}} = 2920$

**Reference scenario:**  
 Ref fuel prize  $\text{Prize}_{\text{ref}} = 6,00$  [CCY/kWh]  $\eta_{\text{ref}} = 0,9$  Efficiency of reference fuel (e.g. boiler efficiency)  
 Ref fuel cost per year  $\text{Cost}_{\text{ref,year}} = 9762533$  [CCY/year]

**Heat pump scenario:**  
 Elec. power cost  $\text{Prize}_{\text{elec}} = 6,00$  [CCY/kWh<sub>e</sub>]  
 HP cost per year  $\text{Cost}_{\text{hp,year}} = 2273932$  [CCY/year] **Saving<sub>year</sub> = 7488601 [CCY/year]**

**Simple pay back analysis:**  
 Investment cost  $\text{Invest} = 1994600$  [CCY]  $\text{Invest}_{\text{spec}} = 3977$  [CCY/kW]

Simple pay back time  $\frac{\text{Invest} = 1994600 \text{ [CCY]}}{\text{Saving}_{\text{year}} = 7488601 \text{ [CCY/year]}} = \text{SPP} = 0,3$  [Years]

Disclaimer: The use of the program and the results are exclusively on the risk of the user

## Рисунок 2.4 - Результати моделювання HP FAT

Екологічний вплив варіантів модернізації було оцінено в програмі компанії Treeze Ltd з оцінки життєвого циклу [18]. Використано програми-калькулятори теплових насосів та різних джерел генерування теплової та електричної енергії [19-20], що дозволяють оцінити вплив на навколишнє середовище.

## 2.2 Результати математичного моделювання з використанням програмних продуктів

Результати моделювання з використанням рекомендованих програмних продуктів представлені в табл. 2.1 -2.16.

Моделювання здійснювалось для теплових насосів, для граничних значень локальних та загальних коефіцієнтів ефективності в діапазоні 3...4.

Таблиця 2.1 Результати моделювання

| Air-water heat pump<br>Local efficiency factor 4<br>Impact on the environment |                                | For kW-hour of<br>heat | Per kWh of<br>electricity<br>consumed |
|---|--------------------------------|------------------------|---------------------------------------|
| Total energy demand, all  | kWh of oil eq/kWh              | 1,556                  | 6,222                                 |
| Aggregate energy demand,<br>fossil  | kWh of oil eq/kWh              | 0,457                  | 1,828                                 |
| Aggregate energy demand,<br>nuclear   | kWh of oil eq/kWh              | 0,273                  | 1,093                                 |
| Cumulative demand for<br>renewable energy                                     | kWh of oil eq/kWh              | 0,825                  | 3,301                                 |
| Aggregate need for energy,<br>waste   | kWh of oil eq/kWh              | 0                      | 0                                     |
| Greenhouse gas emissions  | kg CO <sub>2</sub> -equiv/kW•h | 0,1574                 | 0,6297                                |
| Fossil carbon dioxide   | kg of CO <sub>2</sub> /kWh     | 0,1236                 | 0,4944                                |
| Environmental deficit 2013<br>(eco-points/UBP                                 | UBP /kWh                       | 162                    | 649                                   |

Таблиця 2.2 Результати моделювання

| Air-water heat pump<br>The overall efficiency ratio is 4<br>Impact on the environment |                                | For kW-hour of<br>heat | Per kWh of<br>electricity consumed |
|---|--------------------------------|------------------------|------------------------------------|
| Total energy demand, all  | kWh of oil eq/kWh              | 1,790                  | 5,011                              |
| Aggregate energy demand,<br>fossil  | kWh of oil eq/kWh              | 0,650                  | 1,820                              |
| Aggregate energy demand,<br>nuclear   | kWh of oil eq/kWh              | 0,389                  | 1,091                              |
| Cumulative demand for<br>renewable energy   | kWh of oil eq/kWh              | 0,750                  | 2,101                              |
| Aggregate need for energy,<br>waste   | kWh of oil eq/kWh              | 0                      | 0                                  |
| Greenhouse gas emissions  | kg CO <sub>2</sub> -equiv/kW•h | 0,2136                 | 0,598                              |
| Fossil carbon dioxide   | kg of CO <sub>2</sub> /kWh     | 0,1759                 | 0,4926                             |
| Environmental deficit 2013<br>(eco-points/UBP   | UBP /kWh                       | 220                    | 617                                |

Таблиця 2.3 Результати моделювання

| Air-water heat pump<br>Local efficiency factor 3<br>Impact on the environment |                                | For kW-hour of<br>heat | Per kWh of<br>electricity consumed |
|---|--------------------------------|------------------------|------------------------------------|
| Total energy demand, all  | kWh of oil eq/kWh              | 1,738                  | 5,213                              |
| Aggregate energy demand,<br>fossil  | kWh of oil eq/kWh              | 0,607                  | 1,821                              |
| Aggregate energy demand,<br>nuclear   | kWh of oil eq/kWh              | 0,364                  | 1,091                              |
| Cumulative demand for<br>renewable energy                                     | kWh of oil eq/kWh              | 0,767                  | 2,301                              |
| Aggregate need for energy,<br>waste   | kWh of oil eq/kWh              | 0                      | 0                                  |
| Greenhouse gas emissions  | kg CO <sub>2</sub> -equiv/kW•h | 0,2011                 | 0,6033                             |
| Fossil carbon dioxide   | kg of CO <sub>2</sub> /kWh     | 0,1236                 | 0,4929                             |
| Environmental deficit 2013<br>(eco-points/UBP                                 | UBP /kWh                       | 207                    | 622                                |

Таблиця 2.4 Результати моделювання

| Air-water heat pump<br>The overall efficiency ratio is 3<br>Impact on the environment |                                | For kW-hour of<br>heat | Per kWh of<br>electricity consumed |
|---|--------------------------------|------------------------|------------------------------------|
| Total energy demand, all  | kWh of oil eq/kWh              | 1,790                  | 5,011                              |
| Aggregate energy demand,<br>fossil  | kWh of oil eq/kWh              | 0,650                  | 1,820                              |
| Aggregate energy demand,<br>nuclear   | kWh of oil eq/kWh              | 0,389                  | 1,091                              |
| Cumulative demand for<br>renewable energy   | kWh of oil eq/kWh              | 0,750                  | 2,101                              |
| Aggregate need for energy,<br>waste   | kWh of oil eq/kWh              | 0                      | 0                                  |
| Greenhouse gas emissions  | kg CO <sub>2</sub> -equiv/kW•h | 0,2136                 | 0,598                              |
| Fossil carbon dioxide   | kg of CO <sub>2</sub> /kWh     | 0,1759                 | 0,4926                             |
| Environmental deficit 2013<br>(eco-points/UBP   | UBP /kWh                       | 220                    | 617                                |

Таблиця 2.5 Результати моделювання

| Brine-water heat pump<br>Local efficiency factor 4<br>Impact on the environment |                                | For kW-hour of<br>heat | Per kWh of<br>electricity consumed |
|---|--------------------------------|------------------------|------------------------------------|
| Total energy demand, all  | kWh of oil eq/kWh              | 1,567                  | 6,266                              |
| Aggregate energy demand,<br>fossil  | kWh of oil eq/kWh              | 0,468                  | 1,871                              |
| Aggregate energy demand,<br>nuclear   | kWh of oil eq/kWh              | 0,273                  | 1,094                              |
| Cumulative demand for<br>renewable energy                                       | kWh of oil eq/kWh              | 0,825                  | 3,301                              |
| Aggregate need for energy,<br>waste   | kWh of oil eq/kWh              | 0                      | 0                                  |
| Greenhouse gas emissions  | kg CO <sub>2</sub> -equiv/kW•h | 0,1505                 | 0,6019                             |
| Fossil carbon dioxide   | kg of CO <sub>2</sub> /kWh     | 0,1257                 | 0,5029                             |
| Environmental deficit 2013<br>(eco-points/UBP                                   | UBP /kWh                       | 158                    | 631                                |

Таблиця 2.6 Результати моделювання

| Brine-water heat pump<br>The overall efficiency ratio is 4<br>Impact on the environment |                                | For kW-hour of<br>heat | Per kWh of<br>electricity consumed |
|---|--------------------------------|------------------------|------------------------------------|
| Total energy demand, all  | kWh of oil eq/kWh              | 1,581                  | 6,164                              |
| Aggregate energy demand,<br>fossil  | kWh of oil eq/kWh              | 0,479                  | 1,869                              |
| Aggregate energy demand,<br>nuclear   | kWh of oil eq/kWh              | 0,28                   | 1,093                              |
| Cumulative demand for<br>renewable energy   | kWh of oil eq/kWh              | 0,821                  | 3,201                              |
| Aggregate need for energy,<br>waste   | kWh of oil eq/kWh              | 0                      | 0                                  |
| Greenhouse gas emissions  | kg CO <sub>2</sub> -equiv/kW•h | 0,1538                 | 0,6                                |
| Fossil carbon dioxide   | kg of CO <sub>2</sub> /kWh     | 0,1289                 | 0,5026                             |
| Environmental deficit 2013<br>(eco-points/UBP   | UBP /kWh                       | 161                    | 629                                |

Таблиця 2.7 Результати моделювання

| Brine-water heat pump<br>Local efficiency factor 3<br>Impact on the environment |                                | For kW-hour of<br>heat | Per kWh of<br>electricity consumed |
|---|--------------------------------|------------------------|------------------------------------|
| Total energy demand, all  | kWh of oil eq/kWh              | 1,749                  | 5,246                              |
| Aggregate energy demand,<br>fossil  | kWh of oil eq/kWh              | 0,618                  | 1,853                              |
| Aggregate energy demand,<br>nuclear   | kWh of oil eq/kWh              | 0,364                  | 1,091                              |
| Cumulative demand for<br>renewable energy                                       | kWh of oil eq/kWh              | 0,767                  | 2,301                              |
| Aggregate need for energy,<br>waste   | kWh of oil eq/kWh              | 0                      | 0                                  |
| Greenhouse gas emissions  | kg CO <sub>2</sub> -equiv/kW•h | 0,1941                 | 0,5824                             |
| Fossil carbon dioxide   | kg of CO <sub>2</sub> /kWh     | 0,1664                 | 0,4993                             |
| Environmental deficit 2013<br>(eco-points/UBP                                   | UBP /kWh                       | 202                    | 609                                |

Таблиця 2.8 Результати моделювання

| Тепловий насос «розсіл-вода»<br>Загальний коефіцієнт ефективності 3<br>Вплив на навколишнє середовище |                                | For kW-hour of<br>heat | Per kWh of<br>electricity consumed |
|---|--------------------------------|------------------------|------------------------------------|
| Total energy demand, all  | kWh of oil eq/kWh              | 1,581                  | 6,164                              |
| Aggregate energy demand,<br>fossil  | kWh of oil eq/kWh              | 0,479                  | 1,869                              |
| Aggregate energy demand,<br>nuclear   | kWh of oil eq/kWh              | 0,28                   | 1,093                              |
| Cumulative demand for<br>renewable energy   | kWh of oil eq/kWh              | 0,821                  | 3,201                              |
| Aggregate need for energy,<br>waste   | kWh of oil eq/kWh              | 0                      | 0                                  |
| Greenhouse gas emissions  | kg CO <sub>2</sub> -equiv/kW•h | 0,1538                 | 0,6                                |
| Fossil carbon dioxide   | kg of CO <sub>2</sub> /kWh     | 0,1289                 | 0,5026                             |
| Environmental deficit 2013<br>(eco-points/UBP   | UBP /kWh                       | 161                    | 629                                |

Таблиця 2.9 Результати моделювання

| Waste water-water heat pump<br>Local efficiency factor 4<br>Impact on the environment |                                | For kW-hour of<br>heat | Per kWh of<br>electricity consumed |
|---|--------------------------------|------------------------|------------------------------------|
| Total energy demand, all  | kWh of oil eq/kWh              | 0,808                  | 3,231                              |
| Aggregate energy demand,<br>fossil  | kWh of oil eq/kWh              | 0,458                  | 1,833                              |
| Aggregate energy demand,<br>nuclear   | kWh of oil eq/kWh              | 0,273                  | 1,093                              |
| Cumulative demand for<br>renewable energy   | kWh of oil eq/kWh              | 0,076                  | 0,305                              |
| Aggregate need for energy,<br>waste   | kWh of oil eq/kWh              | 0,750                  | 3                                  |
| Greenhouse gas emissions  | kg CO <sub>2</sub> -equiv/kW•h | 0,1354                 | 0,5416                             |
| Fossil carbon dioxide   | kg of CO <sub>2</sub> /kWh     | 0,1244                 | 0,4977                             |
| Environmental deficit 2013<br>(eco-points/UBP   | UBP /kWh                       | 148                    | 591                                |



Таблиця 2.10 Результати моделювання

| Waste water-water heat pump<br>Local efficiency factor 4<br>Impact on the environment |                                | For kW-hour of<br>heat | Per kWh of<br>electricity consumed |
|---|--------------------------------|------------------------|------------------------------------|
| Total energy demand, all  | kWh of oil eq/kWh              | 0,948                  | 3,224                              |
| Aggregate energy demand,<br>fossil  | kWh of oil eq/kWh              | 0,538                  | 1,828                              |
| Aggregate energy demand,<br>nuclear   | kWh of oil eq/kWh              | 0,321                  | 1,092                              |
| Cumulative demand for<br>renewable energy   | kWh of oil eq/kWh              | 0,09                   | 0,304                              |
| Aggregate need for energy,<br>waste   | kWh of oil eq/kWh              | 0,706                  | 2,4                                |
| Greenhouse gas emissions  | kg CO <sub>2</sub> -equiv/kW•h | 0,1585                 | 0,5389                             |
| Fossil carbon dioxide   | kg of CO <sub>2</sub> /kWh     | 0,1460                 | 0,4962                             |
| Environmental deficit 2013<br>(eco-points/UBP   | UBP /kWh                       | 172                    | 584                                |

Таблиця 2.11 Результати моделювання

| Waste water-water heat pump<br>Local efficiency factor 3<br>Impact on the environment |                                | For kW-hour of<br>heat | Per kWh of<br>electricity consumed |
|---|--------------------------------|------------------------|------------------------------------|
| Total energy demand, all  | kWh of oil eq/kWh              | 1,073                  | 3,219                              |
| Aggregate energy demand,<br>fossil  | kWh of oil eq/kWh              | 0,608                  | 1,825                              |
| Aggregate energy demand,<br>nuclear   | kWh of oil eq/kWh              | 0,364                  | 1,091                              |
| Cumulative demand for<br>renewable energy   | kWh of oil eq/kWh              | 0,101                  | 0,304                              |
| Aggregate need for energy,<br>waste   | kWh of oil eq/kWh              | 0,667                  | 2                                  |
| Greenhouse gas emissions  | kg CO <sub>2</sub> -equiv/kW•h | 0,1791                 | 0,5372                             |
| Fossil carbon dioxide   | kg of CO <sub>2</sub> /kWh     | 0,1651                 | 0,4953                             |
| Environmental deficit 2013<br>(eco-points/UBP   | UBP /kWh                       | 193                    | 579                                |

Таблиця 2.12 Результати моделювання

| Waste water-water heat pump<br>The overall efficiency ratio is 3<br>Impact on the environment |                                | For kW-hour of<br>heat | Per kWh of<br>electricity consumed |
|---|--------------------------------|------------------------|------------------------------------|
| Total energy demand, all  | kWh of oil eq/kWh              | 0,948                  | 3,224                              |
| Aggregate energy demand,<br>fossil  | kWh of oil eq/kWh              | 0,538                  | 1,828                              |
| Aggregate energy demand,<br>nuclear   | kWh of oil eq/kWh              | 0,321                  | 1,092                              |
| Cumulative demand for<br>renewable energy   | kWh of oil eq/kWh              | 0,09                   | 0,304                              |
| Aggregate need for energy,<br>waste   | kWh of oil eq/kWh              | 0,706                  | 2,4                                |
| Greenhouse gas emissions  | kg CO <sub>2</sub> -equiv/kW•h | 0,1585                 | 0,5389                             |
| Fossil carbon dioxide   | kg of CO <sub>2</sub> /kWh     | 0,1460                 | 0,4962                             |
| Environmental deficit 2013<br>(eco-points/UBP   | UBP /kWh                       | 172                    | 584                                |

Таблиця 2.13 Результати моделювання

| Groundwater-water heat pump<br>Local efficiency factor 4<br>Impact on the environment |                                | For kW-hour of<br>heat | Per kWh of<br>electricity consumed |
|---|--------------------------------|------------------------|------------------------------------|
| Total energy demand, all  | kWh of oil eq/kWh              | 1,567                  | 6,266                              |
| Aggregate energy demand,<br>fossil  | kWh of oil eq/kWh              | 0,468                  | 1,871                              |
| Aggregate energy demand,<br>nuclear   | kWh of oil eq/kWh              | 0,273                  | 1,094                              |
| Cumulative demand for<br>renewable energy   | kWh of oil eq/kWh              | 0,825                  | 3,301                              |
| Aggregate need for energy,<br>waste   | kWh of oil eq/kWh              | 0                      | 0                                  |
| Greenhouse gas emissions  | kg CO <sub>2</sub> -equiv/kW•h | 0,1505                 | 0,6019                             |
| Fossil carbon dioxide   | kg of CO <sub>2</sub> /kWh     | 0,1257                 | 0,5029                             |
| Environmental deficit 2013<br>(eco-points/UBP   | UBP /kWh                       | 158                    | 631                                |

Таблиця 2.14 Результати моделювання

| Groundwater-water heat pump<br>The overall efficiency ratio is 4<br>Impact on the environment |                                | For kW-hour of<br>heat | Per kWh of<br>electricity consumed |
|---|--------------------------------|------------------------|------------------------------------|
| Total energy demand, all  | kWh of oil eq/kWh              | 1,663                  | 5,654                              |
| Aggregate energy demand,<br>fossil  | kWh of oil eq/kWh              | 0,574                  | 1,861                              |
| Aggregate energy demand,<br>nuclear   | kWh of oil eq/kWh              | 0,321                  | 1,092                              |
| Cumulative demand for<br>renewable energy   | kWh of oil eq/kWh              | 0,794                  | 2,701                              |
| Aggregate need for energy,<br>waste   | kWh of oil eq/kWh              | 0                      | 0                                  |
| Greenhouse gas emissions  | kg CO <sub>2</sub> -equiv/kW•h | 0,1736                 | 0,5902                             |
| Fossil carbon dioxide   | kg of CO <sub>2</sub> /kWh     | 0,1473                 | 0,5007                             |
| Environmental deficit 2013<br>(eco-points/UBP   | UBP /kWh                       | 182                    | 618                                |

Таблиця 2.15 Результати моделювання

| Groundwater-water heat pump<br>Local efficiency factor 3<br>Impact on the environment |                                | For kW-hour of<br>heat | Per kWh of<br>electricity consumed |
|---|--------------------------------|------------------------|------------------------------------|
| Total energy demand, all  | kWh of oil eq/kWh              | 1,749                  | 5,246                              |
| Aggregate energy demand,<br>fossil  | kWh of oil eq/kWh              | 0,618                  | 1,853                              |
| Aggregate energy demand,<br>nuclear   | kWh of oil eq/kWh              | 0,364                  | 1,091                              |
| Cumulative demand for<br>renewable energy   | kWh of oil eq/kWh              | 0,767                  | 2,301                              |
| Aggregate need for energy,<br>waste   | kWh of oil eq/kWh              | 0                      | 0                                  |
| Greenhouse gas emissions  | kg CO <sub>2</sub> -equiv/kW•h | 0,1941                 | 0,5824                             |
| Fossil carbon dioxide   | kg of CO <sub>2</sub> /kWh     | 0,1664                 | 0,4993                             |
| Environmental deficit 2013<br>(eco-points/UBP   | UBP /kWh                       | 203                    | 609                                |

Таблиця 2.16 Результати моделювання

| Groundwater-water heat pump<br>The overall efficiency ratio is 3<br>Impact on the environment |                                | For kW-hour of<br>heat | Per kWh of<br>electricity<br>consumed |
|---|--------------------------------|------------------------|---------------------------------------|
| Total energy demand, all  | kWh of oil eq/kWh              | 1,663                  | 5,654                                 |
| Aggregate energy demand,<br>fossil  | kWh of oil eq/kWh              | 0,574                  | 1,861                                 |
| Aggregate energy demand,<br>nuclear   | kWh of oil eq/kWh              | 0,321                  | 1,092                                 |
| Cumulative demand for<br>renewable energy   | kWh of oil eq/kWh              | 0,794                  | 2,701                                 |
| Aggregate need for energy,<br>waste   | kWh of oil eq/kWh              | 0                      | 0                                     |
| Greenhouse gas emissions  | kg CO <sub>2</sub> -equiv/kW•h | 0,1736                 | 0,5902                                |
| Fossil carbon dioxide   | kg of CO <sub>2</sub> /kWh     | 0,1473                 | 0,5007                                |
| Environmental deficit 2013<br>(eco-points/UBP   | UBP /kWh                       | 182                    | 618                                   |

На рис. 2.5 – 2.52 наведені показники роботи теплових насосів на різних джерелах низькотемпературної теплоти з різними показниками ефективності.

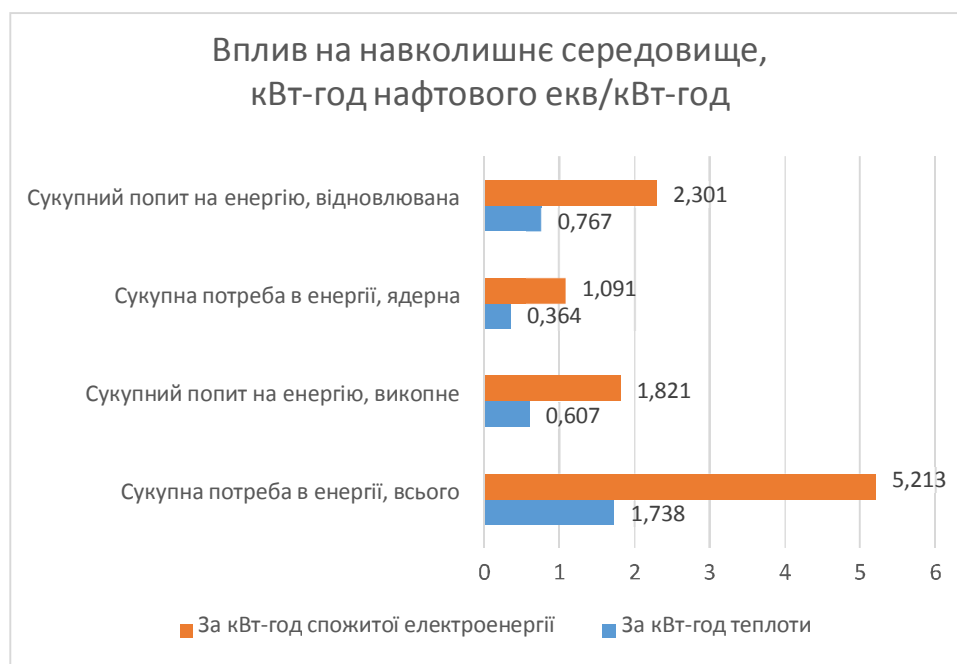


Рисунок 2.5 - Показники роботи теплового насоса «повітря-вода» за даними з табл. 2.1

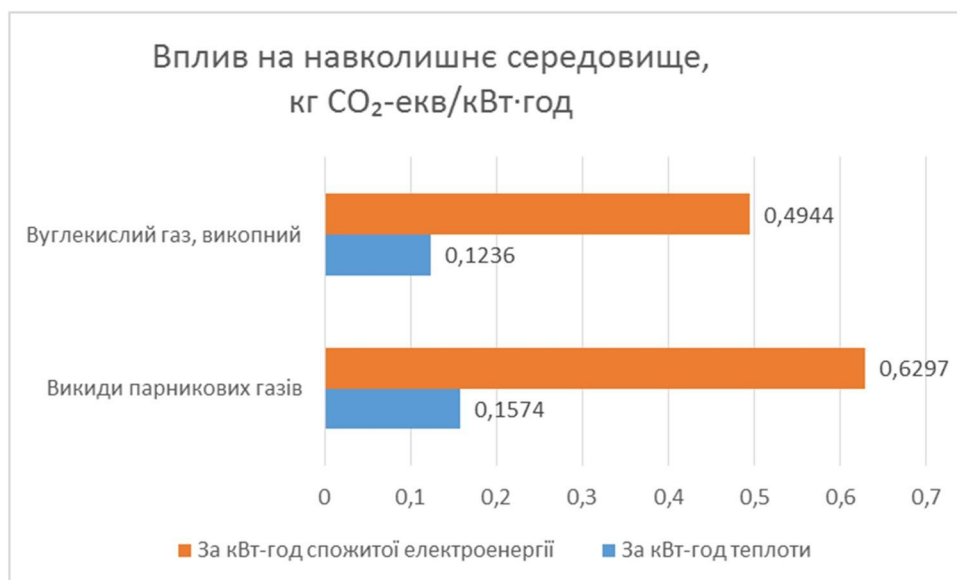


Рисунок 2.6 - Показники роботи теплового насоса «повітря-вода» за даними з табл. 2.1

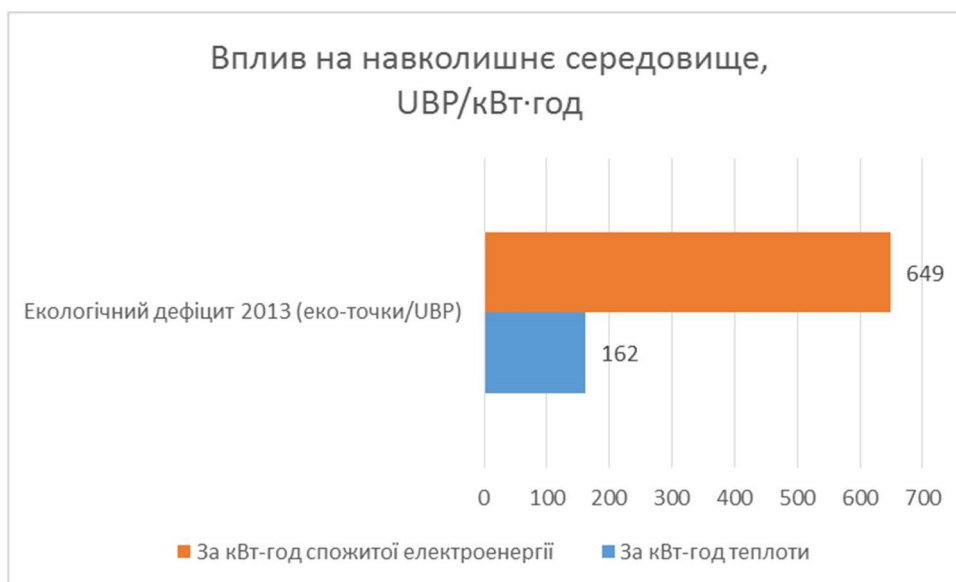


Рисунок 2.7 - Показники роботи теплового насоса «повітря-вода» за даними з табл. 2.1

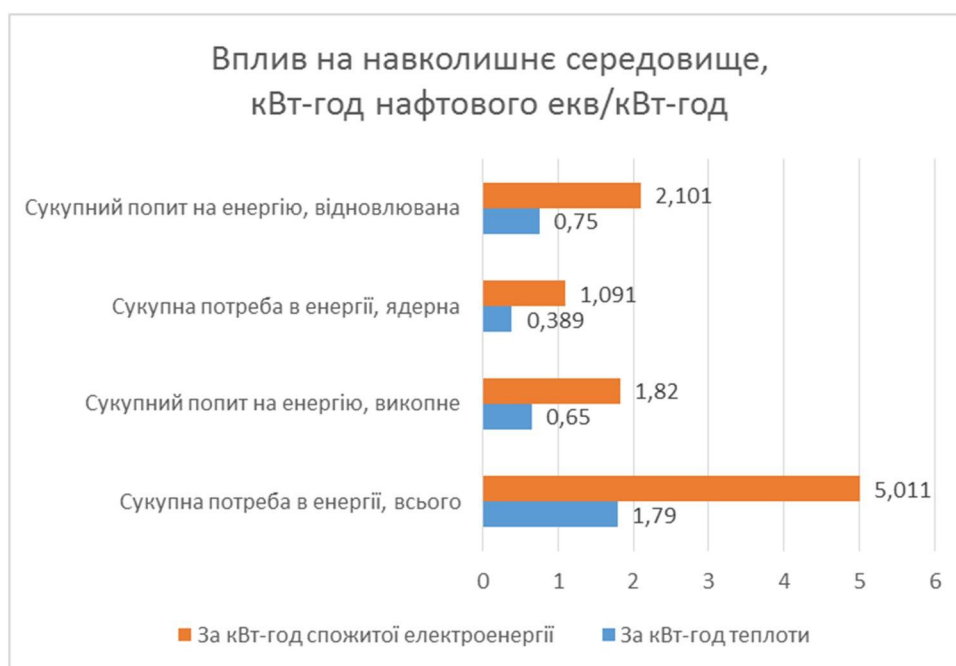


Рисунок 2.8 - Показники роботи теплового насоса «повітря-вода» за даними з табл. 2.2

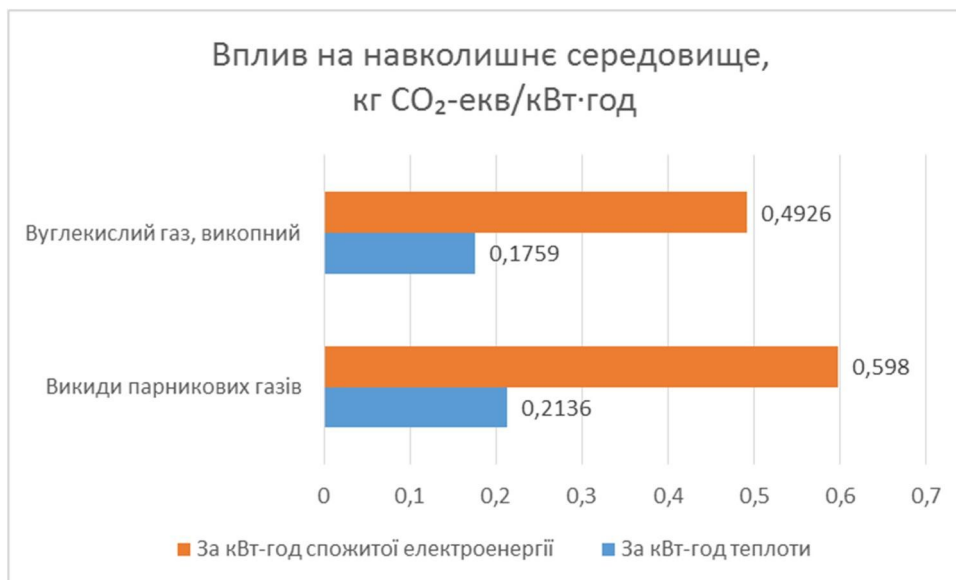


Рисунок 2.9 - Показники роботи теплового насоса «повітря-вода» за даними з  
табл. 2.2

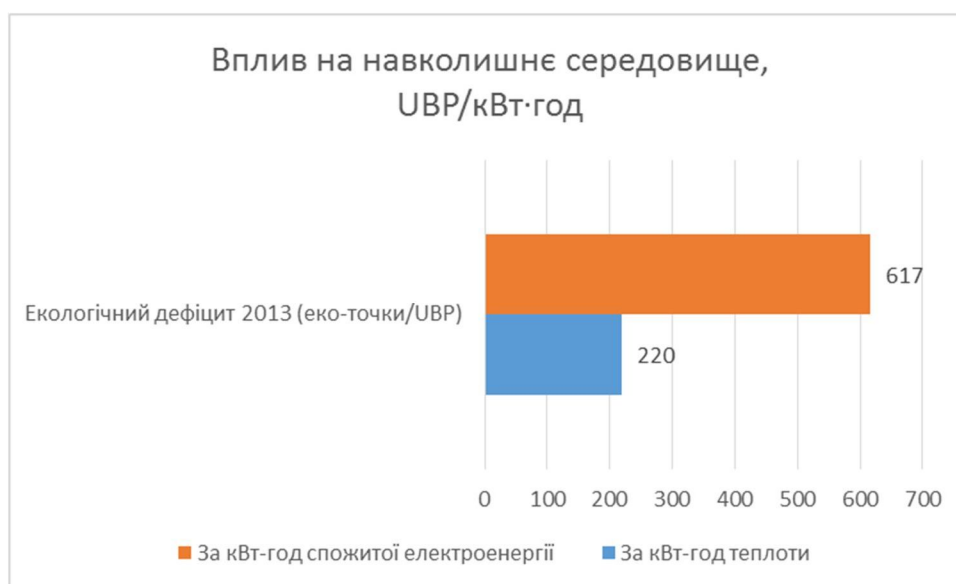


Рисунок 2.10 - Показники роботи теплового насоса «повітря-вода» за даними з  
табл. 2.2

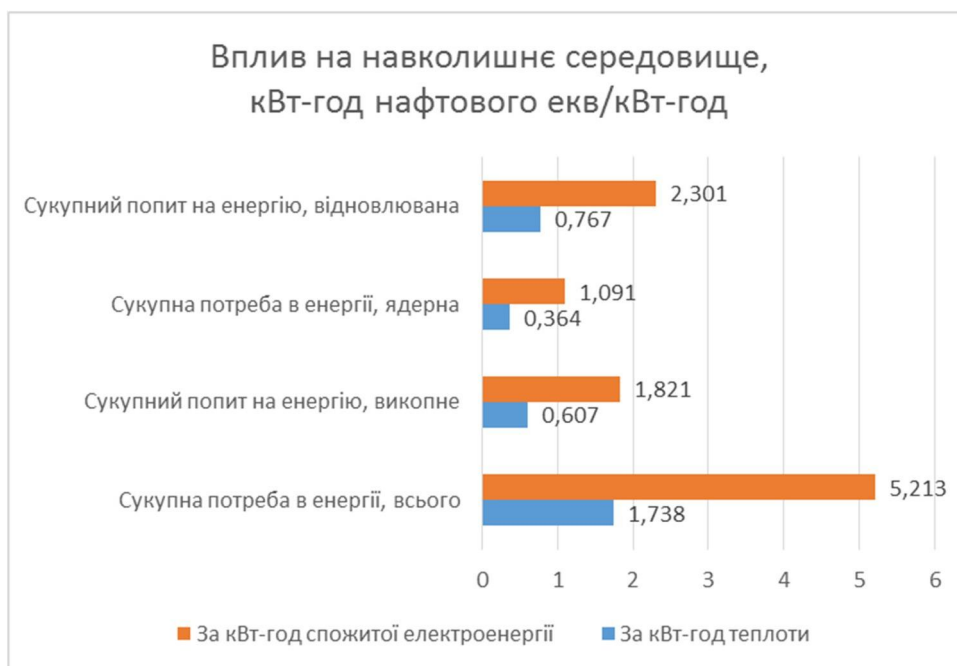


Рисунок 2.11 - Показники роботи теплового насоса «повітря-вода» за даними з табл. 2.3

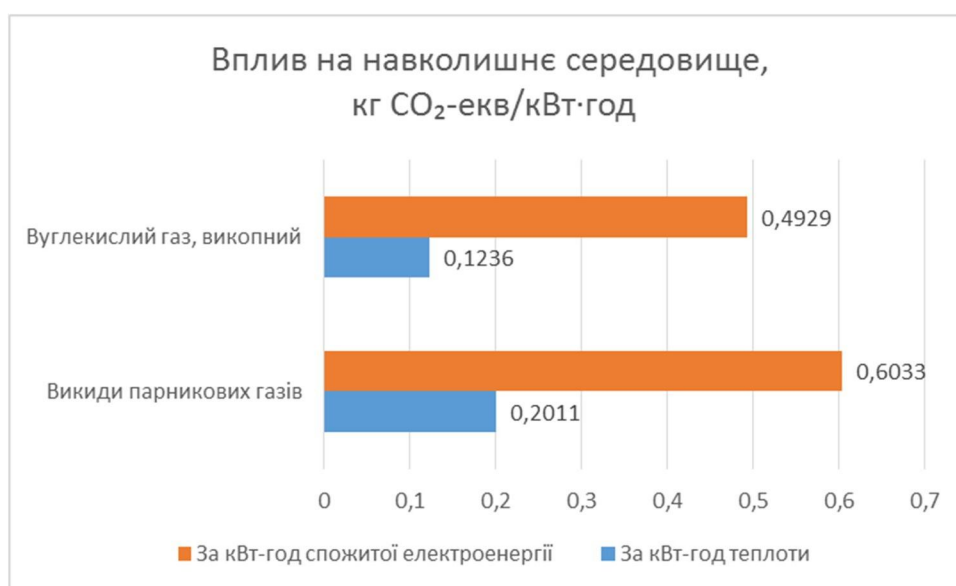


Рисунок 2.12 - Показники роботи теплового насоса «повітря-вода» за даними з табл. 2.3



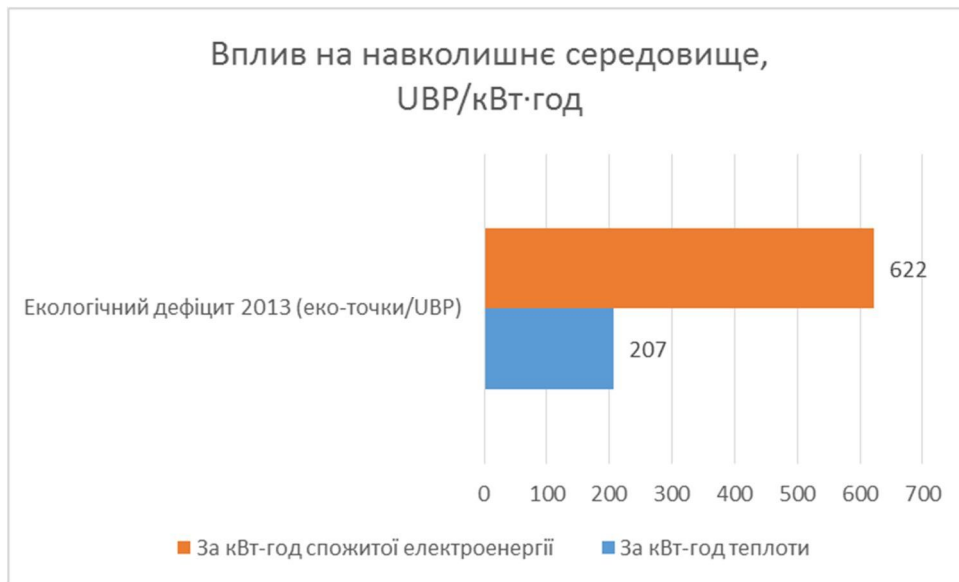


Рисунок 2.13 - Показники роботи теплового насоса «повітря-вода» за даними з  
табл. 2.3

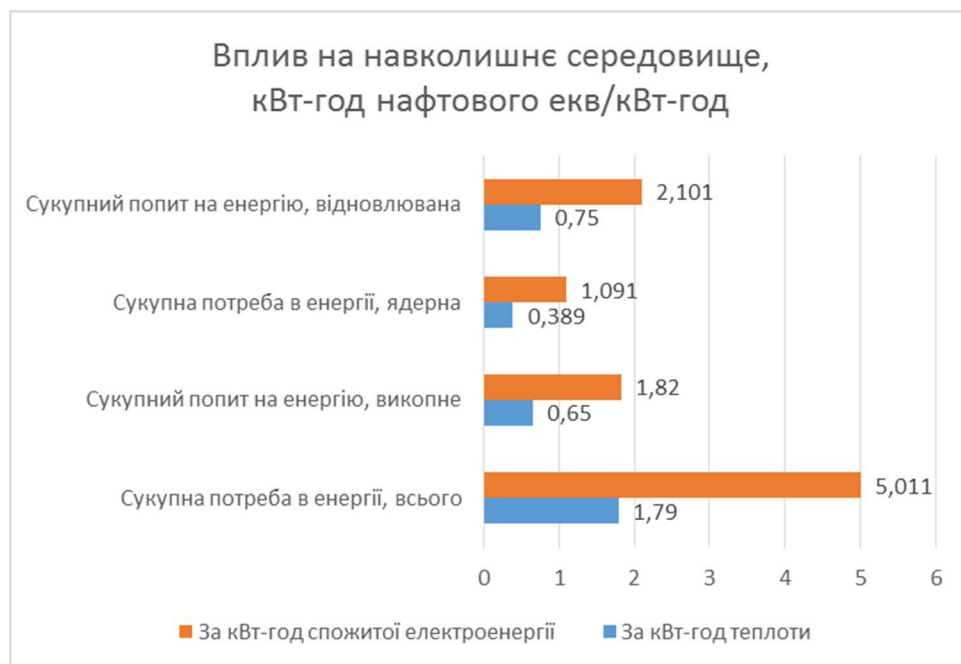


Рисунок 2.14 - Показники роботи теплового насоса «повітря-вода» за даними з  
табл. 2.4

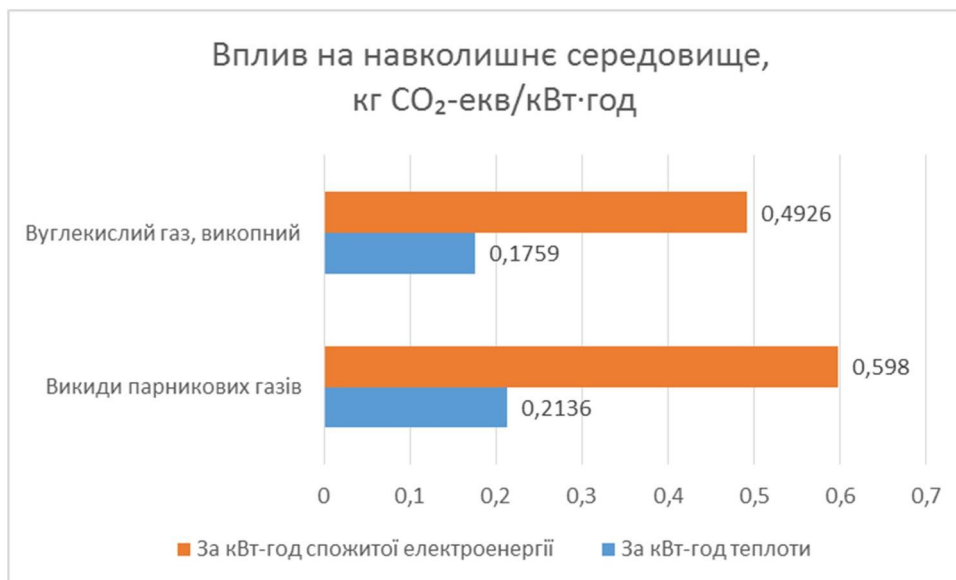


Рисунок 2.15 - Показники роботи теплового насоса «повітря-вода» за даними з  
табл. 2.4

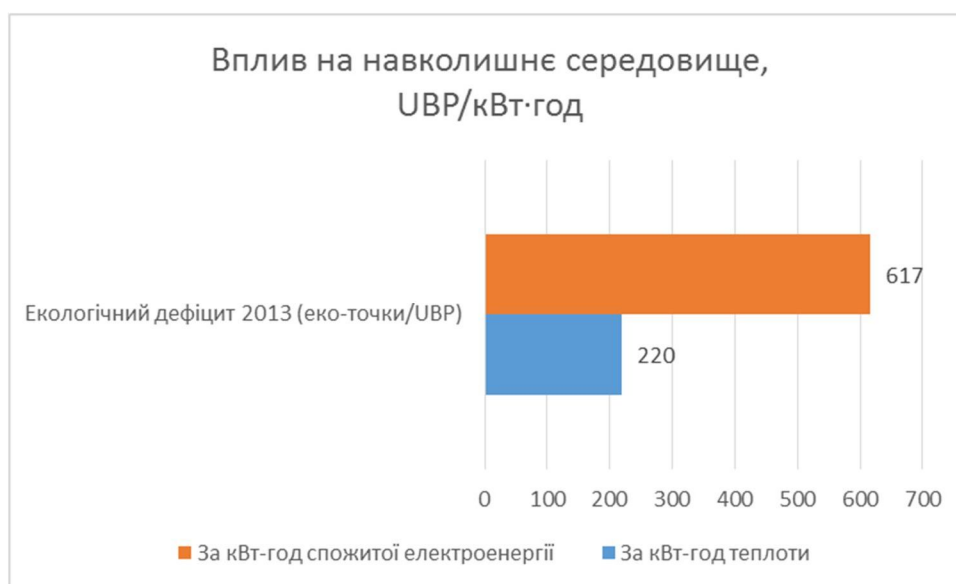


Рисунок 2.16 - Показники роботи теплового насоса «повітря-вода» за даними з  
табл. 2.4

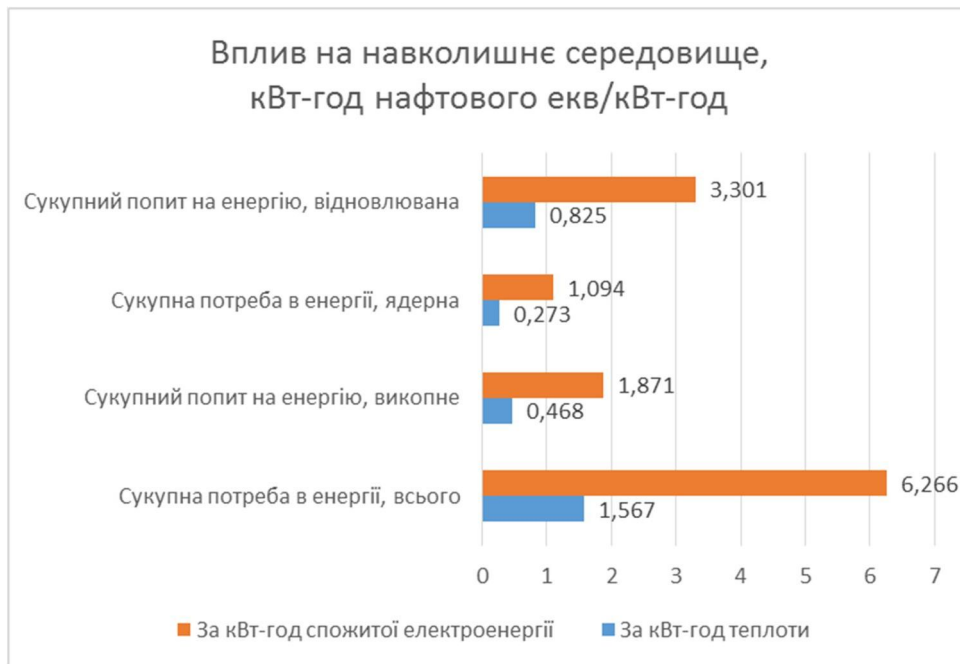


Рисунок 2.17 - Показники роботи теплового насоса «розсіл-вода» за даними з табл. 2.5

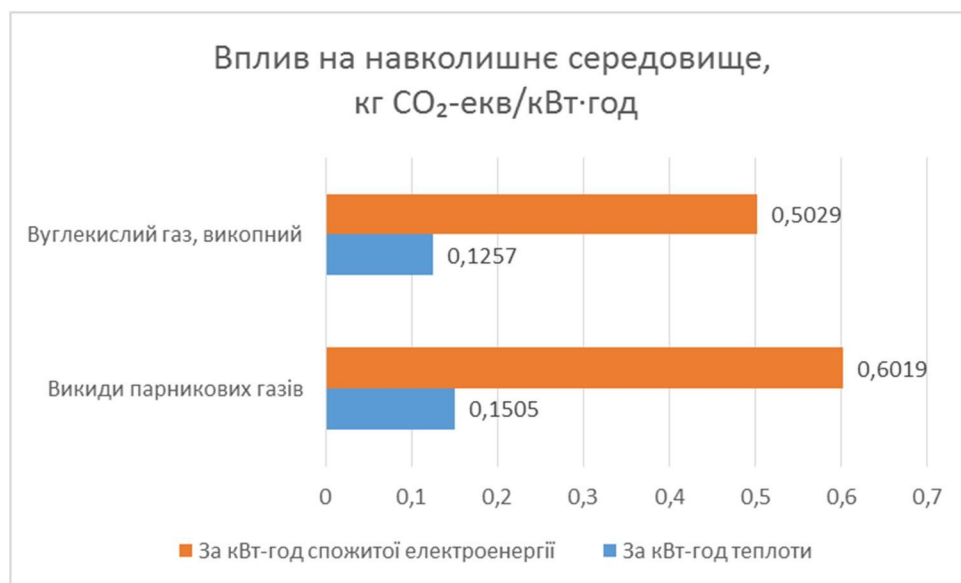


Рисунок 2.18 - Показники роботи теплового насоса «розсіл-вода» за даними з табл. 2.5

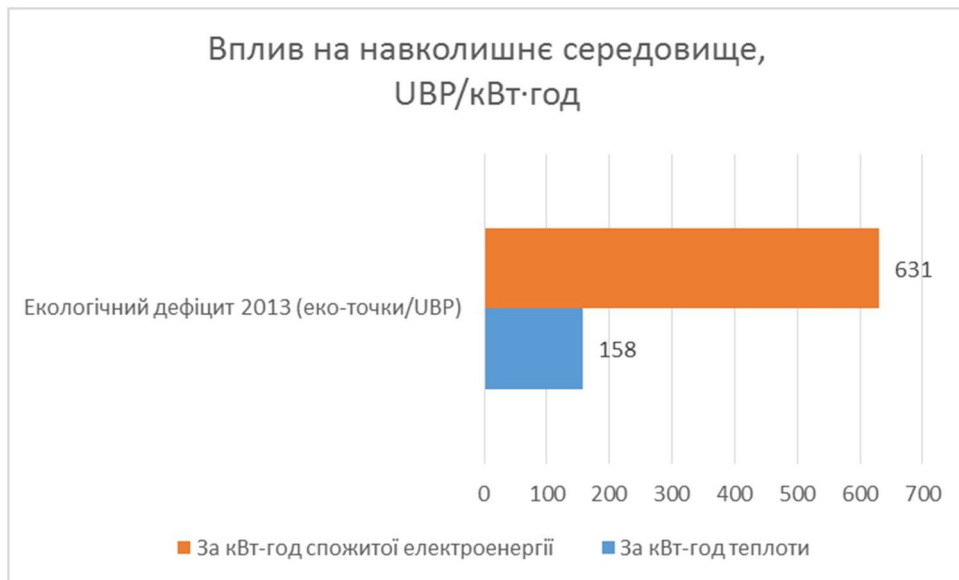


Рисунок 2.19 - Показники роботи теплового насоса «розсіл-вода» за даними з табл. 2.5

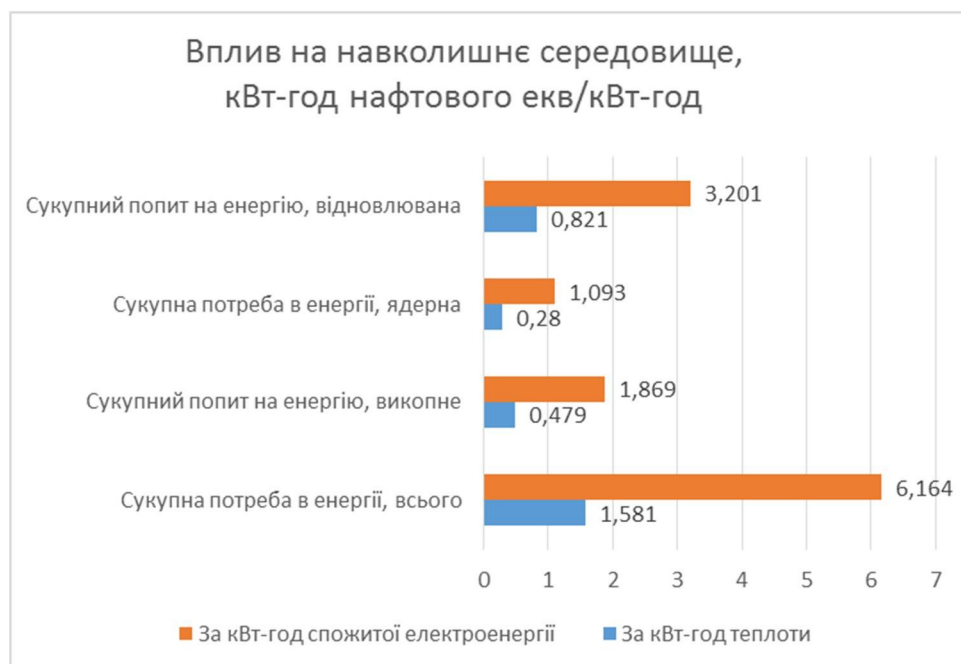


Рисунок 2.20 - Показники роботи теплового насоса «розсіл-вода» за даними з табл. 2.6

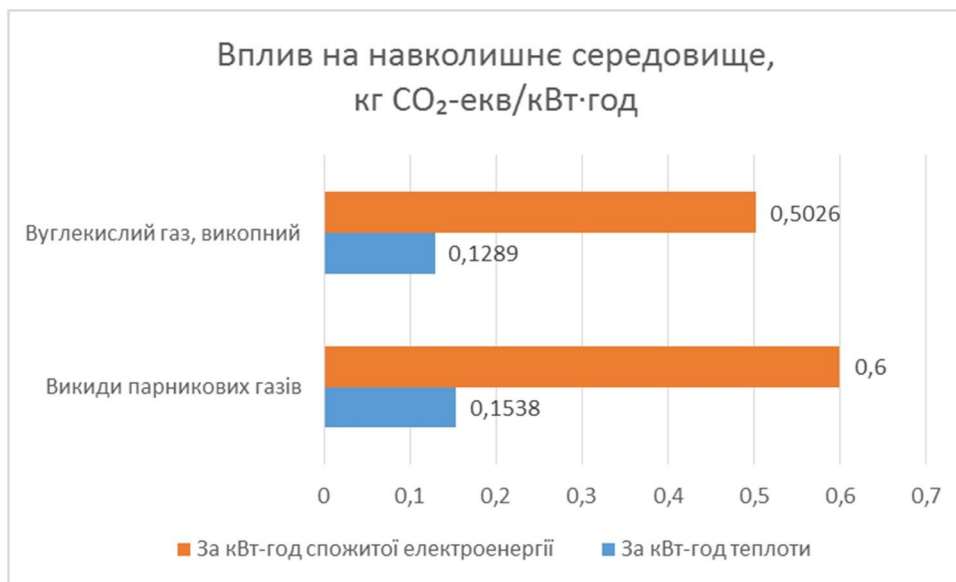


Рисунок 2.21 - Показники роботи теплового насоса «розсіл-вода» за даними з табл. 2.6

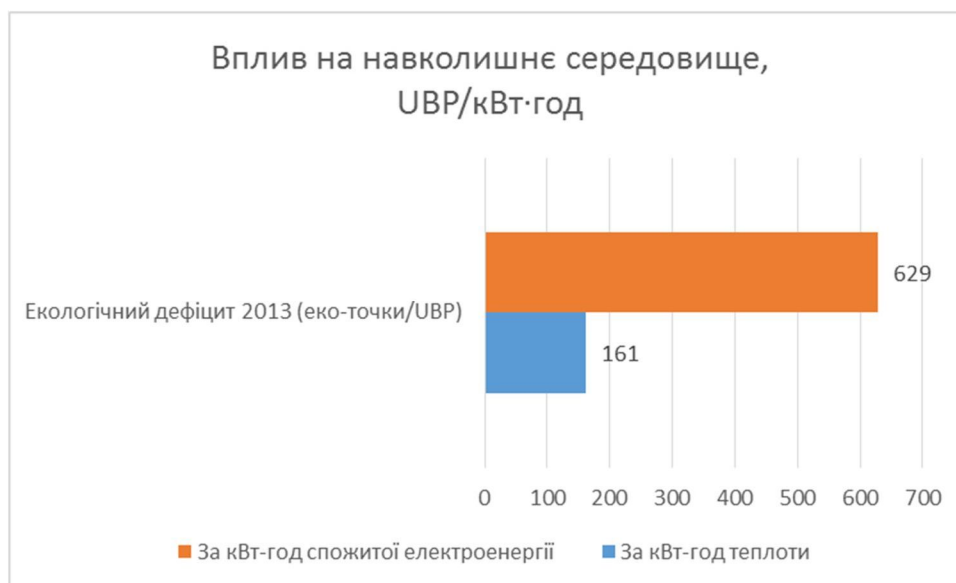


Рисунок 2.22 - Показники роботи теплового насоса «розсіл-вода» за даними з табл. 2.6

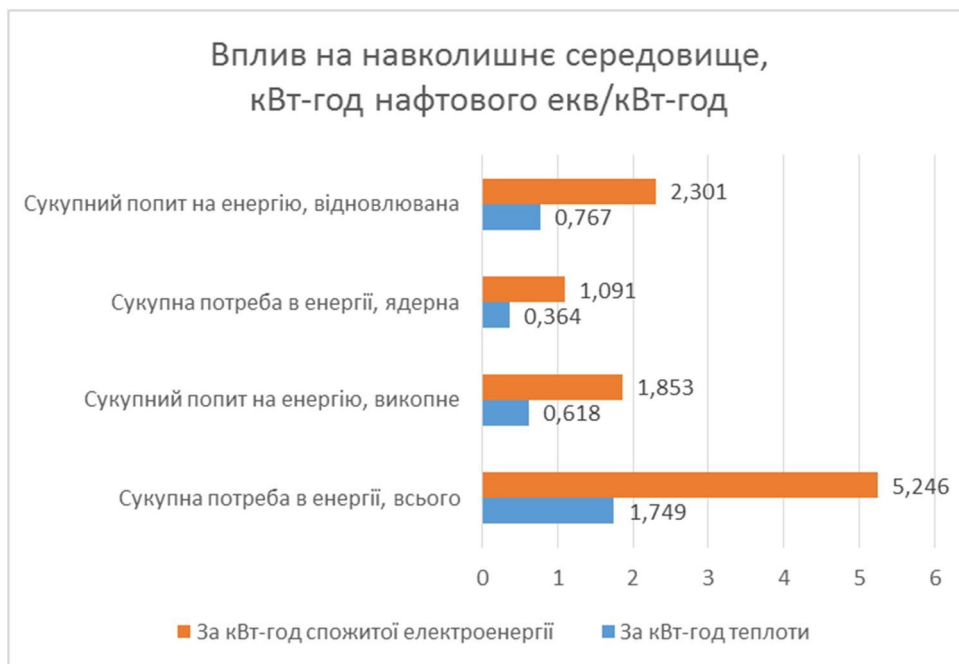


Рисунок 2.23 - Показники роботи теплового насоса «розсіл-вода» за даними з табл. 2.7

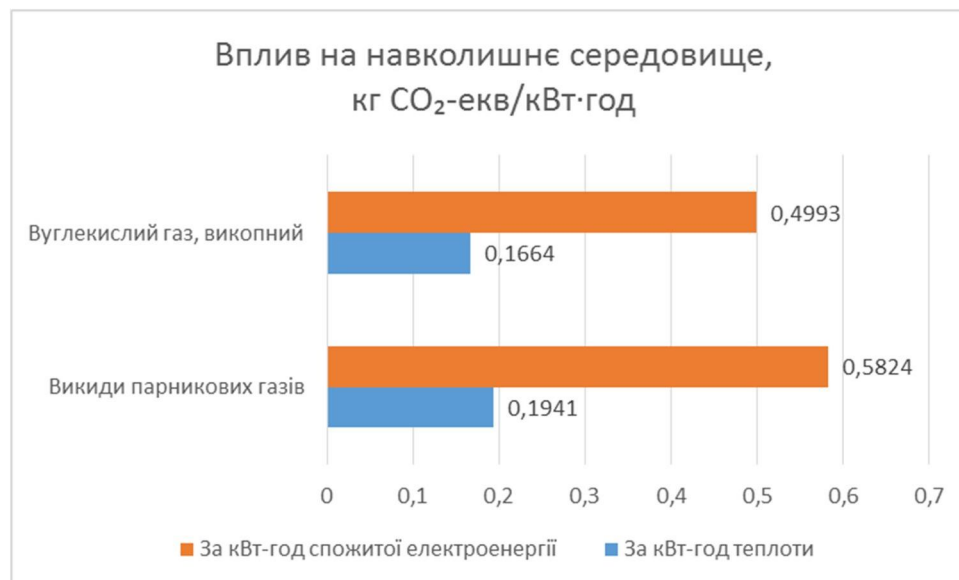


Рисунок 2.24 - Показники роботи теплового насоса «розсіл-вода» за даними з табл. 2.7

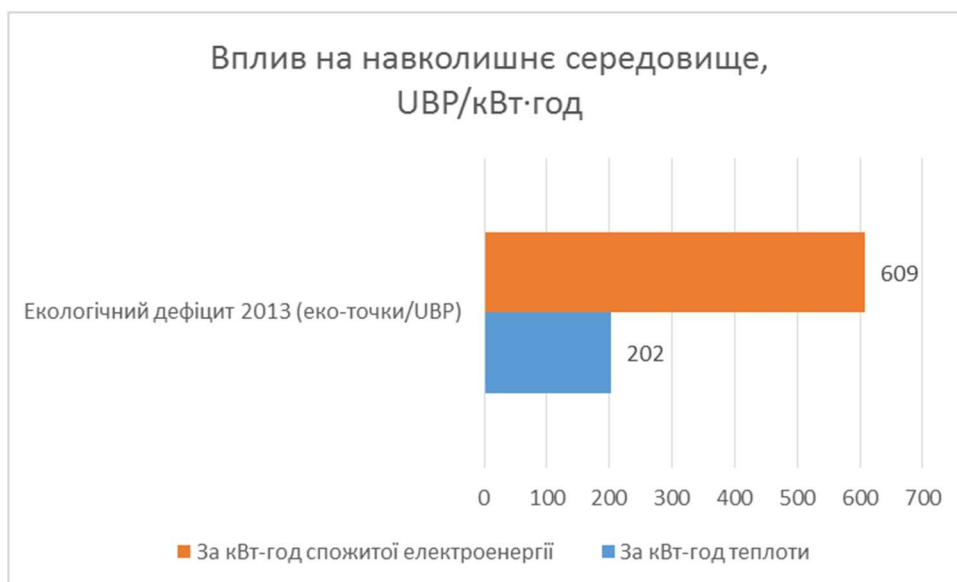


Рисунок 2.25 - Показники роботи теплового насоса «розсіл-вода за даними з табл. 2.7

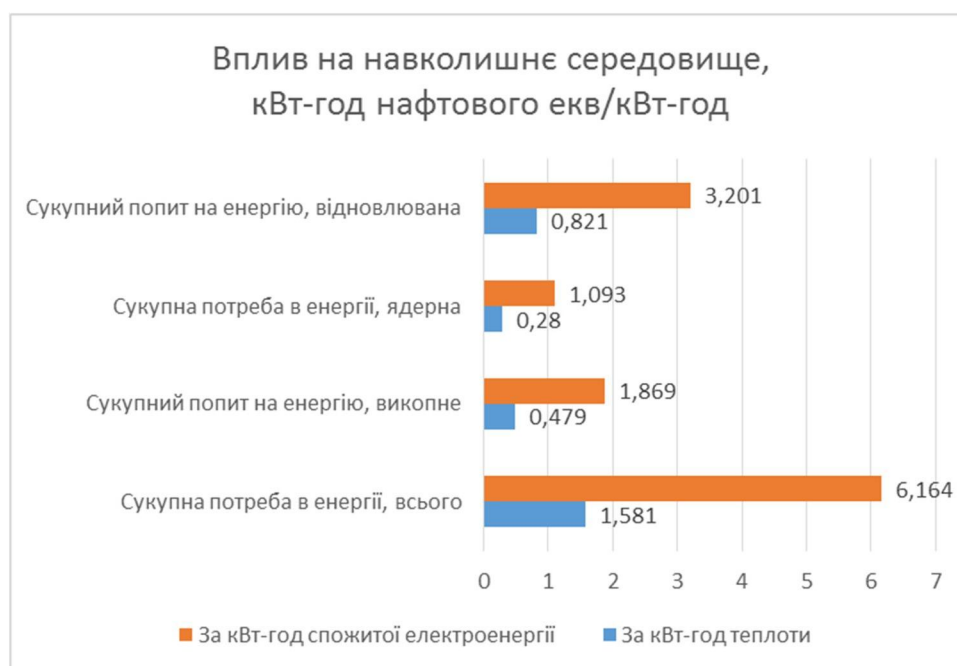


Рисунок 2.26 - Показники роботи теплового насоса «розсіл-вода» за даними з табл. 2.8

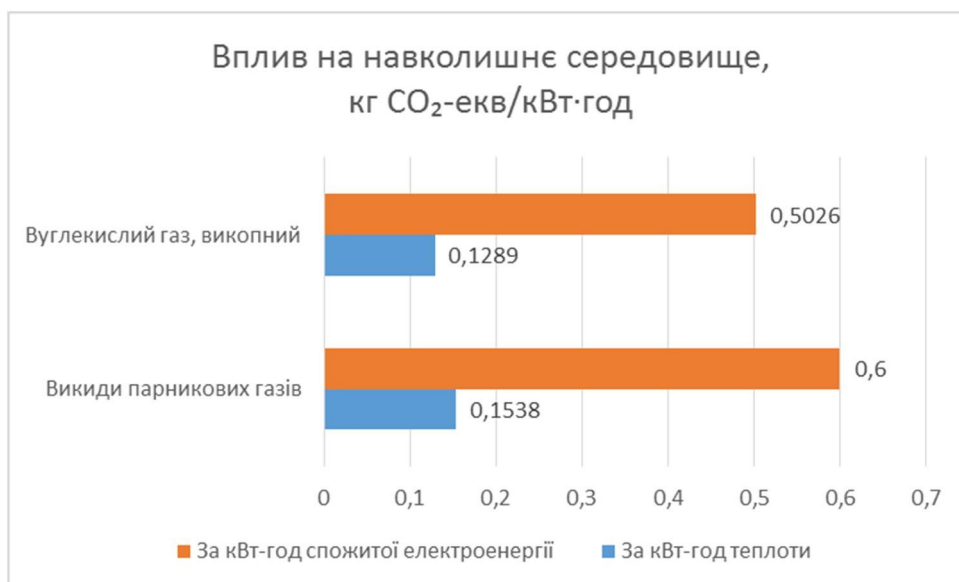


Рисунок 2.27 - Показники роботи теплового насоса «розсіл-вода» за даними з табл. 2.8

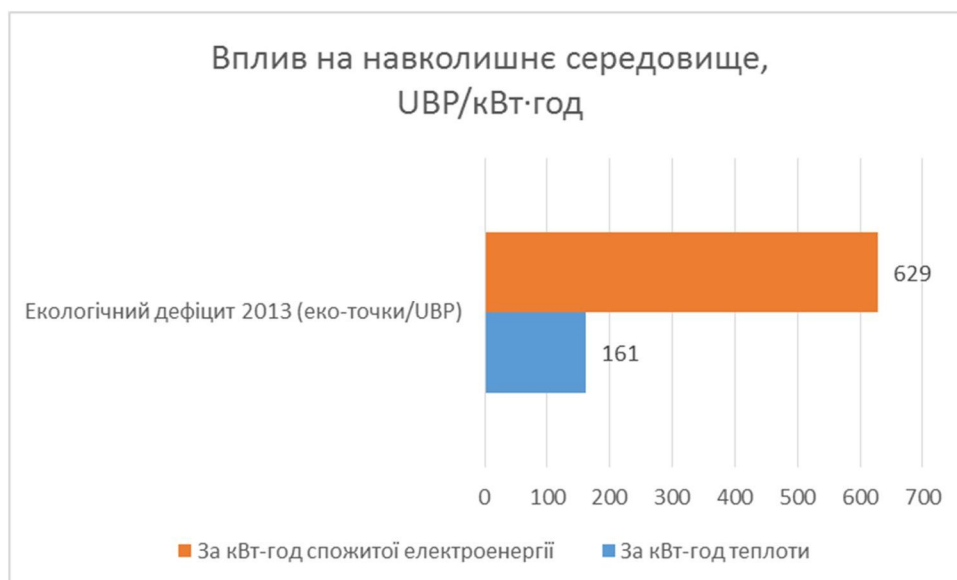


Рисунок 2.28 - Показники роботи теплового насоса «розсіл-вода» за даними з табл. 2.8



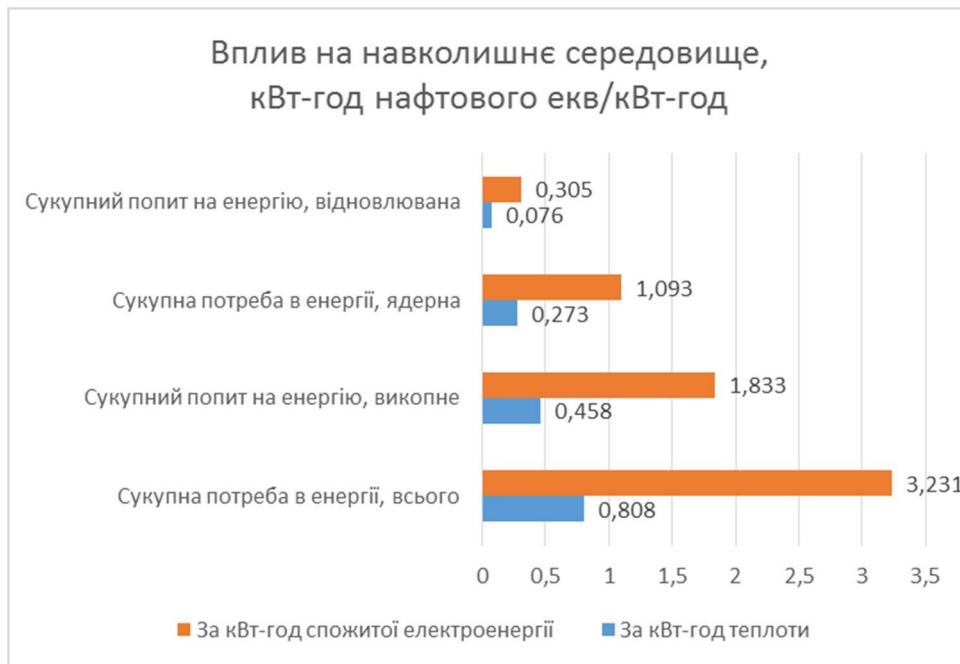


Рисунок 2.29 - Показники роботи теплового насоса «стічні води-вода» за даними з табл. 2.9

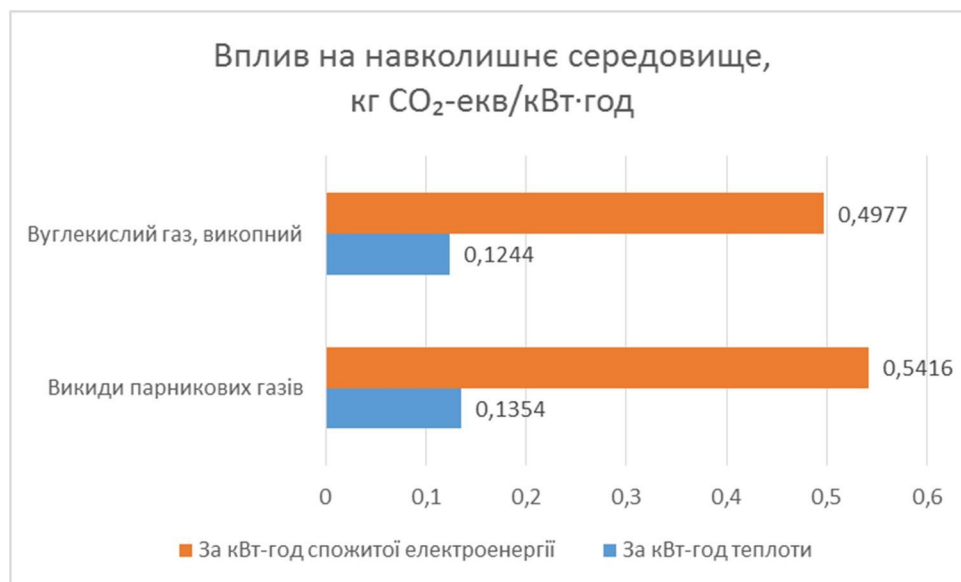


Рисунок 2.30 - Показники роботи теплового насоса «стічні води-вода» за даними з табл. 2.9

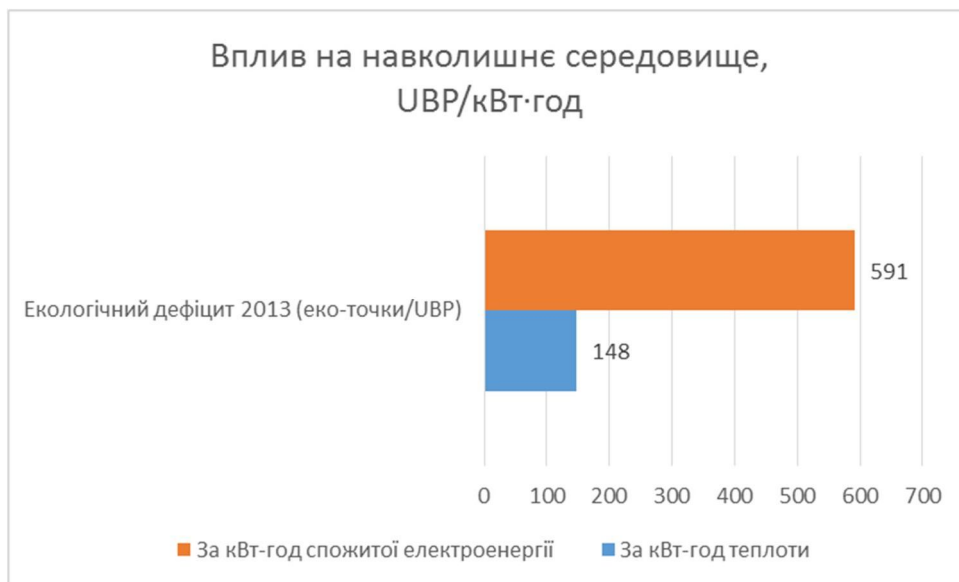


Рисунок 2.31 - Показники роботи теплового насоса «стічні води-вода» за даними з табл. 2.9

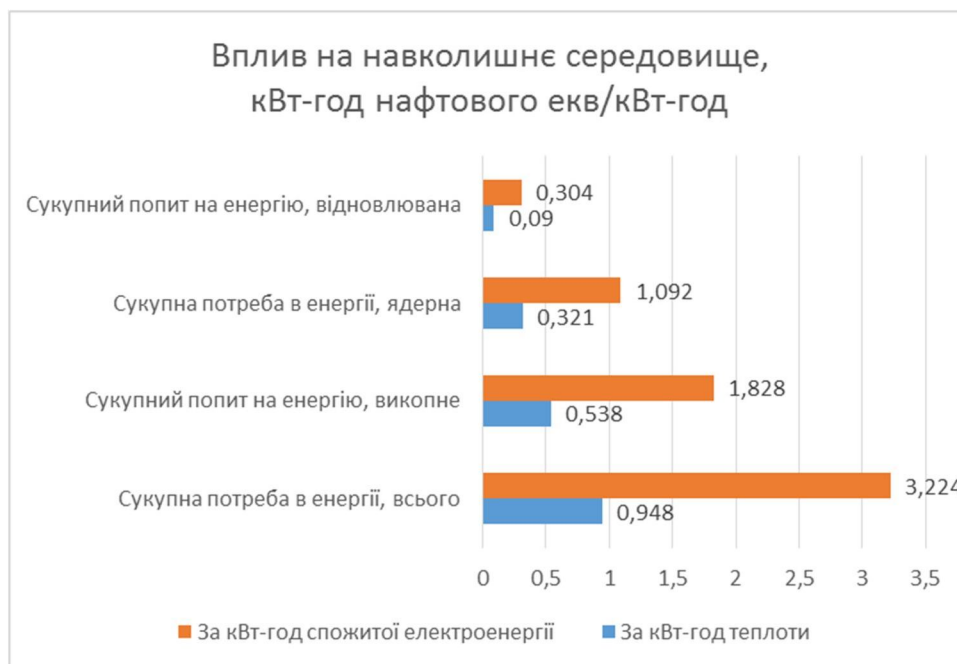


Рисунок 2.32 - Показники роботи теплового насоса «стічні води-вода» за даними з табл. 2.10

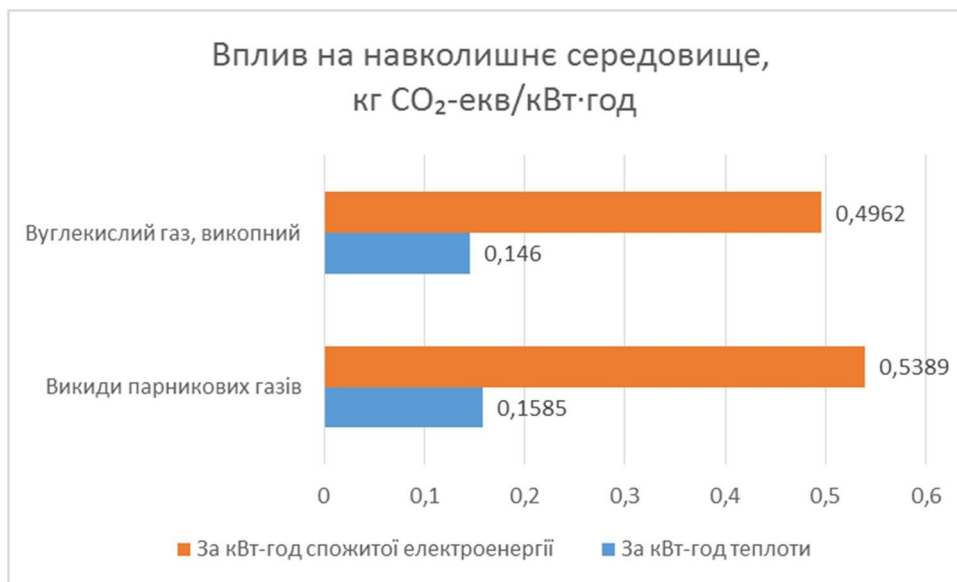


Рисунок 2.33 - Показники роботи теплового насоса «стічні води-вода» за даними з табл. 2.10

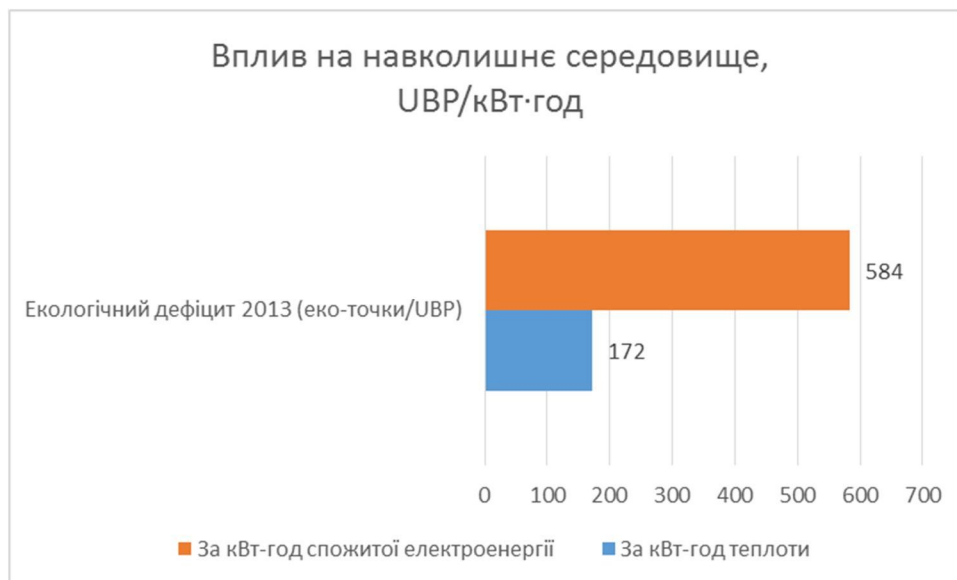


Рисунок 2.34 - Показники роботи теплового насоса «стічні води-вода» за даними з табл. 2.10

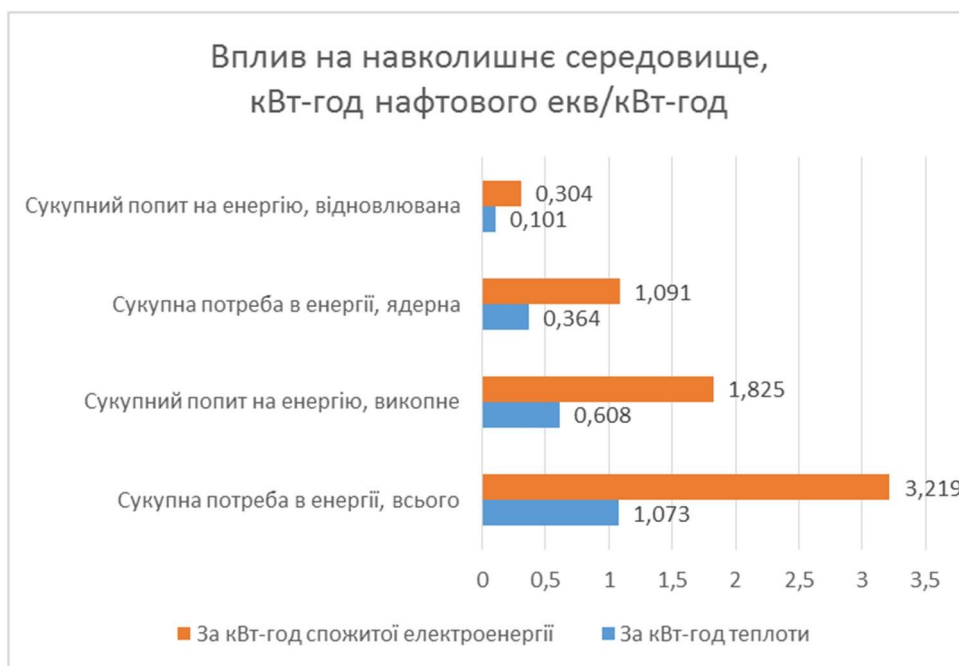


Рисунок 2.35 Показники роботи теплового насоса «стічні води-вода» заданими з  
табл. 2.11

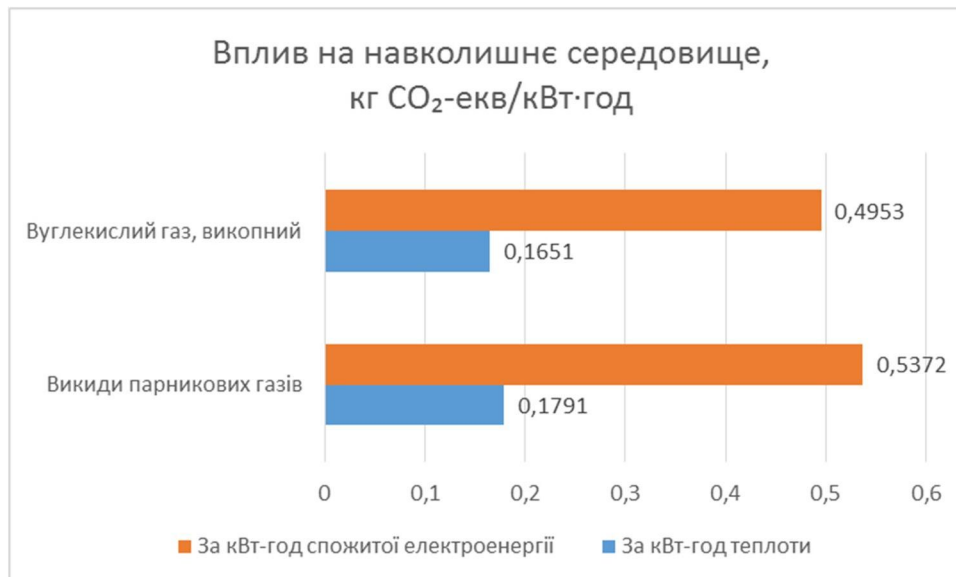


Рисунок 2.36- Показники роботи теплового насоса «стічні води-вода» заданими  
з табл. 2.11

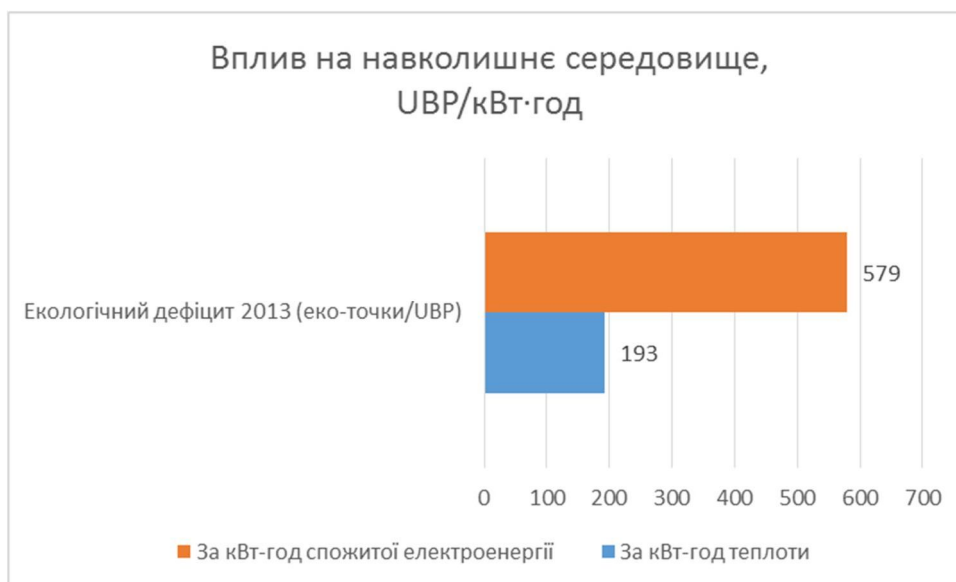


Рисунок 2.37 - Показники роботи теплового насоса «стічні води-вода» за даними з табл. 2.11

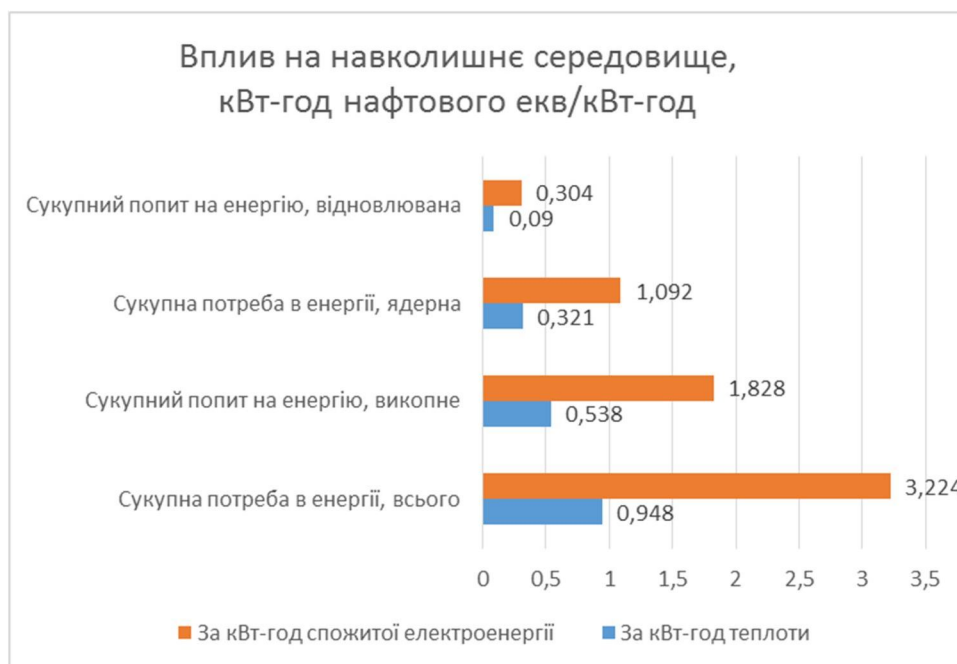


Рисунок 2.38 - Показники роботи теплового насоса «стічні води-вода» за даними з табл. 2.11

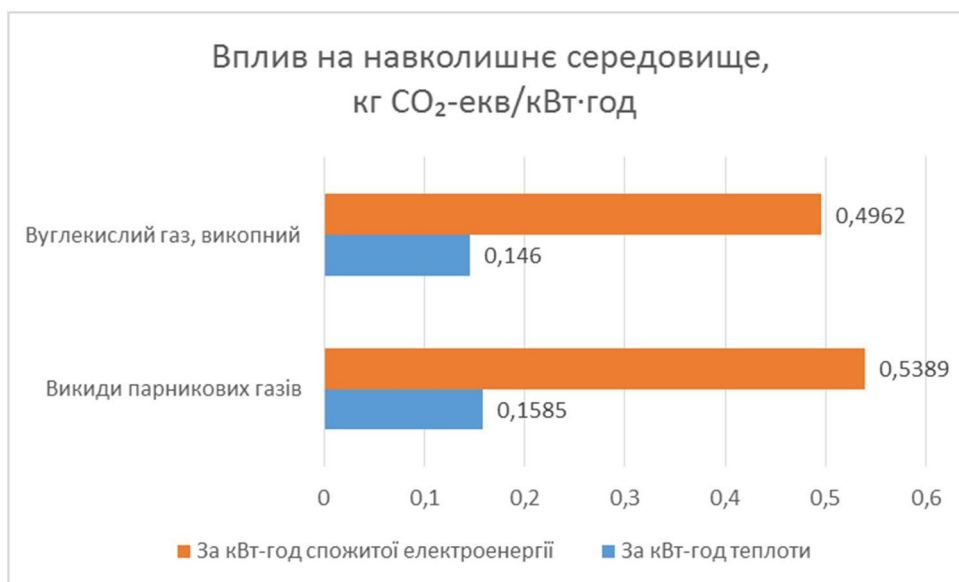


Рисунок 2.39 - Показники роботи теплового насоса «стічні води-вода заданими з табл. 2.12

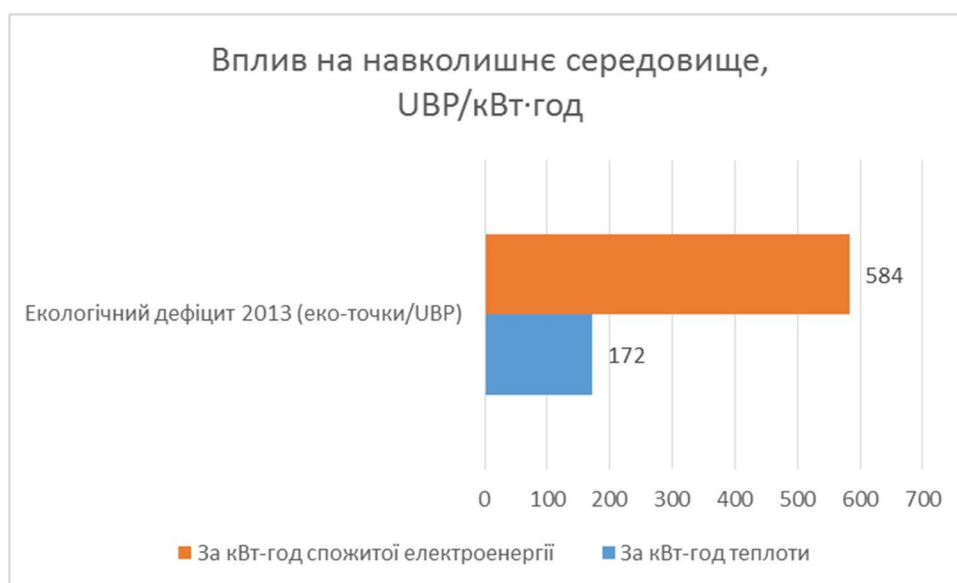


Рисунок 2.40 - Показники роботи теплового насоса «стічні води-вода» за даними з табл. 2.12

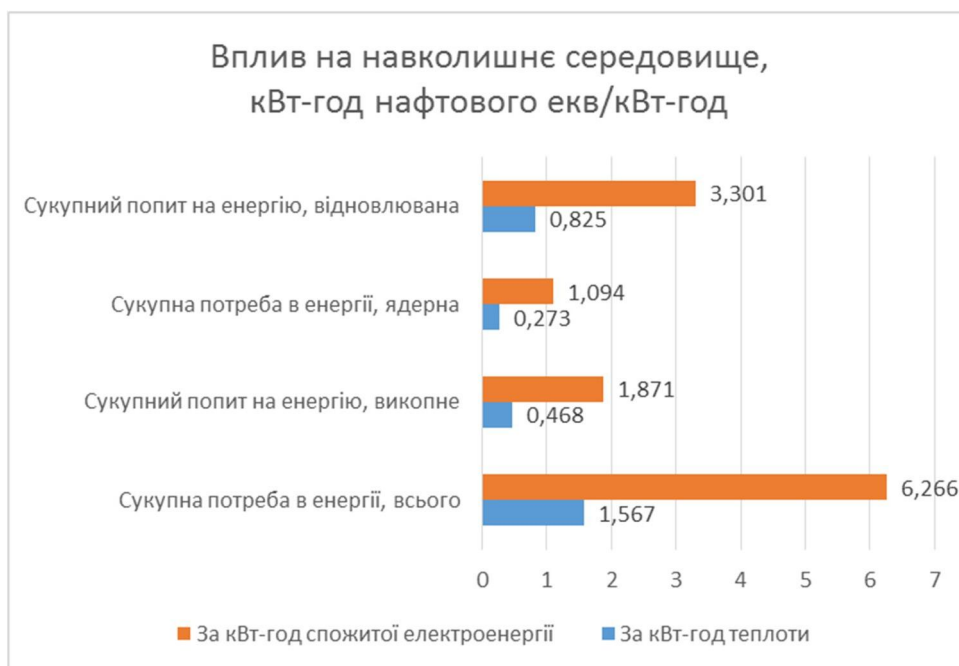


Рисунок 2.41 - Показники роботи теплового насоса «грунтові води-вода» за даними з табл. 2.13

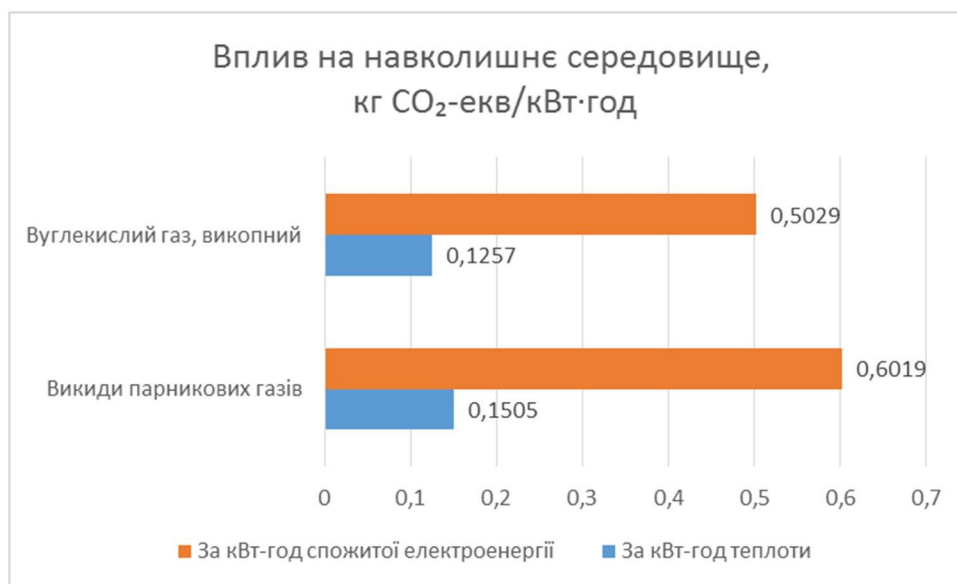


Рисунок 2.42 - Показники роботи теплового насоса «грунтові води-вода» за даними з табл. 2.13

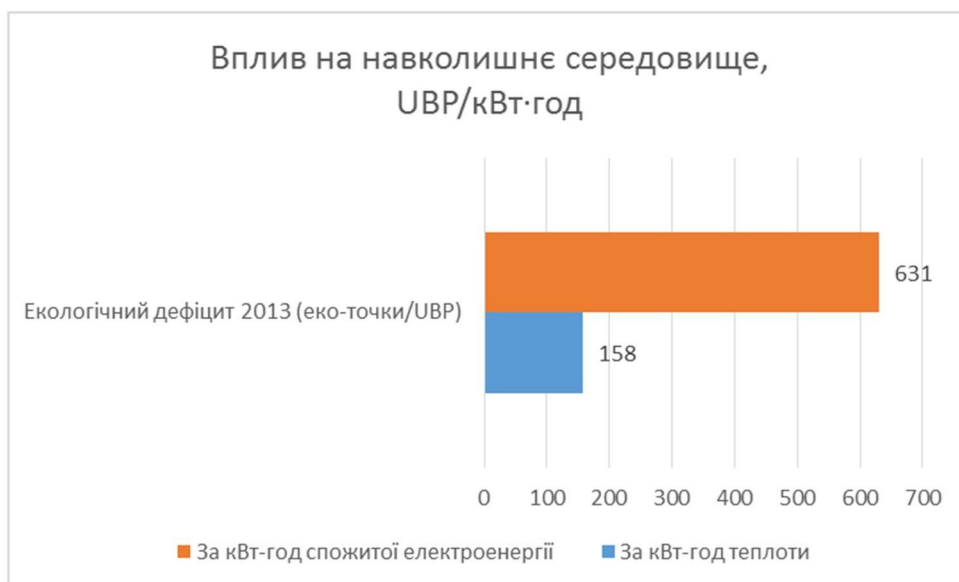


Рисунок 2.43 - Показники роботи теплового насоса «грунтові води-вода» за даними з табл. 2.13

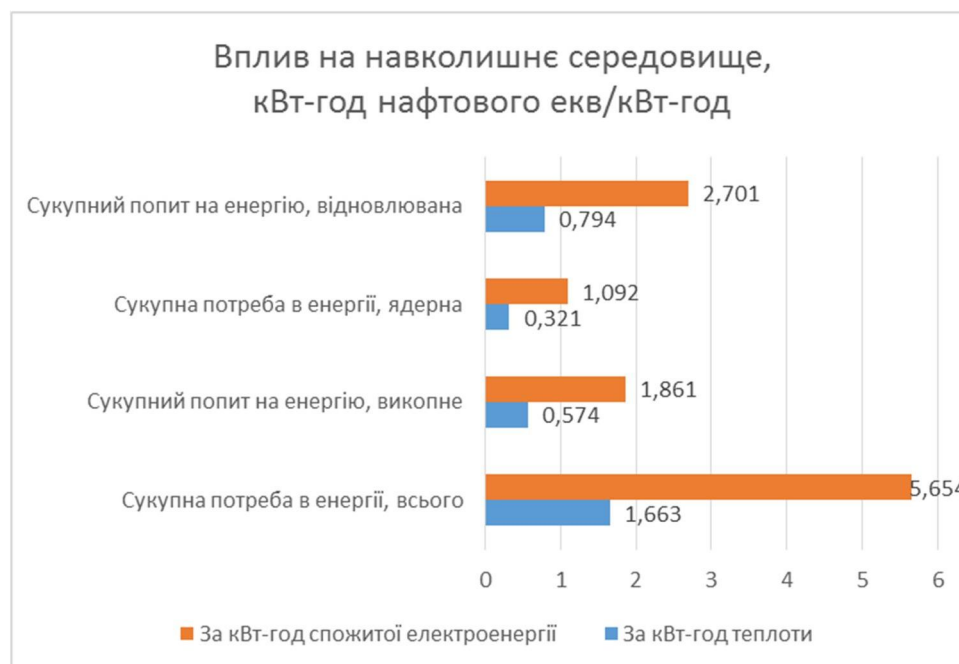


Рисунок 2.44 - Показники роботи теплового насоса «грунтові води-вода» за даними з табл. 2.14



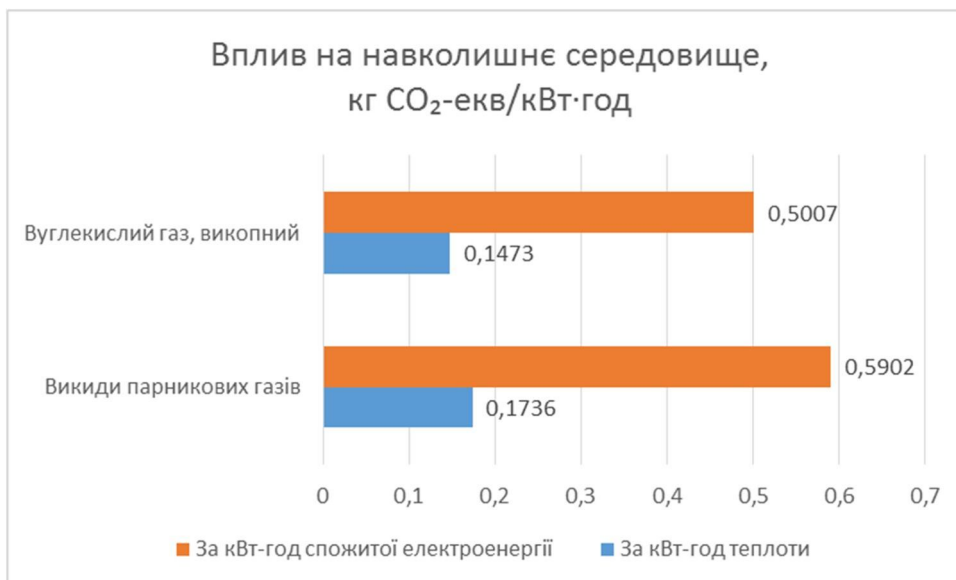


Рисунок 2.45 - Показники роботи теплового насоса «грунтови води-вода» за даними з табл. 2.14

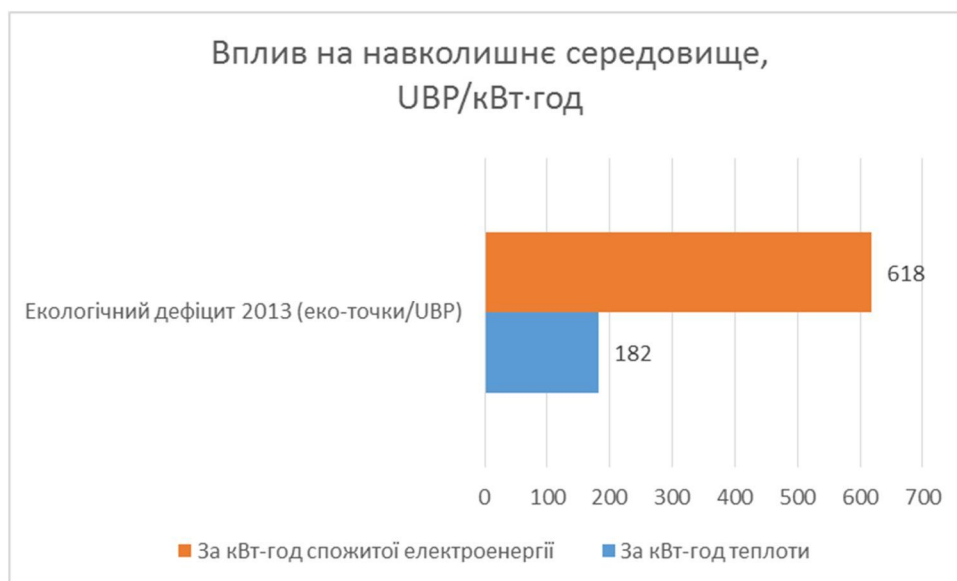


Рисунок 2.46 - Показники роботи теплового насоса «грунтови води-вода» за даними з табл. 2.14

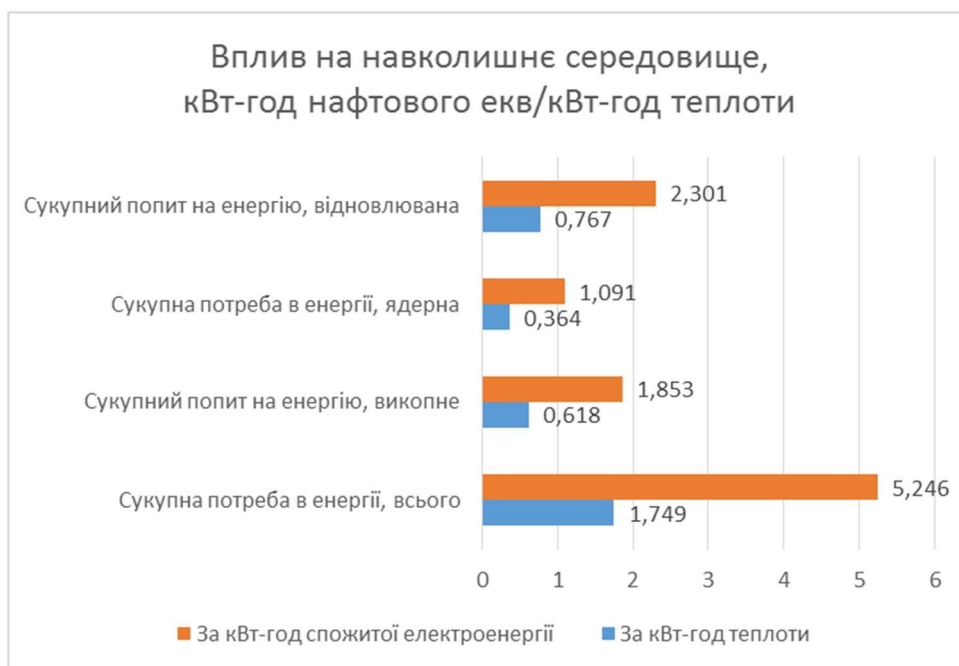


Рисунок 2.47 - Показники роботи теплового насоса «грунтові води-вода» за даними з табл. 2.15

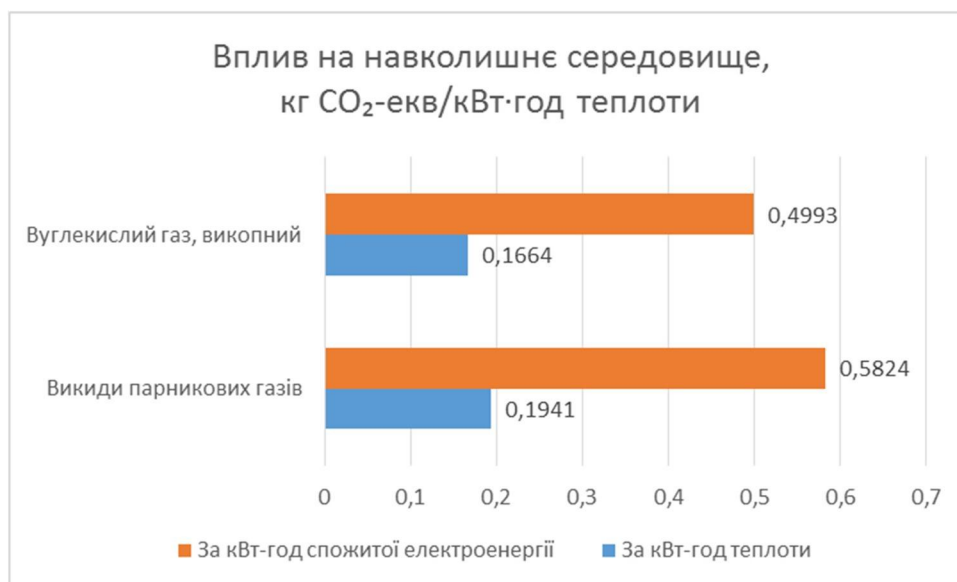


Рисунок 2.48 - Показники роботи теплового насоса «грунтові води-вода» за даними з табл. 2.15

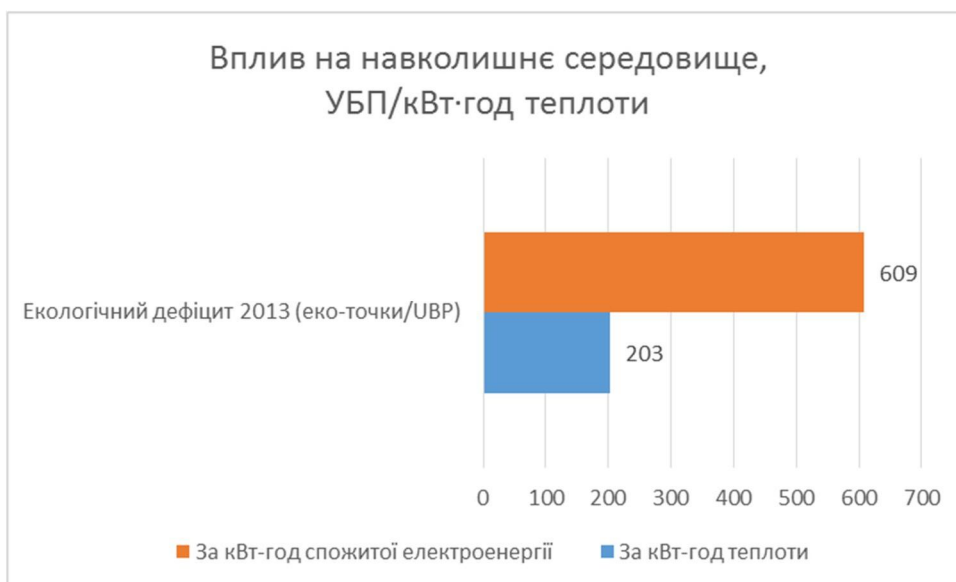


Рисунок 2.49 - Показники роботи теплового насоса «грунтові води-вода» за даними з табл. 2.15

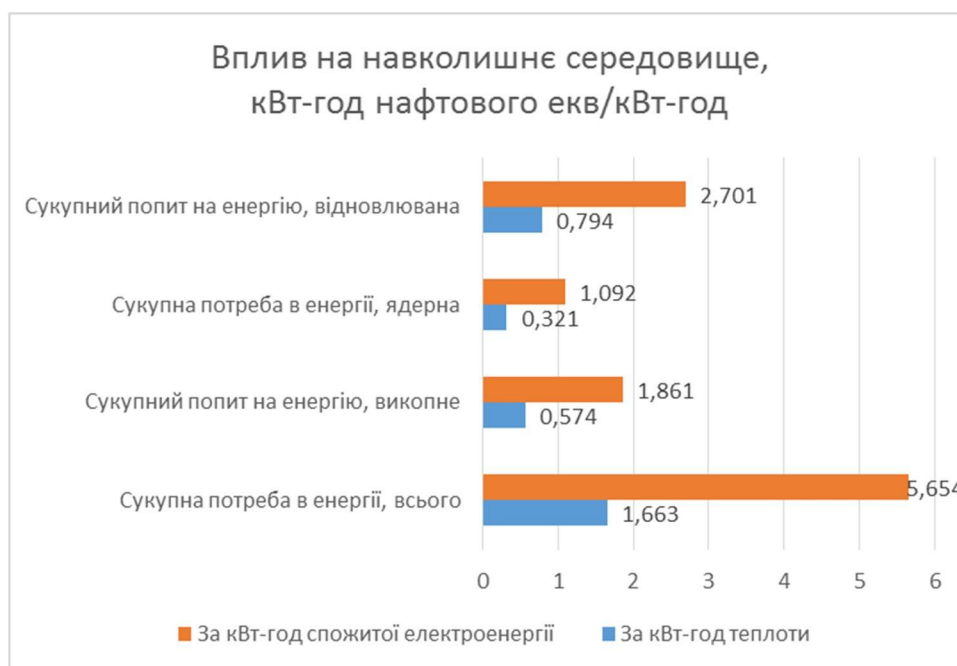


Рисунок 2.50 - Показники роботи теплового насоса «грунтові води-вода» за даними з табл. 2.16

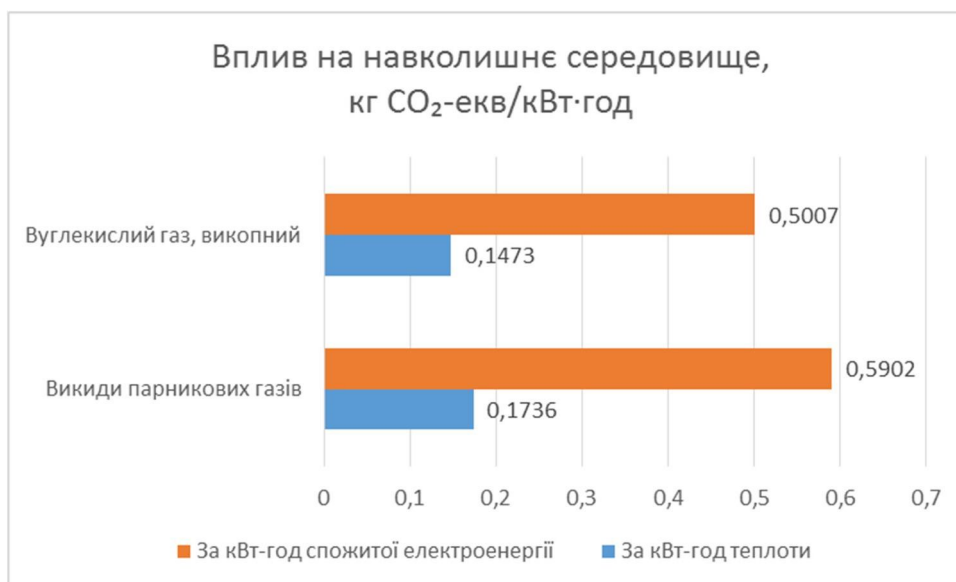


Рисунок 2.51 - Показники роботи теплового насоса «грунтови води-вода» за даними з табл. 2.16

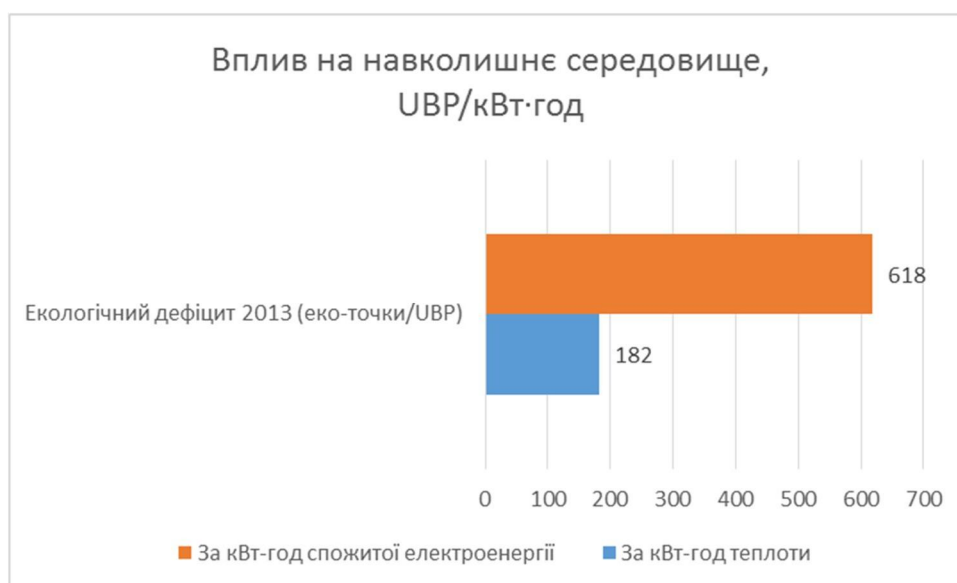


Рисунок 2.52 - Показники роботи теплового насоса «грунтови води-вода» за даними з табл. 2.16

На основі аналізу результатів з рис 2.5 -2.52 визначено, що використання теплоти вторинних енергоресурсів в теплових насосах буде забезпечувати високу ефективність енергоперетворень в теплоенергетичному обладнанні та кращі екологічні показники.

На рис. 2.53 – 2.55 наведені показники роботи опалювальної котельні на природному газі.

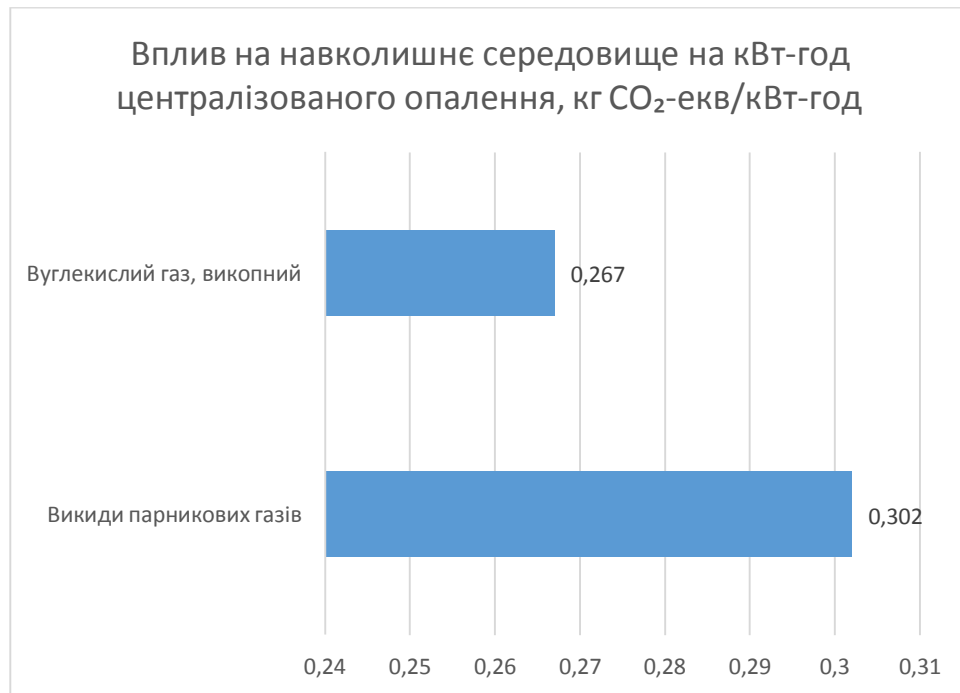


Рисунок 2.53 - Показники роботи опалювальної котельні на природному газі

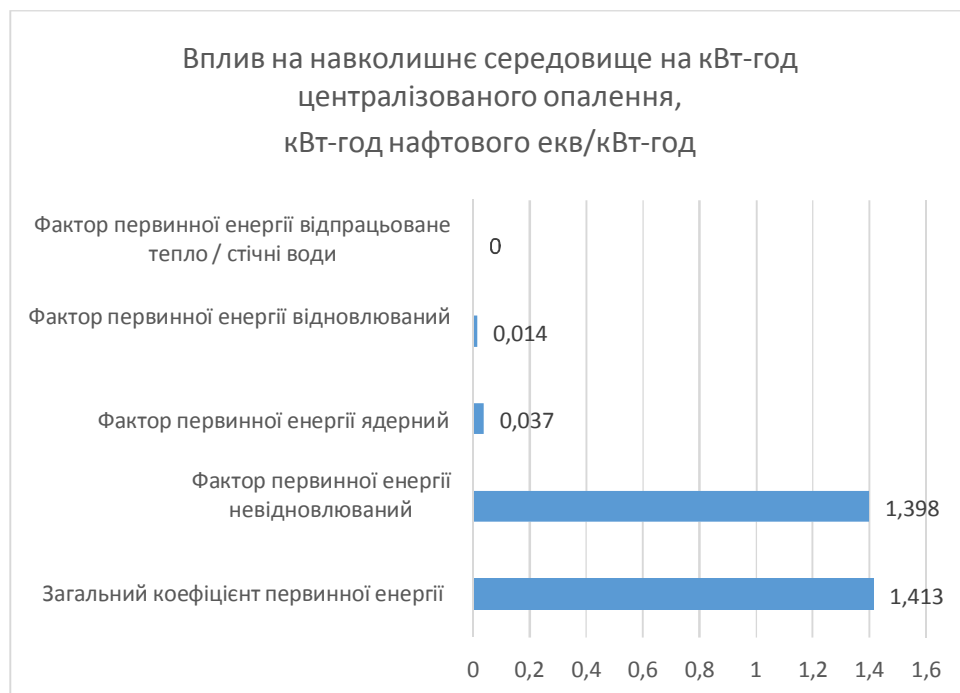


Рисунок 2.54 - Показники роботи опалювальної котельні на природному газі

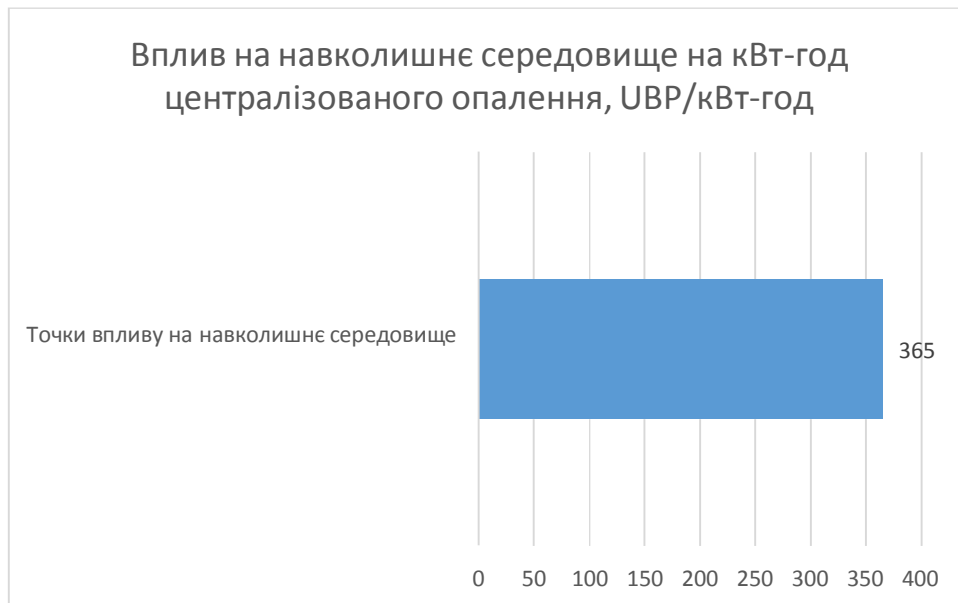


Рисунок 2.55 - Показники роботи опалювальної котельні на природному газі

На рис. 2.56 – 2.58 наведені показники роботи ТЕЦ на природному газі.

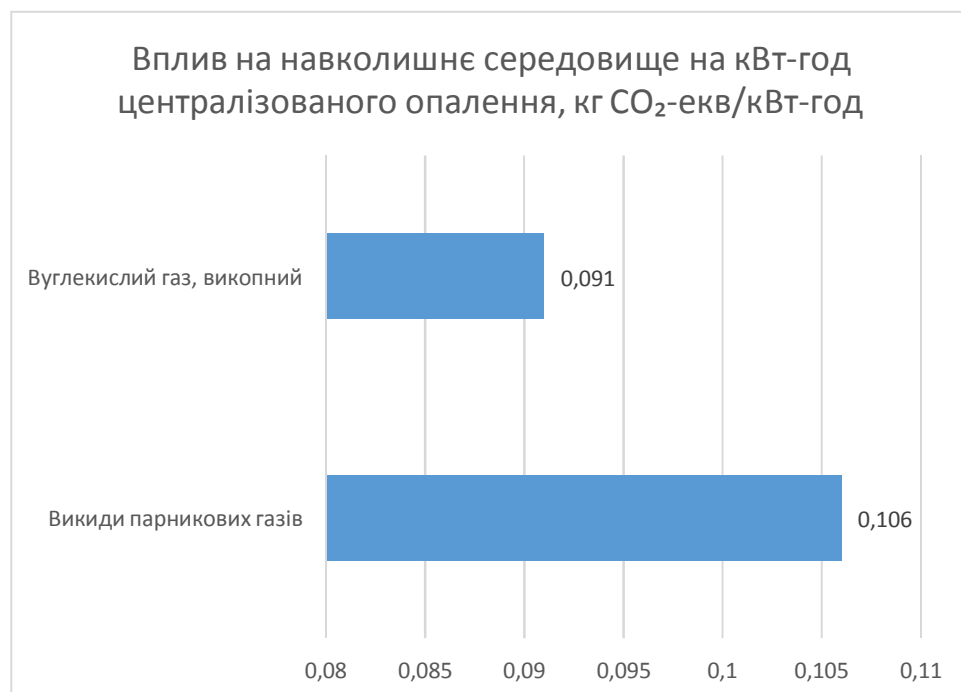


Рисунок 2.56 - Показники роботи ТЕЦ на природному газі

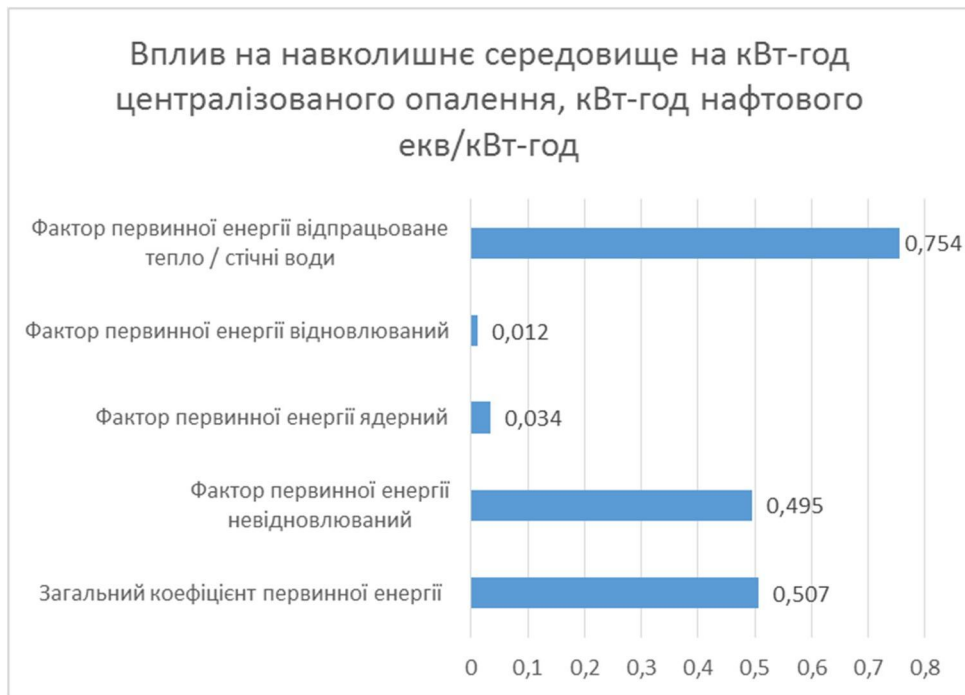


Рисунок 2.57 - Показники роботи ТЕЦ на природному газі

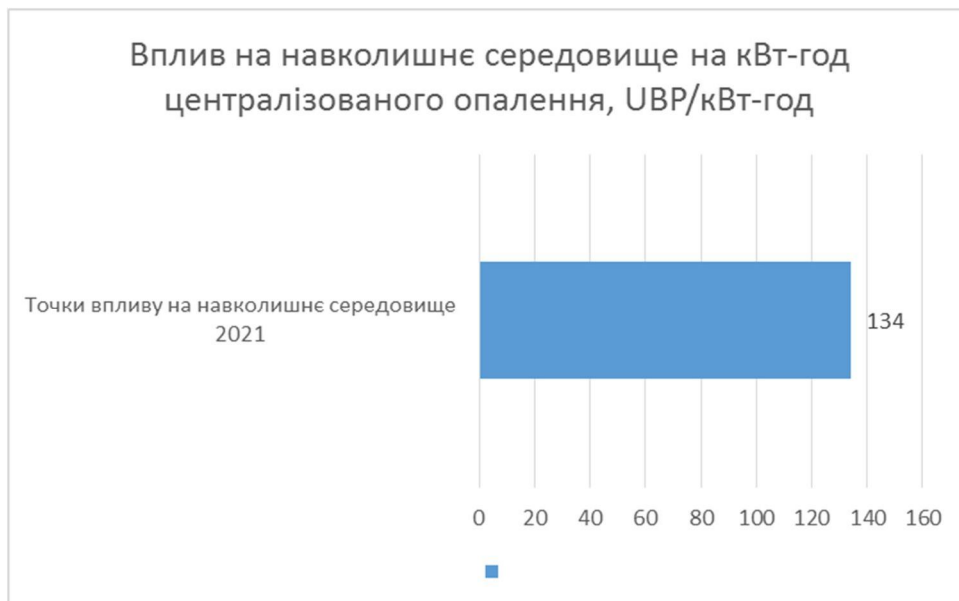


Рисунок 2.58 - Показники роботи ТЕЦ на природному газі

На рис. 2.59 – 2.61 наведені показники роботи котельні на мазуті.

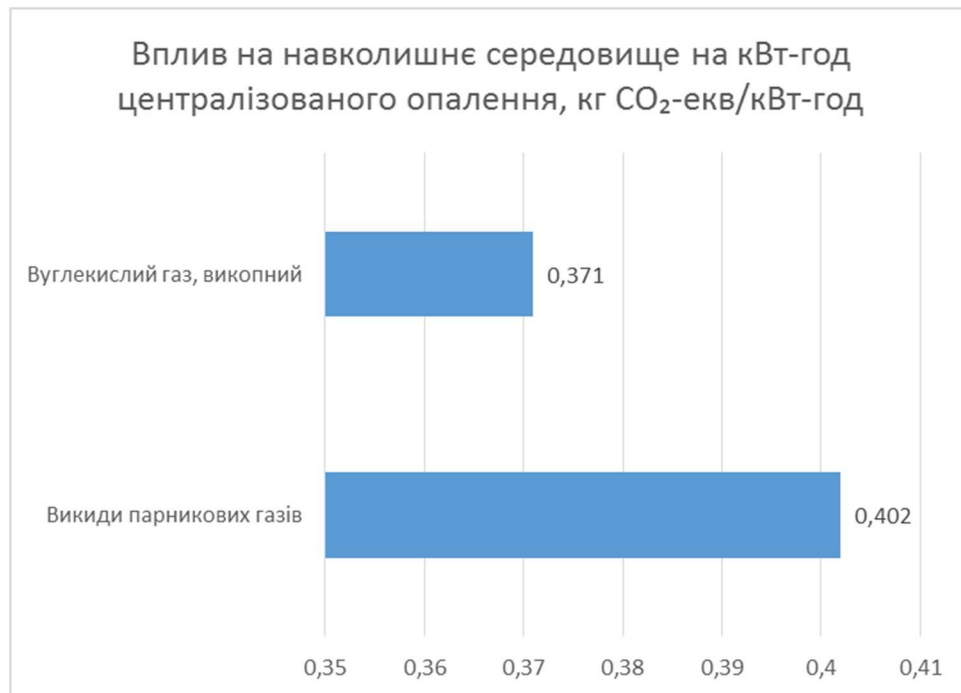


Рисунок 2.59 - Показники роботи котельні на мазуті

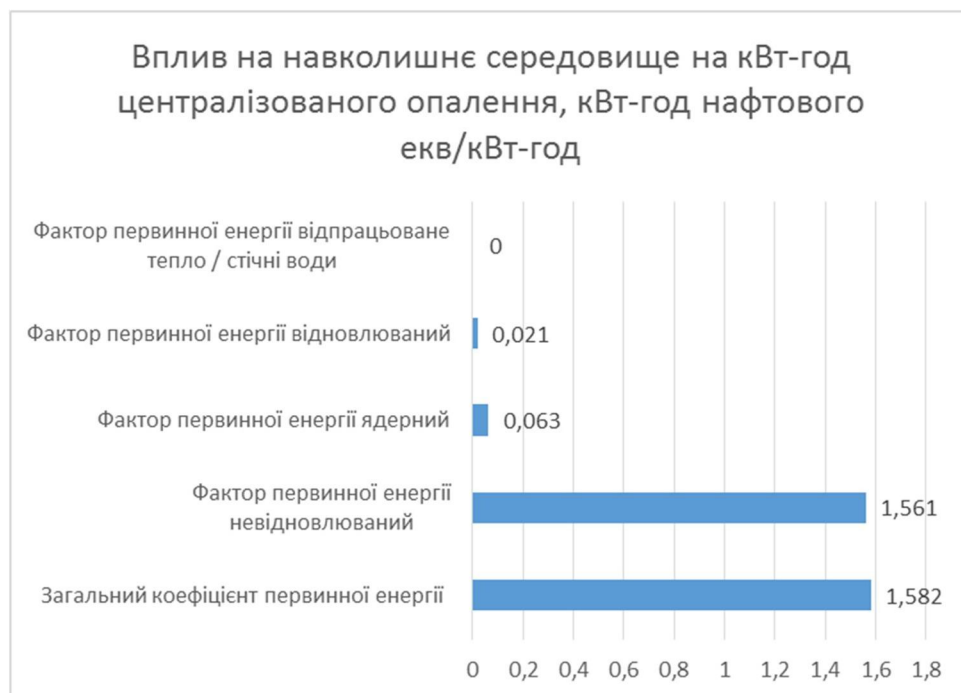


Рисунок 2.60 - Показники роботи котельні на мазуті



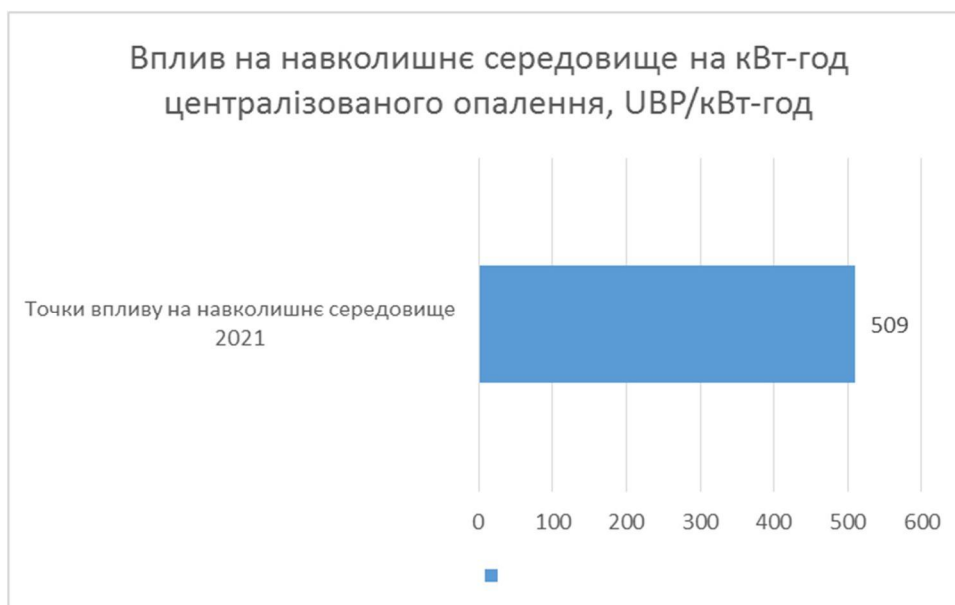


Рисунок 2.61 - Показники роботи котельні на мазуті

На рис. 2.62 – 2.64 наведені показники роботи теплового насоса на вторинних енергоресурсах.

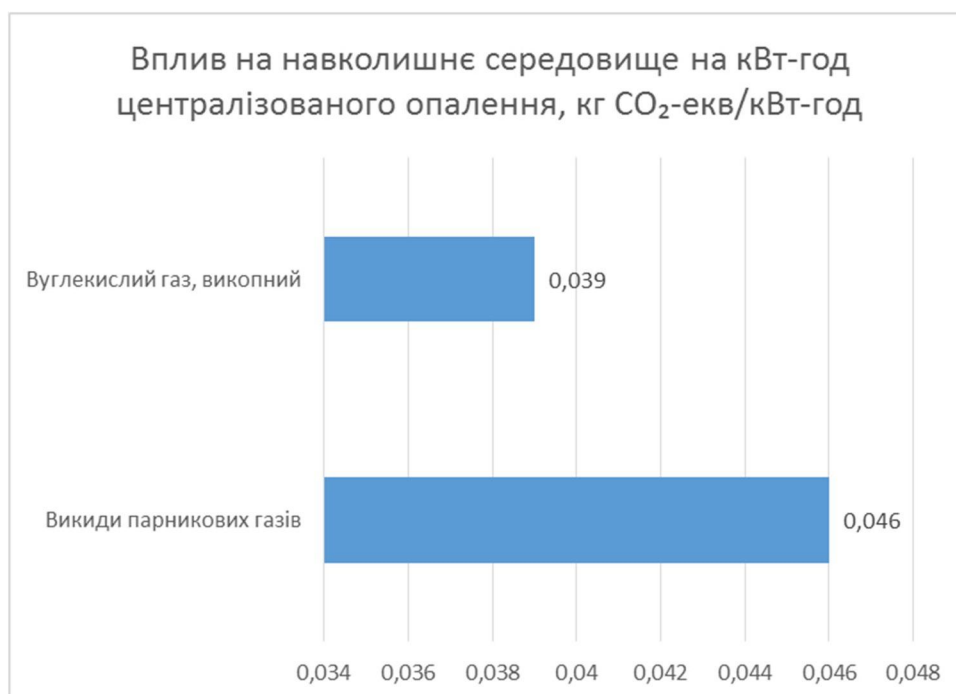


Рисунок 2.62 - Показники роботи теплового насоса на вторинних енергоресурсах



Рисунок 2.63 - Показники роботи теплового насоса на вторинних енергоресурсах

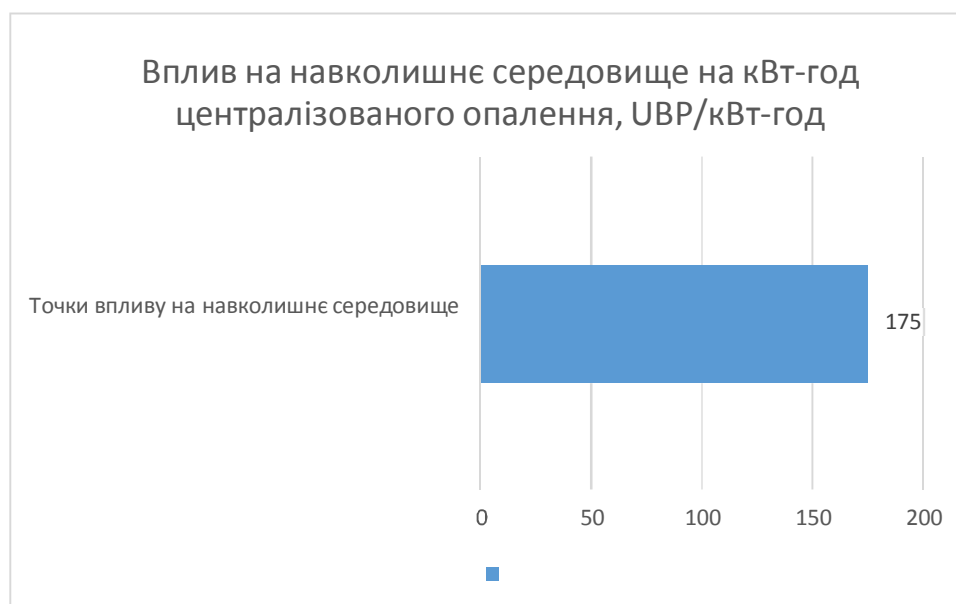


Рисунок 2.64 - Показники роботи теплового насоса на вторинних енергоресурсах

За результатами аналізу показників ефективності для базового та альтернативних варіантів схеми опалювальної котельні з тепловим насосом з використанням природних та промислових джерел низькотемпературної теплоти (рис 2.53-2.64) 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 котельні з теплонасосною установкою на теплоти вторинних низькотемпературних енергоресурсів котельні.

### **2.3 Висновки до розділу 2**

За результатами аналізу показників ефективності для базового та альтернативних варіантів схеми опалювальної котельні з тепловим насосом з використанням природних та промислових джерел низькотемпературної теплоти (рис 2.53-2.64) 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 котельні з теплонасосною установкою на теплоти вторинних низькотемпературних енергоресурсів котельні.

### 3 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ МОНТАЖУ ОБЛАДНАННЯ КОГЕНЕРАЦІЙНИХ ТЕПЛОНАСОСНИХ УСТАНОВОК

В магістерській кваліфікаційній роботі виконані розрахунки з розробки технології монтажу нового обладнання в тепловій схемі котельні, з використанням інформаційних джерел [21-35]. Детальні результати наведено у додатку В.

Представлено аналіз об'єкту який підлягає монтажу, розроблено монтажну схему когенераційної ТНУ з комунікаціями, компоновку обладнання і трубопроводів, склад робіт та трудомісткість виконання монтажних робіт, розроблено календарний план виконання робіт, графік руху робітників, машин та механізмів, визначені техніко-економічні показники календарного плану, на прикладі котельні.

Було виконано компоновку обладнання, схеми прокладення трубопроводів, враховані відомості по виконанню робіт, визначена трудоємкість монтажних робіт. Визначено необхідну кількість виробів та матеріалів для монтажу системи теплонасосної установки, потребу в допоміжних матеріалах, підібрані машин, механізми та пристосування для виконання монтажних робіт.

Так, загальна маса всіх вантажів становить  $\Sigma M_{\text{заг}} = 268249$  (кг), а маса теплонасосних установок, що встановлюються на котельні, становлять  $M_{\text{ТНУ}} = 13000$  кг та  $M_{\text{ТНУ}} = 22000$  кг відповідно.

Після проведення необхідних розрахунків розроблені календарний графік монтажу тепло насосної установки, графік руху робітників та графік руху машин та механізмів.

Загальна трудомісткість виконання робіт 998,64 люд.-год., загальна тривалість виконання робіт 164,4 доби.

#### 4 АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕПЛОВОЇ СХЕМИ КОТЕЛЬНОЇ

В МКР було проведено розробку функціональної схеми автоматизації водогрійної котельні з використанням літературних джерел [36-45], опис та технічна характеристика САР наведені в додатку Г.

Були розроблені системи автоматичного регулювання потужності котлів; САР співвідношення паливо-повітря; САР температури в подавальній магістралі на виході з котельні; САР температури сирової води; САР температури в деаераторі; САР розрідження в деаераторі; САР підживлення.

Була розроблена функціональна схема автоматики котельні на форматі А3, розроблена специфікація на засоби автоматизації.

Підібрані основні регулятори та вимірювальні пристрої, які будуть здійснювати процеси регулювання в схемі.

Виконано розрахунок клапану перепуску води з лінії живильної води до лінії подачі гарячої води в магістраль.

## 5 ТЕХНІКО - ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ПРОЄКТНИХ РІШЕНЬ

Кошторисна документація до магістерської кваліфікаційної роботи складена у відповідності до КНУ Настанова з визначення вартості будівництва. (від 01.11.2021 зі змінами). Локальні кошториси складаються в поточному рівні цін на трудові і матеріально-технічні ресурси. В локальному кошторисі визначено кошторисну вартість робіт, яка містить в собі прямі та загальновиробничі витрати. Прямі витрати враховують заробітну плату робітників, вартість експлуатації будівельних машин і механізмів, вартість матеріалів, виробів і конструкцій. Загальновиробничі витрати будівельно-монтажної організації входять у виробничу собівартість будівельно-монтажних робіт. Для розрахунку загальновиробничі витрати групуються в три блоки: Засоби на заробітну плату робітників; відрахування на соціальні заходи; інші статті загально - виробничих витрат. Склад, об'єми робіт та необхідну кількість витратних матеріалів наведено у третьому розділі роботи. Основою для розробки кошторису є креслення та технічні розрахунки (розділ 2,3). Кошторисна документація складена за допомогою програмного комплексу АВК. Локальний кошторис на влаштування системи наведений в таблиці Д.1 в додатку Д. Вартість робіт становить 2895.977 тис. грн. Техніко-економічні показники роботи визначаються сумарними характеристиками. Основним показником є кошторисна вартість монтажу системи, яка визначається відповідно діючим нормам із врахуванням встановлених надбавок на накладні витрати та планові накопичення. Значення основних техніко-економічних показників наведено в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Техніко-економічні показники

| Назва показника                    | Одиниця виміру | Величина показника |
|------------------------------------|----------------|--------------------|
| Кошторисна вартість робіт          | тис. грн       | 3389,832           |
| Загальна кошторисна трудомісткість | люд-год        | 7368               |
| Середній розряд робіт              | розряд         | 3,9                |
| Загальна довжина трубопроводів     | м              | 285                |
| Вартість матеріалів                | тис.грн        | 2444,249           |
| Загальна кошторисна зарплата       | тис. грн       | 588,544            |

В даному розділі роботи було визначено основні величини техніко-економічних показників, складена кошторисна документація: локальний кошторис за допомогою кошторисної програми АВК. Загальна кошторисна вартість проведення робіт, враховуючи вартість матеріалів, становить 3389,832 тис. грн.

## 6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

У цьому розділі магістерської дипломної роботи розглянуті заходи з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях під час реалізації заходів з підвищення ефективності енерговикористання в тепловій схемі водогрійної опалювальної котельні на основі джерел [46-56]. На будівельно-монтажний персонал, який здійснює монтаж інженерного обладнання будівель і споруд (прокладання трубопроводів, монтаж сантехнічного, опалювального, вентиляційного та газового обладнання), впливають такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори [46, 47]: фізичні, хімічні та трудового процесу.

Фізичні фактори: мікроклімат (температура, вологість, швидкість руху повітря, інфрачервоне випромінювання); виробничий шум, ультразвук, інфразвук; вібрація (локальна, загальна); освітлення: природне (недостатність), штучне (недостатня освітленість, прямий і відбитий сліпучий відблиск тощо). Хімічні фактори: речовини хімічного походження, аерозолі фіброгенної дії (пил).

Фактори трудового процесу: важкість (тяжкість) праці; напруженість праці. Важкість праці характеризується рівнем загальних енергозатрат організму або фізичним динамічним навантаженням, масою вантажу, що піднімається і переміщується, загальною кількістю стереотипних робочих рухів, величиною статичного навантаження, робочою позою, переміщенням у просторі. Напруженість праці характеризують: сенсорні, емоційні навантаження, ступінь монотонності навантажень, режим роботи.

Технічні рішення з безпечної організації робочих місць

Під час монтажу інженерного обладнання будівель і споруд необхідно вживати заходів із запобігання впливу на працівників визначених вище небезпечних і шкідливих виробничих факторів. За наявності цих факторів, безпека праці під час монтажу інженерного обладнання будівель і споруд повинна відповідати вимогам ДБН «Охорона праці і промислова безпека у будівництві» [48] та заходам безпеки, що зазначені в проектно-технологічній документації (ПОБ, ПВР тощо), зокрема: під час виконання робіт на висоті робочі місця повинні бути обладнані вентиляцією, засобами пожежогасіння; додержанням заходів безпеки під час виконання робіт у траншеях і колодязях; додержанням спеціальних заходів безпеки під час травлення та знежирення трубопроводів. У робочій зоні монтажних робіт не допускається виконання інших робіт і перебування сторонніх осіб.

Монтаж обладнання, трубопроводів і повітропроводів поблизу електричних мереж (у межах відстані, яка дорівнює найбільшій довжині вузла чи ланки трубопроводу, що монтується) виконується при знятій напрузі. За неможливості зняття напруги роботи необхідно виконувати за нарядам-допуском, затвердженим у визначеному порядку.

Під час монтажу обладнання повинні бути вжиті заходи із запобігання самовільному чи випадковому його вмиканню. Під час монтажу обладнання з використанням домкратів необхідно вжиття заходів, що запобігають перекосу чи перекиданню домкратів.

#### Електробезпека

Живлення силового обладнання та системи освітлення здійснюється від чотирьохпровідної трифазної мережі 380 x 220В (фазна напруга (фаза – "0") – 220В, а міжфазна лінійна (фаза – фаза) – 380В). Категорія умов по небезпеці електротравматизму – підвищеної небезпеки, у зв'язку з наявністю у цехах підвищеної вологості. Технічні рішення щодо запобігання електротравмам [49, 50]: для запобігання електротравм від контакту з нормально-струмопровідними елементами електроустаткування, необхідно:

- розміщувати неізольовані струмопровідні елементи в окремих приміщеннях з обмеженим доступом, у металевих шафах;
- використовувати засоби орієнтації в електроустаткуванні - написи, таблички, попереджувальні знаки;
- підвід кабелів до споживачів здійснювати у закритих конструкціях підлоги; електрозахисні засоби захисту: основні та допоміжні. Основними електрозахисними засобами (до 1000В) є ізолювальні штанги; ізолювальні та струмовимірювальні кліщі; покажчики напруги; діелектричні рукавиці; слюсарно-монтажний інструмент з ізольованими ручками; додатковими – діелектричні калоші; діелектричні килимки; переносні заземлення; ізолювальні накладки і підставки; захисні пристрої; плакати і знаки безпеки.

Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

#### Мікроклімат

Для забезпечення нормального мікроклімату в робочій зоні [51] встановлюють нормовані параметри мікроклімату в робочій зоні, які наведено в таблиці 6.1.

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату проектом передбачено [52]:

1. Температура внутрішніх поверхонь будівельних конструкцій робочої зони і зовнішніх поверхонь обладнання при забезпеченні допустимих параметрів



мікроклімату не повинна перевищувати 2°C.

2. Якщо температура поверхонь вище або нижче допустимої температури повітря, то робочі місця повинні бути віддалені від них на відстань не менше 1 м.

3. Для забезпечення нормованих значень швидкості руху повітря проектом передбачається витяжна та припливна вентиляційні системи

Таблиця 6.1 – Нормовані параметри мікроклімату в робочій зоні з категорією робіт Па

| Період року | Категорія робіт       | Допустимі |             |               |
|-------------|-----------------------|-----------|-------------|---------------|
|             |                       | t, °C     | W, %        | V, м/с        |
| Теплий      | Середньої важкості Па | 18-27     | 65 при 26°C | 0,2-0,4       |
| Холодний    |                       | 17-23     | До 75%      | не більше 0,3 |

Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується граничнодопустимими концентраціями (ГДК) в мг/м<sup>3</sup> [51]. Нормовані параметри забруднення повітря в робочій зоні наведено в таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 – Можливі забруднювачі повітря можуть і їх ГДК

| Найменування речовини | ГДК, мг/куб.м      |                | Клас небезпечності |
|-----------------------|--------------------|----------------|--------------------|
|                       | Максимальна разова | Середньодобова |                    |
| Оксид вуглецю         |                    | 20             | 4                  |
| Пил нетоксичний       | 4                  | 4              | 4                  |

Для нормалізації складу повітря робочої зони потрібно здійснювати щоденне прибирання робочого місця [52]. Нагромадження пилу в будь-якій області вказує на необхідність у вживанні заходів з очищення забруднених поверхонь. Потрібно підкреслити, що будь-яке нагромадження пилу може привести до загоряння. Чим дрібніше пил (менша зернистість), тим вище небезпека. Тому необхідно здійснювати наступні заходи: очищувати металевий пил якнайчастіше, щодня протирати гарячі поверхні, при високих концентраціях пилу обробляти запилені поверхні по частинам. Низька вологість збільшує потенційну небезпеку, це повинне прийматися в увагу під час прибирання.

## Виробниче освітлення

Характеристика зорових робіт – середньої точності.

Відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 розряд зорової роботи IV, підрозряд «в».  
Допустимі рівні виробничого освітлення наведені в таблиці 6.3.

Для забезпечення достатнього освітлення здійснюють систематичне очищення скла та світильників від пилу (не рідше двох разів на рік), використовують жалюзі. В разі нестачі природного освітлення, використовують загальне штучне освітлення, що створюється за допомогою світлодіодних ламп E27 LED 15W NW A60 "SG". Висота підвісу світильників над робочою поверхнею 2,5 метра. Для загального освітлення приміщень рекомендується використовувати головним чином, світлодіодні лампи, що обумовлюється наступними перевагами: високою світловою віддачею (до 75 лм/Вт і більше); довгим часом використання (до 10000 годин); малою яскравістю поверхні, що світиться; спектральним складом випромінюючого світла (для деяких видів ламп цей склад є близьким до природного світла, що забезпечує гарну передачу кольорів). Разом з тим необхідно врахувати і недоліки цих ламп: висока пульсація світлового потоку та пов'язана з цим можливість стробоскопічного ефекту; для запалювання та горіння лампи необхідно включення послідовно з ним пускорегулюючих апаратів; працездатність ламп залежить від температури оточуючого середовища, до кінця часу роботи світловий потік зменшується більш ніж на половину від номінального.

Таблиця 6.3 – Вимоги до освітлення приміщень виробничих підприємств

| Харак-ка зорової роботи | Найменший або еквівалентний розмір об'єкта розрізнення, мм | Розряд зорової роботи | Під-розряд зорової роботи | Контраст об'єкта з фоном | Характеристика фону     | Штучне при системі комбінованого освітлення |                        | Природне Ен пр | Сумісне Е сум |
|-------------------------|--|-----------------------|---------------------------|--------------------------|-------------------------|---|------------------------|----------------|---------------|
|                         |  |                       |                           |                          |                         | всього                                      | у т. ч. від загального |                |               |
| Середньої точності      | Від 0,5 до 1,0 включно                                     | IV                    | в                         | малий середній великий   | світлий середній темний | 400   | 200                    | 4              | 2,4           |

Світильники з світлодіодними лампами розміщують рядами; що дозволяє здійснювати їх послідовне включення (відключення) в залежності від величини природної освітленості.

Нормативним документом, який регламентує рівні шуму для різних категорій робочих місць службових приміщень, є «ССБТ. Шум Загальні вимоги безпеки». Нормовані параметри виробничого шуму в робочій зоні наведено в таблиці 6.4.

Таблиця 6.4 – Рівень звукового тиску

| Характер робіт                                  | Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах з середньгеометричними частотами, Гц |    |     |     |     |      |      |      |      |
|---|--|----|-----|-----|-----|------|------|------|------|
|   | 32   | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
| Постійні робочі місця в промислових приміщеннях | 107  | 95 | 87  | 82  | 78  | 75   | 73   | 71   | 69   |

Для зниження шуму в приміщеннях на будівництві за «ССБТ. Засоби індивідуального захисту органів слуху. Загальні технічні умови і методи випробувань» і «Засоби і методи захисту від шуму. Класифікація», потрібно: безпосередньо біля джерел шуму використовувати звукопоглинаючі матеріали для покриття стелі, стін, застосовувати підвісні звукопоглиначі; для боротьби з вентиляційним шумом потрібно застосовувати мало шумові вентилятори.

#### Виробнича вібрація

На будівельному майданчику присутня вібрація типу За. Нормовані параметри виробничої вібрації в робочій зоні наведено в таблиці 6.5.

Таблиця 6.5 – Допустимі рівні вібрації на постійних робочих місцях

| Вид вібрації  | Октавні смуги з середньгеометричними частотами, Гц |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |
|---|--|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|   | 2  | 4                 | 8                 | 16                | 31,5              | 63                | 125               | 250               | 500               | 1000              |
| Загальна вібрація: на постійних робочих місцях в виробничих приміщеннях | $\frac{1,3}{108}$ *                                | $\frac{0,45}{99}$ | $\frac{0,22}{93}$ | $\frac{0,2}{92}$  | $\frac{0,2}{92}$  | $\frac{0,2}{92}$  | -                 | -                 | -                 | -                 |
| Локальна вібрація   | -  | -                 | $\frac{2,8}{115}$ | $\frac{1,4}{109}$ | $\frac{1,4}{109}$ | $\frac{1,4}{109}$ | $\frac{1,4}{109}$ | $\frac{1,4}{109}$ | $\frac{1,4}{109}$ | $\frac{1,4}{109}$ |

\* В чисельнику середньквдратичне значення вібрації,  $\text{м/с} \cdot 10^{-2}$ , в знаменнику – логарифмічні рівні вібрації, дБ.

Для зменшення дії вібрацій на працюючих проектом передбачено: динамічне погашення вібрації – приєднання до захисного об'єкту системи, реакції якої

зменшують розмах вібрації об'єкта в точках приєднання системи; зміна конструктивних елементів машин; застосування засобів індивідуального захисту, а саме рукавиці, вкладиші і прокладки, віброзахисне взуття з пружнодемпферуючим низом.

Психофізіологічні фактори визначаються відповідно до Гігієнічної класифікації праці [46]. Робота монтажника будівельних конструкцій потребує великих фізичних зусиль за важкістю та напруженістю праці.

Клас умов праці за показниками важкості праці – допустимий (середньої важкості): загальні енергозатрати організму (кг/м) – до 290; зовнішнє фізичне динамічне навантаження, виражене в одиницях механічної роботи за зміну, кг/(Вт): при регіональному навантаженні (для чоловіків) – 13000; при загальному навантаженні ( за участю м'язів рук, тулуба, ніг) – до 44000; маса вантажу, що постійно підіймається та переміщується вручну, кг – до 30 кг; стереотипні робочі рухи: при локальному навантаженні (участь м'язів кистей та пальців рук)- до 40000; при регіональному навантаженні(участь рук та плечового суглоба) – до 20000; статичне навантаження (кг/с): двома руками (чоловіки) – до 70000; за участю мязів тулуба та ніг – до 100 000; робоча поза: періодичне перебування в незручній позі (робота з поворотом тулуба, незручним розташуванням кінцівок) та/або фіксованій позі (неможливість зміни взаєморозташування різних частин тіла відносно одна одної) до 25% часу зміни; перебування у вимушеній позі до 10%, в позі «стоячи» – до 60% часу зміни;нахил тулуба: вимушені нахили протягом зміни – 51-100 разів; переміщення у просторі (переходи через виконання технологічного процесу) – по горизонталі більше 8, вертикалі – 4 км.

Інтелектуальні навантаження: зміст роботи - рішення складних завдань з вибором за алгоритмом; сприймання інформації та їх оцінка – сприймання інформації з наступною корекцією дій та операцій; розподіл функцій за ступенем складності завдання – обробка, контроль, перевірка завдання; характер виконуваної роботи – робота за встановленим графіком з можливим його коригуванням під час діяльності Сенсорні навантаження: зосередження (%за зміну) - більше 75; щільність сигналів (звукові за 1 год) - більше 300; навантаження на голосовий апарат (протягом тижня) – від 20 до 25.

Емоційне навантаження: ступінь відповідальності за результат своєї діяльності - є відповідальним за функціональну якість основної роботи; ступінь ризику для власного життя – вірогідний; ступінь відповідальності за безпеку інших осіб – є відповідальним за безпеку інших.

Режим праці: тривалість робочого дня – 8 год; змінність роботи – однозмінна (без нічної зміни).

## ВИСНОВКИ

В магістерській кваліфікаційній роботі оцінюється підвищення ефективності енерговикористання в тепловій схемі водогрійної опалювальної котельні.

Основною метою роботи є підвищення ефективності енерговикористання енергії в тепловій схемі опалювальної водогрійної котельні. Це досягається за рахунок впровадження когенераційної теплонасосної установки на вторинних енергоресурсах в тепловій схемі котельні. Проведено аналітичний огляд літературної інформації щодо енергоефективної енергозбережної технології теплових насосів, було враховано світовий та європейський досвід.

Математичний опис систем з тепловими насосами закладений у модель для досліджень показників теплонасосних установок у відомих та широко застосовуваних програмних продуктах. Моделювання роботи теплових насосів здійснювалось в програмі HP FAT Calculator Programme-2023 (розробка Датського Технологічного Інституту). Виконано моделювання у програмі HP FAT для трьох режимів роботи схеми з теплонасосними установками у відповідності з режимними параметрами теплової схеми котельні. Екологічний вплив варіантів модернізації було оцінено в програмі компанії Treeze Ltd з оцінки життєвого циклу. Використано програми-калькулятори теплових насосів та різних джерел генерування теплової та електричної енергії, що дозволяють оцінити вплив на навколишнє середовище.

За результатами аналізу показників ефективності для базового та альтернативних варіантів схеми опалювальної котельні з тепловим насосом з використанням природних та промислових джерел низькотемпературної теплоти було 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.

Було обрано до проектування варіант модернізації теплової схеми опалювальної котельні з теплонасосною установкою на теплоти вторинних низькотемпературних енергоресурсів котельні. Передбачено встановлення теплових насосів марок IWWS 660ER2-1000 та IWWS 660ER2-3000, а також встановлення двох газопоршневих двигунів-генераторів марок ГДГА800 та 11ГД100М для забезпечення приводів теплових насосів та власних потреб котельні в електричній енергії. Ввиконанні розрахунки з розробки технології монтажу нового обладнання в тепловій схемі котельні. Загальна маса всіх вантажів становить  $\Sigma M_{\text{заг}} = 268249$  (кг), а маса теплонасосних установок, що встановлюються на котельні, становлять  $M_{\text{ТНУ}} = 13000$  кг та  $M_{\text{ТНУ}} = 22000$  кг відповідно. Загальна трудомісткість виконання робіт 998,64 люд.-год., загальна тривалість виконання робіт 164,4 доби.

В МКР було проведено розробку функціональної схеми автоматизації водогрійної котельні. Були розроблені системи автоматичного регулювання потужності котлів; САР співвідношення паливо-повітря; САР температури в подавальній магістралі на виході з котельні; САР температури сирієї води; САР температури в деаераторі; САР розрідження в деаераторі; САР підживлення.

Визначено основні величини техніко-економічних показників, складена кошторисна документація: локальний кошторис за допомогою кошторисної програми АВК. Загальна кошторисна вартість проведення робіт, враховуючи вартість матеріалів, становить 3389,832 тис. грн.

В розділі «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях» оцінено небезпечні виробничі фактори та розроблено технічні рішення з безпечної організації робочих місць під час монтажу обладнання.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Остапенко О. П., Яворський Б. І. Енергетична та екологічна ефективність варіантів підвищення ефективності енерговикористання в тепловій схемі водогрійної котельні // Наукове видання матеріалів Всеукраїнської науково-практичної Інтернет-конференції студентів, аспірантів та молодих науковців «МОЛОДЬ В НАУЦІ: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2024)». URL: [https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2024/sched\\_Conf/presentations](https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2024/sched_Conf/presentations). (Дата звертання 08.12.23).
2. Остапенко О. П., Яворський Б. І., Попроцький Я. С. Техніко-економічні показники застосування теплонасосної установки в тепловій схемі опалювальної водогрійної котельні // Матеріали ЛІІ науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 21-23 червня 2023 р. – 2023. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2023/> (Дата звертання 08.12.23).
3. European Heat Pump Market. URL: <https://www.rehva.eu/rehva-journal/chapter/european-heat-pumpmarket> (Дата звертання 08.12.23).
4. Heat pumps: Europe's buildings avoid more emissions than ever. URL: <https://www.ehpa.org/news-and-resources/press-releases/market-report-2023/> (Дата звертання 08.12.23).
5. 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 08.12.23).
6. Europe can meet REPowerEU heat pump target if barriers are tackled. URL: <https://www.ehpa.org/news-and-resources/press-releases/europe-to-add-over-43-million-heat-pumps-by-2030-providing-heat-to-half-its-buildings/> (Дата звертання 08.12.23).

7. 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 05.12.23).
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. Heat pumps gain traction as renewable energy grows URL: <https://www.scientificamerican.com/article/heat-pumpsgain-traction-as-renewable-energy-grows/> (Дата звертання 05.12.23).
10. Advances in heat pump systems: A review. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S030626191000228X> (Дата звертання 05.12.23).
11. The European Heat Pump Association (EHPA) <https://www.ehpa.org/about-heat-pumps/> (Дата звертання 05.12.23).
12. 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.
13. Ostapenko O. P. Scientific basis of evaluation energy efficiency of heat pump plants: monograph. Saarbrücken, LAP LAMBERT Academic Publishing, 2016. – 62 p.
14. 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.



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

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

17. HP FAT Calculator Programme-2023. URL: <https://www.dti.dk/specialists/heat-pumps-hp-fat/39679> (Дата звертання 08.12.23).

18. Програмний продукт компанії Treeze Ltd з оцінки життєвого циклу. URL: <https://treeze.ch/> (Дата звертання 08.12.23).

19. Калькулятор централізованого опалення. URL: [https://rechner.umweltchemie.ch/HTMLFernwaerme22\\_de\\_v4/Oekobilanzrechner\\_Fernwaerme\\_2022\\_deutsch\\_v4\\_UVEK2022.htm](https://rechner.umweltchemie.ch/HTMLFernwaerme22_de_v4/Oekobilanzrechner_Fernwaerme_2022_deutsch_v4_UVEK2022.htm) (Дата звертання 08.12.23).

20. Калькулятор теплового насосу. URL: [https://rechner.umweltchemie.ch/HTMLWaermerpumpen22\\_de\\_v5/Oekobilanzrechner\\_Waermerpumpen\\_2022\\_deutsch\\_v5\\_UVEK2022.htm](https://rechner.umweltchemie.ch/HTMLWaermerpumpen22_de_v5/Oekobilanzrechner_Waermerpumpen_2022_deutsch_v5_UVEK2022.htm) (Дата звертання 08.12.23).

21. Остапенко О. П. Високоєфективні системи енергозабезпечення з когенераційно-теплонасосними установками: енергетичний, економічний та екологічний аспекти ефективності. Енергоефективність та енергозбереження: економічний, технічний та агроєкологічний аспекти: колект. моногр. Полтава: ПП Астрія, 2019. С. 526 – 530.

22. Остапенко О. П., Попроцький Я. С., Кохан В. О. Аналіз енергоєкологічної ефективності ресурсоенергоефективних систем енергозабезпечення з когенераційно-теплонасосними установками на теплоті оборотного водопостачання. Збірник тез доповідей укладено за матеріалами доповідей ХХІХ Міжнародної науково-практичної інтернет - конференції «Весняні наукові читання – 2019». URL: [https://shron3.chtyvo.org.ua/Zbirnyk\\_statei/Vesniani\\_naukovi\\_chytannia\\_-\\_2019.pdf?PHPSESSID=ikq0mkffuti8p82ti5h35353e7](https://shron3.chtyvo.org.ua/Zbirnyk_statei/Vesniani_naukovi_chytannia_-_2019.pdf?PHPSESSID=ikq0mkffuti8p82ti5h35353e7). (Дата звертання 08.12.23).

23. 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.

24. Сайт «Автомобільний світ України». URL: [http://www.autosvit.com.ua/Iveco\\_techtruck\\_21.html](http://www.autosvit.com.ua/Iveco_techtruck_21.html). (Дата звертання 08.12.23).

25. Каталог кранів КС на спеціальному шасі. URL: <http://www.techstory.ru>. (Дата звертання 08.12.23).

26. Каталог зварювальних апаратів KIND. URL: <http://domsvarki.lg.ua>. (Дата звертання 08.12.23).

27. Каталог будівельних машин і інструментів. URL: <http://powertools.co.nz>. (Дата звертання 08.12.23).

28. Сайт фірми k-flex. URL: <http://www.k-flex.ua/index.php?hl=ru>. (Дата звертання 08.12.23).

29. ДБН Д.2.4-15-2000. Збірник 15. Внутрішні сантехнічні роботи. – К.: Держстандарт України, 2000. – 106 с.

30. ДБН Д.2.3-7-99. Збірник 7. Компресорні установки, насоси і вентилятори. – К.: Держстандарт України, 2000. – 47 с.

31. ДБН Д.2.3-6-99. Збірник 6. Теплосилове обладнання. – К.: Держстандарт України, 2000. – 165 с.

32. ДБН Д.2.2-18-99. Збірник 18. Опалення – внутрішнє пристосування. – К.: Держстандарт України, 1999. – 28 с.

33. ДБН Д.2.2-16-99. Збірник 16. Внутрішні трубопроводи. – К.: Держстандарт України, 1999. – 48 с.

34. ДБН Д.2.3-12-99. Збірник 12. Технологічні трубопроводи. – К.: Держстандарт України, 2000. – 200 с.

35. ДБН Д.2.2-26-1999. Збірник 26. Теплоізоляційні роботи. – К.: Держстандарт України, 2000. – 51 с.

36. Куценко О. С. Синтез автоматизованих систем управління теплоенергетичними установками. – Харків: НТУ «ХП», 2006. 55 с.

37. Котельні: ДБН В.2.5-77:2014. [Чинні від 01.01.2015] – К.: Мінрегіон України, 2015. – 65 с.
38. Автоматизація технологічних процесів. Зображення умовні приладів і засобів автоматизації в схемах: ДСТУ Б А.2.4-16:2008. - [Чинний від 2008 -06-27 № 271]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 14 с.
39. Siemens: продукція компанії. URL : <http://t-life.com.ua/catalog/inset/23>. (Дата звертання 08.12.23).
40. Вибір та розрахунок регулюючого органу. URL : <http://www.twirpx.com/file/370227/>. (Дата звертання 08.12.23).
41. Правила виконання робочої документації автоматизації технологічних процесів: ДСТУ Б.А.2.4-3-95. – [Чинний від 1995 -04-06 № 65]. – К.: Держкоммістобудування України, 1995. – 42 с.
42. Барало О.В., Самойленко П.Г. Автоматизація технологічних процесів і системи автоматичного керування: Навчальний посібник. – К.: Аграрна освіта, 2010. 557 с.
43. Гончаренко Б.М., Осадчий С.І., Віхрова Л.Г., Каліч В.М., Дідик О.К. Автоматизація виробничих процесів. – Кіровоград: Видавець – Лисенко В.Ф., 2016. 352 с.
44. Ладанюк А. П., Архангельська К. С., Власенко Л. О. Теорія автоматичного керування технологічними об'єктами: Навч. посіб. / – К.: НУХТ, 2014. – 274 с.
45. Синєглазов В.М., Сергєєв І.Ю. Автоматизація технологічних процесів: Навчальний посібник. – К.: НАУ, 2010. – 506 с.
46. ДСНіП «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». Наказ МОЗ № 248 від 08.04.2014. [Чинний від 2014-05-30]. URL: [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=58073](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=58073) (Дата звертання 08.12.23).
47. ДСТУ-Н Б А 3.2-1: 2007. Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних

матеріалів і виробів та їх використання в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва. [Чинний від 2007-12-01]. URL: <https://profidom.com.ua/a-3/a-3-2/824-dstu-n-b-a-3-2-12007-nastanova-shhodo-viznachenna-nebezpechnih-i-shkidlivih-faktoriv>(Дата звертання 08.12.23).

48. ДБН А.3.2-2-2009. ССБП. Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення. [Чинний від 2009-01-27]. Вид. офіц. К. : Мінрегіонбуд України, 2009. 116 с.

49. ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. [Чинний від 2017-04-01]. Вид. офіц. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 109 с.

50. НПАОП 40.1-1.32-01. (ДНАОП 0.00-1.32-01). Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. [Чинний від 2002-01-01]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0272203-01#Text>(Дата звертання 08.12.23).

51. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. Постанова МОЗ № 42 від 01.12.1999. [Чинний від 1999-12-01]. URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972> (Дата звертання 08.12.23).

52. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. К. : Мінрегіонбуд України, 2013. 149 с.

53. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. [Чинний від 2019-03-01]. Вид. офіц. К. : Мінрегіонбуд України, 2018. 133 с.

54. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. Постанова МОЗ № 37 від 01.12.1999. [Чинний від 1999-12-01]. URL: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html> (Дата звертання 08.12.23).

55. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації. Постанова МОЗ № 39 від 01.12.1999. [Чинний від 1999-12-01]. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va039282-99> (Дата звертання 08.12.23).

56. Кодекс цивільного захисту України. К.: ВР України, 2012. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/5403-17> (Дата звертання 08.12.23).

Додатки

## ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: Підвищення ефективності енерговикористання в тепловій схемі водогрійної опалювальної котельні

Тип роботи: магістерська кваліфікаційна робота  
(кваліфікаційна робота, курсовий проект (робота), реферат, аналітичний огляд, інше (вказати))

Підрозділ ФБЦЕІ, кафедра теплоенергетики  
(кафедра, факультет (інститут), навчальна група)

Науковий керівник доцент кафедри ТЕ Остапенко О.П.  
(прізвище, ініціали, посада)

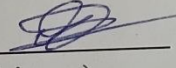
### Показники звіту подібності

| Plagiat.pl (StrikePlagiarism) |   | Unicheck       |      |
|-------------------------------|---|----------------|------|
| КП1                           |   | Оригінальність | 86,2 |
| КП2                           |   |                |      |
| Тривога/Білі знаки            | / | Схожість       | 13,8 |

### Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне)

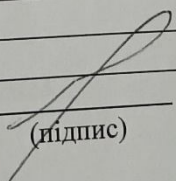
- Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
- Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її автора. Роботу направити на доопрацювання.
- Виявлені у роботі запозичення 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  Яворський Б.І.  
(підпис) (прізвище, ініціали)

### Опис прийнятого рішення

Допустити роботу Яворському Б.І. до захисту, як таку, що успішно пройшла перевірку на плагіат

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

Експерт \_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_  
(за потреби) (підпис) (прізвище, ініціали, посада)

Додаток Б  
(обов'язковий)

ЗАТВЕРДЖЕНО

Завідувач кафедри ТЕ

Дмитро СТЕПАНОВ

"27" 09 2023 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ  
до магістерської кваліфікаційної роботи

«ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕНЕРГОВИКОРИСТАННЯ В ТЕПЛОВІЙ  
СХЕМІ ВОДОГРІЙНОЇ ОПАЛЮВАЛЬНОЇ КОТЕЛЬНОЇ»

за спеціальністю  
144 – теплоенергетика  
08-15.МКР.009.00.00.000 ТЗ

Керівник магістерської  
кваліфікаційної роботи

к.т.н. доц. Остапенко О. П.

"27" 09 2023 р.

Розробив студент гр.ТЕ-23м

Яворський Б. І.

"27" 09 2023 р.

Вінниця 2023

## 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 №247 від 18.09.2023 р.

## 3 Мета та призначення розробки

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

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



#### 4 Джерела розробки

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

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

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

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

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

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

4.6 Остапенко О. П., Попроцький Я. С., Кохан В. О. Аналіз енергоекологічної ефективності ресурсоенергоєфективних систем енергозабезпечення з когенераційно-теплонасосними установками на теплоті оборотного водопостачання. Збірник тез доповідей укладено за матеріалами доповідей ХХІХ Міжнародної науково-практичної інтернет - конференції

«Весняні наукові читання – 2019». URL: [https://shron3.chtyvo.org.ua/Zbirnyk\\_statei/Vesniani\\_naukovi\\_chytannia\\_-\\_2019.pdf?PHPSESSID=ikq0mkffuti8p82ti5h35353e7](https://shron3.chtyvo.org.ua/Zbirnyk_statei/Vesniani_naukovi_chytannia_-_2019.pdf?PHPSESSID=ikq0mkffuti8p82ti5h35353e7). (Дата звертання 29.09.23).

4.7 Остапенко О. П., Яворський Б. І., Попроцький Я. С. Техніко-економічні показники застосування теплонасосної установки в тепловій схемі опалювальної водогрійної котельні // Матеріали ЛП науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 21-23 червня 2023 р. – 2023. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2023> (Дата звертання 29.09.23)

4.8 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 12,55 МВт; потужність системи гарячого водопостачання 5,16 МВт; температурний графік теплової мережі 95/70°C; паливо – природний газ; теплота згорання палива 34 МДж/м<sup>3</sup>.

## 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   | 25.09.2023 – 05.10.2023    |          |
| 2     | Оцінка варіантів з підвищення ефективності енерговикористання в тепловій схемі опалювальної котельні | 06.10.2023– 18.10.2023     |          |
| 3     | Розробка технології монтажу обладнання когенераційних теплонасосних установок                        | 19.10.2023 – 02.11.2023    |          |
| 4     | Автоматизація теплової схеми котельні.   | 03.11.2023 – 19.11.2023    |          |
| 5     | Техніко - економічні показники проектних рішень  | 20.11.2023 – 29.11.2023    |          |
| 6     | Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.   | 30.11.2023 – 07.12.2023    |          |
| 7     | Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу   | 30.11.2023 – 05.12.2023    |          |

Дата видачі завдання 27.09.2023 р.

Крайні терміни виконання 08.12.2023 р.

## 8 Порядок контролю та прийняття

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

## 9 Корегування технічного завдання допускається з дозволу керівника МКР.

Додаток В  
(довідковий)

## МОНТАЖ ОБЛАДНАННЯ КОГЕНЕРАЦІЙНОЇ ТЕПЛОНАСОСНОЇ УСТАНОВКИ

Аналіз об'єкта, який підлягає монтажу

Розробляється технологія монтажу системи опалення та гарячого водопостачання теплонасосної установки на базі котельні.

З попередніх розрахунків на котельні обрано встановлювати теплові насоси марки IWWS 660ER2-1000 та IWWS 660ER2-1000. Джерелом для роботи теплового насоса може бути будь-яка проточна вода з низькотемпературною теплою від +5 до + 40 °С.

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.

Витрати води у конденсаторі 129,98 кг/с та 37,28 кг/с. Встановлюємо три насоси (два робочих, один резервний) фірми CALPEDA марки N4 150-315B з подачею 450 м3/год., напором 0,16 МПа, ККД 75%, з потужністю електродвигуна 30 кВт.

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

Загальна маса становить:

$$\Sigma M_{\text{заг.}} = \Sigma M_{\text{осн.обл}} + \Sigma M_{\text{мат}} = 103418,45 + 164830,62 = 268249 \text{ (кг)}.$$

Визначення складу і об'єму робіт. Вибір типів машин, механізмів, пристосувань і конструкцій та визначення трудомісткості виконання монтажних робіт

Визначення складу і об'єму робіт.

Склад робіт:

1. Доставка деталей до місця монтажу.
2. Розмітка місць прокладання трубопроводу.
3. Монтаж теплового насоса марки IWWS 660ER2-1000.
4. Монтаж теплового насоса марки IWWS 660ER2-3000.
5. Монтаж газопоршневого двигуна-генератора марки ГДГА800.
6. Монтаж газопоршневого двигуна-генератора марки 11ГД100М.

7. Монтаж КТАН-утилізатора марки КТАН-2,3УГ.
8. Прокладання трубопроводів діаметром 325 мм.
9. Прокладання трубопроводів діаметром 273 мм.
10. Прокладання трубопроводів діаметром 219 мм.
11. Прокладання трубопроводів діаметром 159 мм.
12. Прокладання трубопроводів діаметром 133 мм.
13. Прокладання трубопроводів діаметром 108 мм.
14. Встановлення запірно-регулюючої арматури  $\varnothing$  325 мм.
15. Встановлення запірно-регулюючої арматури  $\varnothing$  273 мм.
16. Встановлення запірно-регулюючої арматури  $\varnothing$  219 мм.
17. Встановлення запірно-регулюючої арматури  $\varnothing$  159 мм.
18. Встановлення запірно-регулюючої арматури  $\varnothing$  133 мм.
19. Встановлення запірно-регулюючої арматури  $\varnothing$  108 мм.
20. Встановлення зворотнього клапана  $\varnothing$  325 мм.
21. Встановлення зворотнього клапана  $\varnothing$  273 мм.
22. Встановлення зворотнього клапана  $\varnothing$  219 мм.
23. Встановлення зворотнього клапана  $\varnothing$  159 мм.
24. Встановлення зворотнього клапана  $\varnothing$  133 мм.
25. Встановлення зворотнього клапана  $\varnothing$  108 мм.
26. Монтаж циркуляційних насосів марки GLONG GHE-150-125-18,5.
27. Монтаж циркуляційних насосів марки CALPEDA N4-150-315B.
28. Випробування трубопроводів.
29. Ізоляція трубопроводів діаметром 325 мм.
30. Ізоляція трубопроводів діаметром 273 мм.
31. Ізоляція трубопроводів діаметром 219 мм.
32. Ізоляція трубопроводів діаметром 159 мм.
33. Ізоляція трубопроводів діаметром 133 мм.
34. Ізоляція трубопроводів діаметром 108 мм.
35. Кінцева перевірка системи і здача в експлуатацію.

Об'єм робіт:

1. Доставка деталей до місця монтажу. Одиниці вимірювання в тонах. Загальна вага усіх деталей 268249 кг (268,2 т). Приймаємо об'єм  $V=268,2$  т.
2. Розмітка місць прокладання трубопроводу. Одиниці вимірювання 100 м. Довжина всієї мережі трубопроводу складає  $L=284,74$  м. Приймаємо  $V = 2,85$  м.
3. Монтаж теплового насосу марки IWWS 660ER2-1000. Одиниці вимірювання в штуках. Отже, приймаємо  $V=1$  шт.

4. Монтаж теплового насосу марки IWWS 660ER2-3000. Одиниці вимірювання в штуках. Отже, приймаємо  $V=1$  шт.
5. Монтаж газопоршневого двигуна-генератора марки ГДГА800. Одиниці вимірювання в тоннах. Отже, приймаємо  $V=22$  т.
6. Монтаж газопоршневого двигуна-генератора марки 11ГД100М. Одиниці вимірювання в тоннах. Отже, приймаємо  $V=28,3$  т.
7. Монтаж КТАН-утилізатора марки КТАН-1,5УГ. Одиниці вимірювання в тоннах. Отже, приймаємо  $V=3,236$  т.
8. Прокладання трубопроводів діаметром 325 мм. Одиниці вимірювання 100 м. Довжина труб з діаметром 325 мм складає 22,59 м, отже, приймаємо  $V=0,2259$  м.
9. Прокладання трубопроводів діаметром 273 мм. Одиниці вимірювання 100 м. Довжина труб з діаметром 273 мм складає 135,94 м, отже, приймаємо  $V=1,3594$  м.
10. Прокладання трубопроводів діаметром 219 мм. Одиниці вимірювання 100 м. Довжина труб з діаметром 219 мм складає 69,5 м, отже, приймаємо  $V=0,695$  м.
11. Прокладання трубопроводів діаметром 159 мм. Одиниці вимірювання 100 м. Довжина труб з діаметром 159 мм складає 21,42 м, отже, приймаємо  $V=0,2142$  м.
12. Прокладання трубопроводів діаметром 133 мм. Одиниці вимірювання 100 м. Довжина труб з діаметром 273 мм складає 26,94 м, отже, приймаємо  $V=0,2694$  м.
13. Прокладання трубопроводів діаметром 108 мм. Одиниці вимірювання 100 м. Довжина труб з діаметром 108 мм складає 8,35 м, отже, приймаємо  $V=0,0835$  м.
14. Встановлення запірно-регулюючої арматури  $\varnothing$  325 мм. Одиниці вимірювання 10 шт. Кількість 5 шт. Отже, об'єм становить  $V=0,5$ .
15. Встановлення запірно-регулюючої арматури  $\varnothing$  273 мм. Одиниці вимірювання 10 шт. Кількість 2 шт. Отже, об'єм становить  $V=0,2$ .
16. Встановлення запірно-регулюючої арматури  $\varnothing$  219 мм. Одиниці вимірювання 10 шт. Кількість 2 шт. Отже, об'єм становить  $V=0,2$ .
17. Встановлення запірно-регулюючої арматури  $\varnothing$  159 мм. Одиниці вимірювання 10 шт. Кількість 5 шт. Отже, об'єм становить  $V=0,5$ .
18. Встановлення запірно-регулюючої арматури  $\varnothing$  133 мм. Одиниці вимірювання 10 шт. Кількість 2 шт. Отже, об'єм становить  $V=0,2$ .
19. Встановлення запірно-регулюючої арматури  $\varnothing$  108 мм. Одиниці вимірювання 10 шт. Кількість 2 шт. Отже, об'єм становить  $V=0,2$ .
20. Встановлення зворотнього клапана  $\varnothing$  325 мм. Одиниці вимірювання 10 шт. Кількість 1 шт. Отже, об'єм становить  $V=0,1$ .
21. Встановлення зворотнього клапана  $\varnothing$  273 мм. Одиниці вимірювання 10 шт. Кількість 1 шт. Отже, об'єм становить  $V=0,1$ .

22. Встановлення зворотнього клапана  $\varnothing$  219 мм. Одиниці вимірювання 10 шт. Кількість 1 шт. Отже, об'єм становить  $V=0,1$ .
23. Встановлення зворотнього клапана  $\varnothing$  159 мм. Одиниці вимірювання 10 шт. Кількість 1 шт. Отже, об'єм становить  $V=0,1$ .
24. Встановлення зворотнього клапана  $\varnothing$  133 мм. Одиниці вимірювання 10 шт. Кількість 1 шт. Отже, об'єм становить  $V=0,1$ .
25. Встановлення зворотнього клапана  $\varnothing$  108 мм. Одиниці вимірювання 10 шт. Кількість 1 шт. Отже, об'єм становить  $V=0,1$ .
26. Монтаж циркуляційних насосів марки GLONG GHE-150-125-18,5. Одиниці вимірювання в штуках. Отже, приймаємо  $V=3$  шт.
27. Монтаж циркуляційних насосів марки CALPEDA N4-150-315B. Одиниці вимірювання в штуках. Отже, приймаємо  $V=3$  шт.
28. Випробування трубопроводів. Одиниці вимірювання 100 м. Об'єм приймається як загальна довжина зворотних та подавальних трубопроводів і становить  $V=2,85$  м.
29. Ізоляція трубопроводів діаметром 325 мм. Одиниця виміру 10 м. Загальна довжина трубопроводів, які ізолюють 22,59 м.  $V = 2,259$  м.
30. Ізоляція трубопроводів діаметром 273 мм. Одиниця виміру 10 м. Загальна довжина трубопроводів, які ізолюють 135,94 м.  $V = 13,594$  м.
31. Ізоляція трубопроводів діаметром 219 мм. Одиниця виміру 10 м. Загальна довжина трубопроводів, які ізолюють 69,5 м.  $V = 6,95$  м.
32. Ізоляція трубопроводів діаметром 159 мм. Одиниця виміру 10 м. Загальна довжина трубопроводів, які ізолюють 21,42 м.  $V = 2,142$  м.
33. Ізоляція трубопроводів діаметром 133 мм. Одиниця виміру 10 м. Загальна довжина трубопроводів, які ізолюють 26,94 м.  $V = 2,694$  м.
34. Ізоляція трубопроводів діаметром 108 мм. Одиниця виміру 10 м. Загальна довжина трубопроводів, які ізолюють 8,35 м.  $V = 0,835$  м.
35. Кінцева перевірка системи і здача в експлуатацію. Одиниці вимірювання в метрах. Загальна довжина зворотних та подавальних трубопроводів становить: 284,74 м. Отже,  $V= 284,74$  м.

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

Доставка деталей до місць монтажу та їх складування. Четверо робітників, два водія.

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

Монтаж теплового насосу 1000. 10 монтажників 7, 4, 3 розряду.

Монтаж теплового насосу 3000. 10 монтажників 7, 4, 3 розряду.

Монтаж двигуна-генератора ГДГА800. 10 монтажників 7, 4, 3 розряду.

Монтаж двигуна-генератора 11ГД100М. 10 монтажників 7, 4, 3 розряду.

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

Прокладання водогазопровідних трубопроводів діаметром 325 мм. Двоє електрозварників 6, 5 розряду, один слюсара-сантехніка 4 розряду.

Прокладання водогазопровідних трубопроводів діаметром 273 мм. Двоє електрозварників 6, 5 розряду, один слюсара-сантехніка 4 розряду.

Прокладання водогазопровідних трубопроводів діаметром 219 мм. Двоє електрозварників 6, 5 розряду, один слюсара-сантехніка 4 розряду.

Прокладання водогазопровідних трубопроводів діаметром 159 мм. Двоє електрозварників 6, 5 розряду, один слюсар-сантехнік 4 розряду.

Прокладання водогазопровідних трубопроводів діаметром 133 мм. Двоє електрозварників 6, 5 розряду, один слюсара-сантехніка 4 розряду.

Прокладання водогазопровідних трубопроводів діаметром 108 мм. Двоє електрозварників 6, 5 розряду, один слюсара-сантехніка 4 розряду.

Встановлення запірної арматури  $\varnothing$  325 мм. Три монтажника 5, 4, 3 розряду.

Встановлення запірної арматури  $\varnothing$  273 мм. Три монтажника 5, 4, 3 розряду.

Встановлення запірної арматури  $\varnothing$  219 мм. Три монтажника 5, 4, 3 розряду.

Встановлення запірної арматури  $\varnothing$  159 мм. Три монтажника 5, 4, 3 розряду.

Встановлення запірної арматури  $\varnothing$  133 мм. Три монтажника 5, 4, 3 розряду.

Встановлення запірної арматури  $\varnothing$  108 мм. Три монтажника 5, 4, 3 розряду.

Встановлення зворотнього клапана  $\varnothing$  325 мм. Три монтажника 5, 4, 3 розряду.

Встановлення зворотнього клапана  $\varnothing$  273 мм. Три монтажника 5, 4, 3 розряду.

Встановлення зворотнього клапана  $\varnothing$  219 мм. Три монтажника 5, 4, 3 розряду.

Встановлення зворотнього клапана  $\varnothing$  159 мм. Три монтажника 5, 4, 3 розряду.

Встановлення зворотнього клапана  $\varnothing$  133 мм. Три монтажника 5, 4, 3 розряду.

Встановлення зворотнього клапана  $\varnothing$  108 мм. Три монтажника 5, 4, 3 розряду.

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

Ізоляція трубопроводів діаметром 325 мм. Чотири слюсара 4, 2 розряду.

Ізоляція трубопроводів діаметром 273 мм. Чотири слюсара 4, 2 розряду.

Ізоляція трубопроводів діаметром 219 мм. Чотири слюсара 4, 2 розряду.

Ізоляція трубопроводів діаметром 159 мм. Чотири слюсара 4, 2 розряду.

Ізоляція трубопроводів діаметром 133 мм. Чотири слюсара 4, 2 розряду.

Ізоляція трубопроводів діаметром 108 мм. Чотири слюсара 4, 2 розряду.

Монтаж циркуляційного насоса GLONG GHE-150-125-18,5. Чотири монтажника 4, 3 розряду.

Монтаж циркуляційного насоса CALPEDA N4-150-315B. Чотири монтажника 4, 3 розряду.

Кінцева перевірка системи і здача в експлуатацію. Два слюсара-сантехніка 5, 3 розряду.



## Висновок

Представлено аналіз об'єкту який підлягає монтажу, розроблено монтажну схему когенераційної ТНУ з комунікаціями, компоновку обладнання і трубопроводів, склад робіт та трудомісткість виконання монтажних робіт, розроблено календарний план виконання робіт, графік руху робітників, машин та механізмів, визначені техніко-економічні показники календарного плану. Було виконано компоновку обладнання, схеми прокладення трубопроводів, враховані відомості по виконанню робіт, визначена трудоємкість монтажних робіт. Визначено необхідну кількість виробів та матеріалів для монтажу системи теплонасосної установки, потребу в допоміжних матеріалах, підібрані машин, механізми та пристосування для виконання монтажних робіт.

Так, загальна маса всіх вантажів становить  $\Sigma M_{\text{заг}} = 268249$  (кг), а маса теплонасосних установок, що встановлюються на котельні, становлять  $M_{\text{ТНУ}} = 13000$  кг та  $M_{\text{ТНУ}} = 22000$  кг відповідно.

Після проведення необхідних розрахунків розроблені календарний графік монтажу тепло насосної установки, графік руху робітників та графік руху машин та механізмів.

Загальна трудомісткість виконання робіт 998,64 люд.-год., загальна тривалість виконання робіт 164,4 доби.

Додаток Г  
(довідковий)

**АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕПЛОВОЇ СХЕМИ КОТЕЛЬНОЇ З  
КОГЕНЕРАЦІЙНОЮ ТЕПЛОНАСОСНОЮ УСТАНОВКОЮ**

Характеристика об'єкта автоматизації

Опис технологічного процесу

Водогрійна котельня (ВК) – енергетична установка, що забезпечує вироблення та відпущення теплової енергії у вигляді гарячої води з температурою від 60 °С до 150 °С для потреб теплофікації (опалення, гарячого водопостачання та вентиляції) житлових районів міст або окремих будинків та промислових підприємств, Потреби теплоти на вказані споживачі залежать від температури навколишнього повітря і мають свою закономірність зміни у відповідності до температури навколишнього середовища. Теплотехнологічна схема водогрійної котельні буде розглядатися по функціонально-локальним блокам. Локальний блок ВК є функціонально окресленою внутрішньо котельною системою, що виконує теплотехнологічні функції і які є складовою частиною ВК. Водогрійна котельня склюється з наступних функціонально окреслених блоків:

- блок водогрійних котлів;
- блок регулювання температури води в прямій магістралі;
- блок насосів теплової мережі;
- блок деаераційно-живильної установки;
- блок підігрівників підживлювальної води;
- блок насосів підживлення тепломережі;
- блок хімводоочищення.

На сьогодні в котельні встановлено наступне обладнання:

- котел водогрійний КВГ-6,5 – 3 шт;
- насос мережний 8К-12 – 3 шт;
- насос сирі води 2К-20-18, 1,5КМ-8/19 – 2 шт;
- рециркуляційний насос 2К-20-30 – 1 шт;
- деаератор вакуумний ДВ-5 – 1 шт;
- бак деаерованої води – 1 шт;
- підживлювальний насос 2КМ-20-30 2К20-18 – 2 шт;
- підігрівник сирі води – 1 шт;

- підігрівник хімічищеної води – 1 шт;
- хімічна водопідготовка – 1 шт.

Котельня постачає гарячу воду для потреб опалення і гарячого водопостачання. Установлена потужність котельні 23,7 МВт. Температурний графік котельні 115/70 °С, котли працюють на природному газі, розрахунковий ККД котлів 89%.

#### Характеристика технологічного обладнання

Основними елементами котла КВ-ГМ-6,5-150 є: трубна система, яка об'єднує топку і конвективну поверхню нагрівання, і газомазутний пальник.

Камера згоряння має горизонтальну компоновку, екранована трубами діаметром 60x3 мм з кроком  $S = 64$  мм, що входять в колектори діаметром 159x7 мм.

Конвективна поверхню нагріву, розташована в вертикальному, повністю екранованому газоході, складається з U-подібних ширм з труб діаметром 28x3 з кроком  $S_1 = 64$  мм,  $S_2 = 40$  мм.

Котел КВ-ГМ-6,5-150 обладнується одним газомазутним пальником, який встановлюється з фронту котла в панель під пальник на фронтальному екрані. Каркас у котлів КВ-ГМ-6,5-150 відсутній. Трубна система має опори, приварені до нижніх колекторів. Опори, розташовані на стику конвективного газоходу і камери згоряння, нерухомі. Котел КВ-ГМ-6,5-150 виконуються з полегшеної натрубної обмуровки.

Трубна система котла ГМ-6,5-150 поставляється одним транспортабельним блоком. Комплектуючі котла поставляються в зв'язках і ящиках. Можлива поставка «розсипом».

Деаератори вакуумні серії ДВ призначені для видалення корозійно-агресивних газів (кисню і вільної вуглекислоти) з живильної води водогрійних котлів і підживлювальної води систем теплопостачання в котельнях і на ТЕЦ. В якості теплоносія в них може використовуватися перегріта деаерована вода і пара. Деаератори виготовляються відповідно до вимог ГОСТ 16860 - 88. Основні технічні характеристики деаератора вакуумного ДВ-5: Деаератор – ДВ-5; продуктивність номінальна – 5 т / год; тиск робочий абсолютний – 0,0075-0,05 МПа; робоче середовище – вода, пара; температура деаерованої води – 40-80 °С;

тип охолоджувача випару – ОВВ-2; тип ежектора (РВС 0,02 МПа) – ЕВ-10; маса суха – 520 кг [3].

Обґрунтування вибору величин, які регулюються та каналів регулюючого впливу

Вибір величин, які регулюються

Експлуатаційними параметрами водогрійної котельні є:

- витрата палива в цілому на котельню, в т.ч. по кожному котлу окремо (параметр і контролюється і регулюється);
- температура води на вході в котли (параметр і контролюється і регулюється);
- температура води на виході з котлів (параметр і контролюється і регулюється);
- температура на в прямій магістралі на виході з котельні (параметр і контролюється і регулюється);
- температура на зворотній магістралі на вході в котельню (параметр тільки контролюється);
- витрата води в прямій магістралі виході з котельні (параметр і контролюється і регулюється);
- витрат води в зворотній магістралі на вході в котельню (параметр тільки контролюється);
- тиск в зворотній магістралі (параметр тільки контролюється);
- розрідження в деаераторі (параметр і контролюється і регулюється);
- температура в деаераторі (параметр і контролюється і регулюється);
- температура хімоочищеної води на вході в деаератор (параметр і контролюється і регулюється);
- температура сирі води на вході в котельню (параметр тільки контролюється);
- сила струму і мережних насосах (параметр і контролюється і регулюється);
- сила струму в рециркуляційних насосах (параметр і контролюється і регулюється).

Показниками енергетичної ефективності водогрійної котельні визначено три параметри, визначення яких здійснюється щодобово (щомісячно), а саме:

- ККД водогрійної котельні за відпущеною від котельною тепловою енергією;
- питома витрата умовного та реального палива на одиницю відпущеної від котельні одиницю теплової енергії, відповідно, кг у.п/Гкал, м<sup>3</sup> (кг)/Гкал;
- питома витрата електричної енергії на відпущену від водогрійної котельні одиницю теплової енергії, кВт.год/Гкал.

Проаналізувавши описану вище інформацію прийнято рішення з розробки наступних систем автоматизованого регулювання:

- САР потужності котлів;
- САР співвідношення паливо-повітря;
- САР температури в подавальній магістралі на виході з котельні;
- САР температури сирової води;
- САР температури в деаераторі;
- САР розрідження в деаераторі;
- САР підживлення.

#### САР потужності котлів

Оскільки на котельні встановлено 3 котли, а потужність споживача змінюється по певному тепловому графіку в залежності від температури навколишнього середовища. Тому використовуємо для регулювання потужності котлів і котельні 2 регулятора – ведучий, який буде аналізувати температуру повітря і води в подавальному трубопроводі і видавати сигнал для регуляторів потужності кожного котла рівномірно розподіляючи навантаження між ними. При чому переважний діапазон роботи котлів 80-100% потужності, тому можливий варіант почергового виключення одного з котлів і переведення його в «гарячий» резерв.

Регулювання потужності кожного котла виконується окремим регулятором по збудованих впливах температури і витрати води на виході з котла. Сигнал, який поступає з датчика температури (1-1) надходить на контролер (1-3), також контролер отримує корегуючі дані з датчиків витрати пари (1-2) та природного газу (1-4). Контролер порівнює сигнали та виробляє корегуючий сигнал, який надходить через вбудований в контролер частотний перетворювач на виконавчий

механізм засувки лінії живлення газом котла (1-5 і 1-6).

Регулятор потужності призначений для підтримання енергетичного балансу в котлоагрегаті. Показником балансу є температура води на виході з котла. Автоматичне регулювання будемо здійснювати за трьохімпульсною схемою (рис. Г.1).

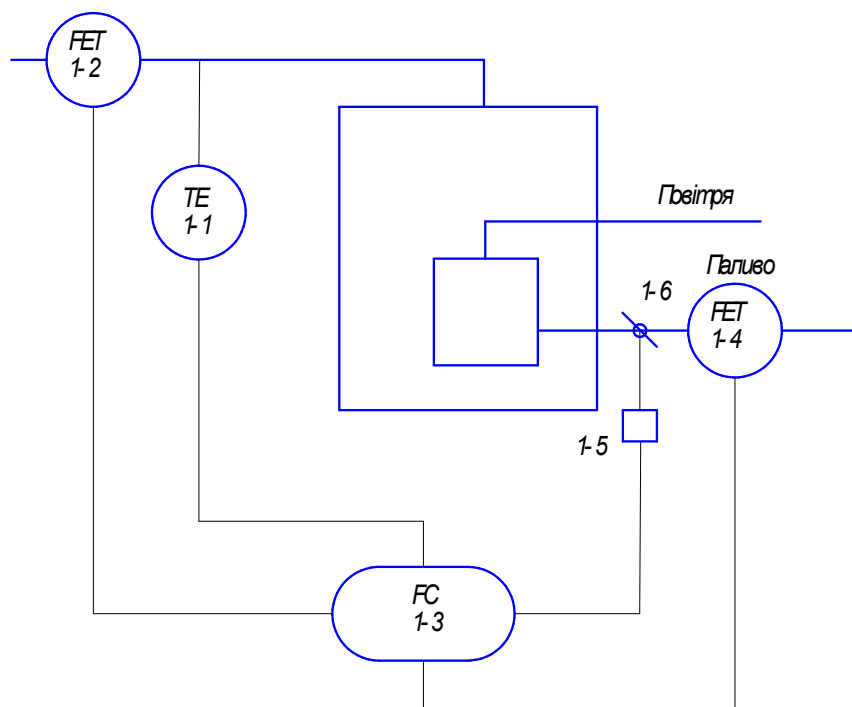


Рисунок Г.1 – Схема регулювання потужності котла

1-1 – датчик температури – термопара; 1-2, 1-4 – витратомір Siemens Mass MS1; 1-3 – програмований мікроконтролер SIEMENS Simatic S7-1200 CPU 1214; 1-6 – електропривід для регулюючого органу Siemens SQK33.00.

Дана схема є досить розповсюдженою і добре себе зарекомендувала за весь час експлуатації. Схема регулювання виконана на компонентах марки SIEMENS, сигнали з яких чітко узгоджуються між собою та забезпечують високу якість автоматизованого керування.

#### САР співвідношення палива і повітря

Після того, як змінилась витрата палива за рахунок дії сигналу контроллера у схемі на рис Г.1, необхідно підтримати співвідношення паливо-повітря для

якісного спалювання палива і підтримання максимального ККД котла. Контролер (2-4), сприймає інформацію від датчика витрати палива (2-1) та повітря (2-2), також сприймає сигнал від датчика концентрації (2-3) та виробляє сигнал для електроприводу вентилятора (2-5).

Схема представлена на рис. Г.2.

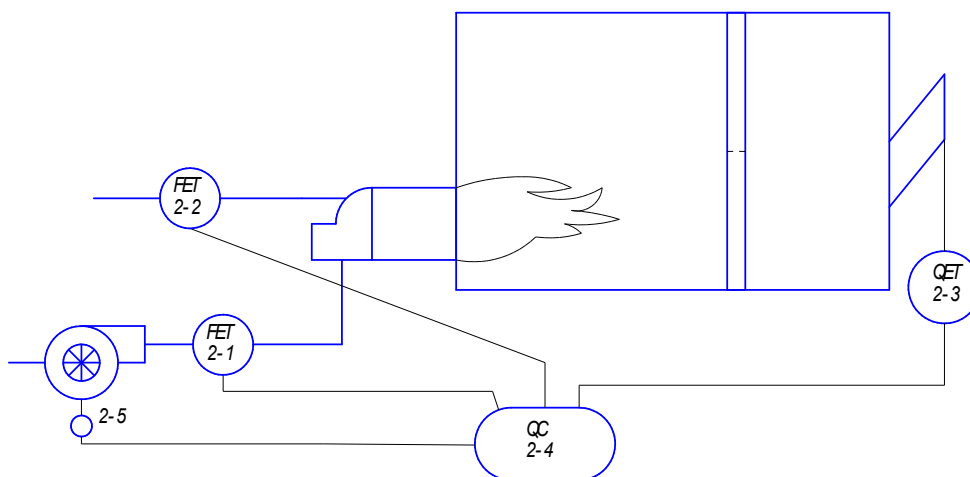


Рисунок Г.2 – Схема регулювання потужності котла

2-1, 2-2 – витратомір Siemens Mass MS1; 2-3 – датчик концентрації чадного газу Arduino MQ7; 2-4 – програмований мікроконтролер SIEMENS Simatic S7-1200 CPU 1214; 2-5 – виконавчий орган (частотний перетворювач) двигуна вентилятора.

Дана схема забезпечує надійну роботу котла при будь-якому зовнішньому чи внутрішньому збуренні.

### САР температури в подавальній магістралі на виході з котельні

Головною задачею роботи котельні є подача споживачам теплоносія з заданою температурою згідно температурного графіку. Регулювання будемо здійснювати шляхом перепускання води з лінії подачі на котел врізкою за насосом. Достатньо буде відкрити/закрити клапан на лінії перепуски і вода перетече за рахунок різниці тисків на лініях.

Вимірювання температури проводимо на головному колекторі подачі води в мережу та на лінії подачі води на котел, сигнали порівнюються, обраховуються і виробляється сигнал для міри відкриття засувки. Коректно буде також виміряти та додати до розрахунку витрати води на лінії перепуски та лінії подачі з котла.

Схема регулювання температури на в подавальній магістралі на виході з котельні показана на рис. Г.3.

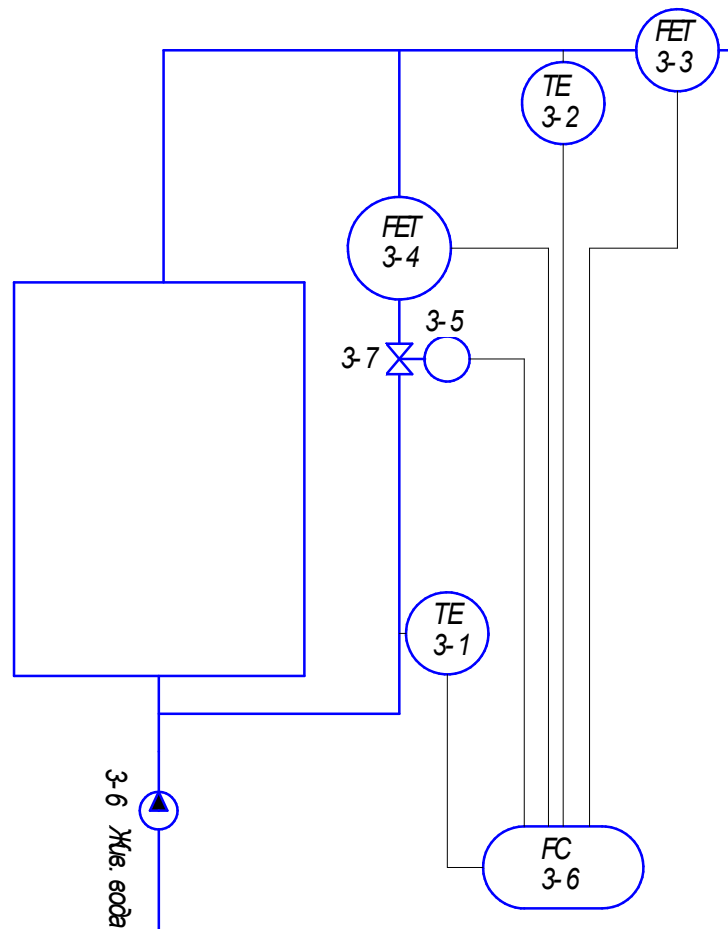


Рисунок. Г.3 – Схема регулювання температури на в подавальній магістралі

3-3, 3-4 – витратомір Siemens Mass MS1; 3-1, 3-2 – датчик температури; 3-6 – програмований мікроконтролер SIEMENS Simatic S7-1200 CPU 1214; 3-5 – частотний перетворювач Siemens Sinamics V20; 3-7 – клапан.

#### САР розрідження в деаeratorі

Сигнал із датчика розрідження в деаeratorі (4-1) надходить на регулятор (4-2), який виробляє сигнал впливу на електропривід насосу ежектора (4-5), за рахунок зміни витрати якого змінюється витрата води через ежектор і змінюється розрідження в деаeratorі. Також регулятор (1-2) має ручне керування (1-3). На щит виводиться також світловий ідентифікатор положення засувки подачі пари (1-7).



Регулювання розрідження в деаераторі виконується за одноімпульсною схемою. Імпульсом є розрідження в деаераторі. Схема регулювання представлена на рис. Г.4.

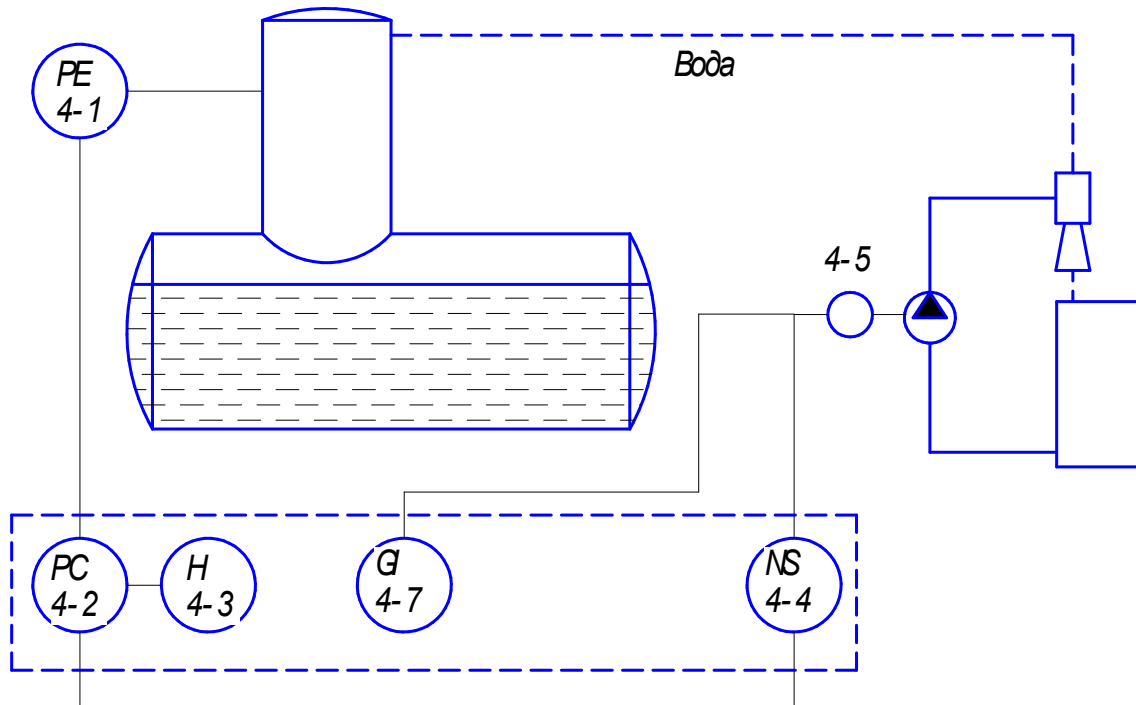


Рисунок Г.4 – Схема регулювання розрідження в деаераторі

- 4-1 – датчик розрідження BD Sensors DMP 331, діапазон -1...0 бар;
- 4-2 – програмований мікроконтролер SIEMENS Simatic S7-1200 CPU 1214;
- 4-3 – режим ручного керування; 4-4 – частотний перетворювач (вбудований); 4-5 – електропривід для насосу Siemens SQK33.00;
- 4-6 – регулюючий орган; 4-7 – індикатор положення регулюючого органу.

Дана схема досить розповсюджена через високу надійність і оптимальне число складових елементів системи регулювання.

#### САР підживлення теплової схеми

В якості регулятора підживлення системи використаємо двоімпульсну схему, впливом в якій буде зміна витрати води на виході з котла. Корегуючим впливом буде рівень води в баку деаератора. Система автоматичного регулювання підживлення представлена на рис. Г.5.

Контролер (5-3) сприймає сигнали від датчика витрати води (5-1) та датчика рівня води в баку деаератора (5-2), далі виробляє керуючий сигнал для електропривода живильного насосу (5-4).

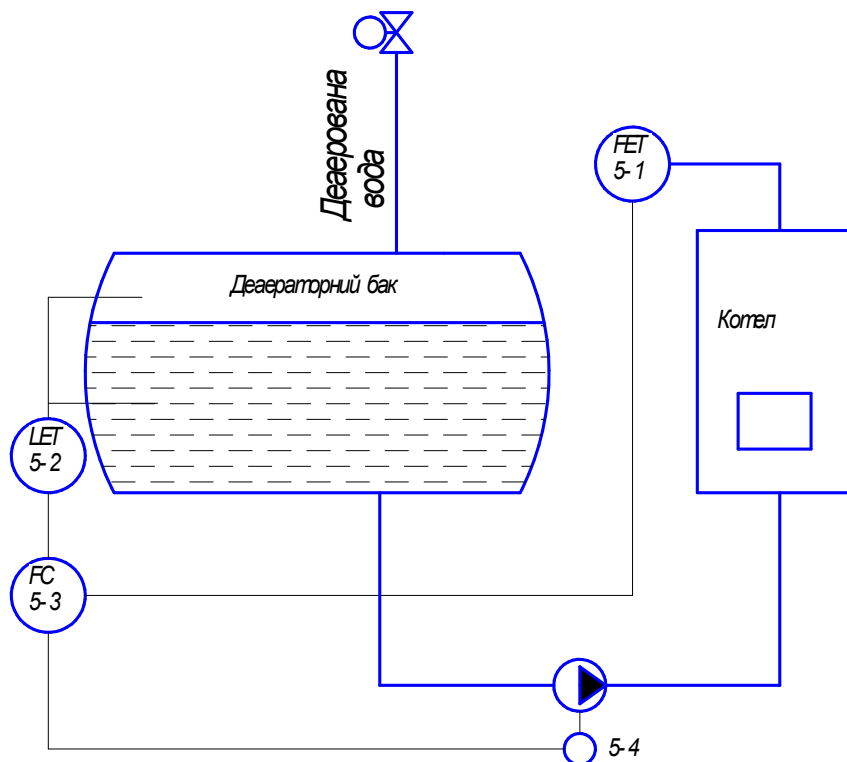


Рисунок Г.5 – Схема САР підживлення

5-1 – витратомір Siemens Mass MS1; 2-2 – датчик рівня Siemens Pointek CLS 200; 5-3 – програмований мікроконтролер SIEMENS Simatic S7-1200 CPU 1214; 2-4 – електропривід для регулюючого органу Siemens SQK33.00.

Вся система організована на датчиках та контролерах марки SIEMENS. Основним процесорним комплексом є SIEMENS Simatic S7-1200 CPU 1214. Система технологічного контролю та сигналізації також виконана за допомогою заданого контролера.

Одночасно проводиться контроль рівня води в баку деаерованої води за допомогою датчиків рівня. За умов критичного рівня води в баку контролер видає повідомлення.

### САР температури в деаераторі

Для того щоб відбувався процес деаерації необхідно підтримувати задану температуру води в деаераторі. Вода підігрівається гарячою водою з мережі, яка надходить на змієвиковий теплообмінник розміщений в порожнині деаератора.

Схема представлена на рис. Г.6.

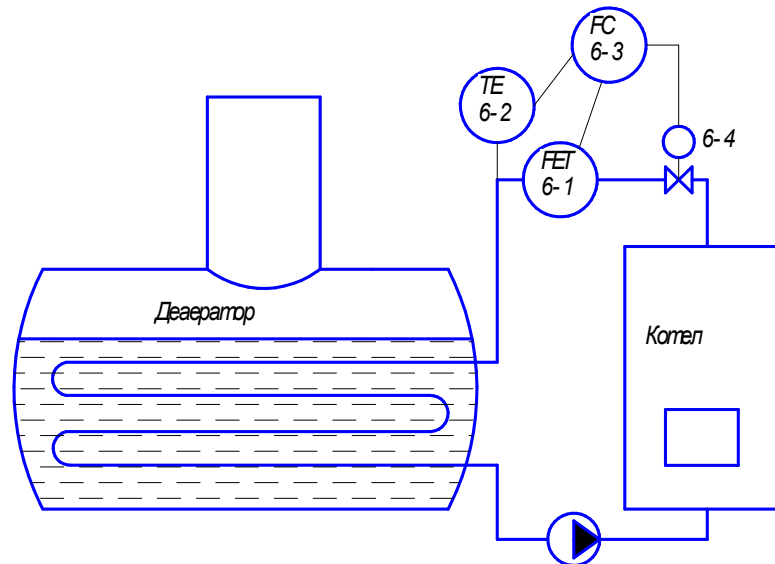


Рисунок Г.6 – Схема САР температури в деаераторі

6-1 – витратомір Siemens Mass MS1; 6-2 – датчик температури; 6-3 – програмований мікроконтролер SIEMENS Simatic S7-1200 CPU 1214; 6-4 – електропривід для регулюючого органу Siemens SQK33.00.

В даній схемі заміряється температура в ємності, вимірюється тиск розрідження і розраховується витрата води через змієвик для реалізації оптимального процесу випаровування газів з води.

### Засоби автоматизації

Для каскадного управління котлами використаємо спеціальний контролер SIEMENS RMK770. Модульний контролер, призначений для управління до 6 котлів, підтримання їх температурних режимів, управління первинним контуром і контуром опалення; є 18 готових додатків для багатокотельних установок. Управляється за допомогою меню і забезпечується пультом оператора (знімним

або окремим). Можливе підключення по шині Koppex для забезпечення робочих режимів і обробки інформації.

Для інших задач регулювання використовуємо контролер S7-1200. Програмований контролер S7-1200 здатний вирішувати логічні завдання, завдання автоматичного регулювання та управління переміщенням, виконувати математичну обробку інформації. Він має широкі функціональні можливості, відрізняється відносно невисокою вартістю і може використовуватися у всіх секторах промислового виробництва, а також в системах автоматизації будівель.

Компактне модульне виконання в поєднанні з високою обчислювальною потужністю дозволяють використовувати S7-1200 для вирішення широкого кола завдань автоматизації. Цей спектр завдань простягається від заміни найпростіших релейно-контактних схем до побудови комплексних розподілених структур автоматизації, які використовують інтенсивний мережевий обмін даними.

Витратоміри масові SITRANS F C MASSFLO. Принцип вимірювання MASSFLO заснований на виникненні фазового зсуву частоти коливань вимірювальної ділянки, в результаті впливу сили Коріоліса, що дозволяє проводити прямі вимірювання масової витрати, щільності, градусів Брикса, а також обчислювати об'ємний витрата рідин або газів. Масові витратоміри знайшли широке застосування в нафтохімічній і харчовій промисловості за рахунок високої точності вимірювань і можливості управління системами дозування.

Тип вимірюваного середовища - будь-яка рідина або газ з густиною до 2900 кг / м<sup>3</sup> і витратою від 0.02 кг / год до 510 000 кг / год.

Частотний перетворювач Siemens Sinamics V20 - 4 кВт (6SL3210-5BE24-0UV0).

Компактний перетворювач частоти SINAMICS V20 це просте і економічно ефективне рішення. Відмінними рисами SINAMICS V20 є просте і швидке введення в експлуатацію, простота управління і висока надійність.

Технічні дані

Серія: SINAMICS V20.

sku: 6SL3210-5BE24-0UV0.

Потужність: 4.00 кВт.

Число фаз / напруга на вході: 3-ф / 380 (трифазне 380в) В.

Число фаз / напруга на виході: 3-ф / 380 В.

$M_{\max}$  (1 min)%: 150.

Струм номінальний: 8.8 А.

Струм в перебігу 1 хвилини: 13.2 А.

Струм максимальний протягом 2 з: А.

Вбудований регулятор: ПД.

Скалярний режим управління: є.

Векторний режим керування без енкодера: є.

Векторний режим керування з енкодером: є.

За вимірювання розрідження в деаераторі відповідає датчик DMP 331 (ДМП 331) – універсальний недорогий датчик тиску для різних галузей промисловості, пропорційно перетворює тиск робочого середовища в електричний сигнал. Завдяки різноманітності діапазону вимірювання датчик DMP 331 застосуємо для вирішення широкого кола завдань. Датчик розрахований на вимір абсолютного або надлишкового тиску – як статичного, так і динамічного. Діапазони тиску від 0.04 до 40 бар. Можливі спеціальні виконання. Корпус датчика виготовлений з нержавіючої сталі 1.4571 і 1.4435. Стандартне ущільнення – витон (FKM), існують інші варіанти ущільнення.

Величини, які підлягають контролю та сигналізації

Контроль та сигналізація

Контролюють всі ті параметри, знання поточних значень яких забезпечує пуск, налагодження та ведення технологічного процесу. До таких параметрів відносять регульовані величини, нерегульовані внутрішні параметри, вхідні і вихідні параметри, при зміні яких в об'єкт можуть надходити впливи, всі параметри, зміна яких може привести до аварії або порушення технологічного процесу.

Контролюють:

- температуру прямої мережної води 115 °С;
- температуру живильної води 70 °С;
- температуру димових газів 200 °С (без економайзера);
- температуру димових газів 120 °С (з економайзером);
- тиск газу 0,08 МПа;
- тиск повітря 0,4 кПа;
- тиск живильної води 2 МПа;

- розрідження в топці 0,045 кПа;
- витрату палива max (газу) 800 м<sup>3</sup> / год;
- витрату живильної води (max) 144 т / год;
- рівень води баку деаерованої води
- вмісті CO і CH<sub>4</sub> в приміщенні.

Сигналізують:

- розрідження в топці;
- тиск газу;
- тиск повітря;
- рівень в деаераторі і баку
- вміст CO і CH<sub>4</sub> в приміщенні

Відповідно до Правил безпеки систем газорозподілу і газоспоживання передбачається ряд технологічних захистів і блокувань.

Захисти, які спричиняють зупинку котла

- згасання факела в топці;
- відключення димососа;
- відключення дуттьового вентилятора;
- пониження тиску газу;

Захисти, які діють на відключення подачі палива до котла або пальника

– не запалення або згасання факела пальника розпалювальної групи при розпалюванні котла.

- перевищення концентрації CO і CH<sub>4</sub>.

Технічні умови для виконання технологічних захистів

Захисти, які діють на зупинку котла.

– згасання факелу. Захист спрацьовує при відповідному сигналі з фотодатчика і спричиняє зупинку котла. Вводиться автоматично при початку розпалювання і виводиться при зупинці котла або спрацьовуванні захисту «Незапалення при розпалюванні»;

– відключення дуттьового вентилятора. Захист спрацьовує при відключенні вимикача електродвигуна дуттьового вентилятора і спричиняє зупинку котла. Вводиться автоматично при початку розпалювання і виводиться при зупинці котла або спрацьовуванні захисту «Незапалення при розпалюванні»;

– зниження тиску газу. Тиск контролюється регулюючим клапаном на загальному підводі газу до котла. На котлах, що працюють під наддувом, контролюється різниця тисків: газу за регулюючим клапаном на загальному підводі до котла і димових газів в топці;

– підвищення и зниження рівня. Зниження рівня в баку деаератора до 2,5 м вище середнього – захист спричиняє також відкриття клапанів прямої подачі хімоочищеної води на лінії живильної води.

#### Розрахунок регулюючого органу

Проведемо розрахунок клапану перепуску води з лінії живильної води до лінії подачі гарячої води в магістраль. Для цього наведемо методику розрахунку і після проведення розрахунків підберемо клапан.

#### Методика розрахунку регулюючого органу

1. Визначаємо швидкість рідини в трубопроводі, м/с :

$$W = \frac{4 \cdot F_{\max}}{3600 \cdot \pi \cdot d_{\text{вн}}^2}, \quad (\text{Г.1})$$

де  $F_{\max}$  – максимальна витрата рідини, м<sup>3</sup> / год ;

$d_{\text{вн}}$  – діаметр трубопроводу, м.

2. Визначаємо число Рейнольдса:

$$\text{Re} = \frac{W \cdot d_{\text{вн}}}{\nu}. \quad (\text{Г.2})$$

де  $\nu$  – кінематична в'язкість середовища, м<sup>2</sup>/с;

$w$  – швидкість середовища, м/с.

3. Визначаємо коефіцієнт тертя:

$$\lambda = \frac{0,303}{(\log \text{Re} - 0,9)^2}. \quad (\text{Г.3})$$

4. Визначаємо коефіцієнти опору:

крана  $\xi_1 = 3,5$ ;

зворотного клапана  $\xi_2 = 10$ ;

колiна  $\xi_3 = 1,2$ ;

$$\sum \xi = \xi_1 + \xi_2 + \xi_3. \quad (\Gamma.4)$$

5. Визначаємо втрату тиску в трубопроводі на тертя в місцевих опорах, Па:

$$\Delta P_{\text{втр}} = \left( \lambda \cdot \frac{L}{d_{\text{вн}}} + \sum \xi \right) \cdot \frac{\rho \cdot W^2}{2}, \quad (\Gamma.5)$$

де  $\lambda$  – коефіцієнт тертя;

$L$  – довжина трубопроводу, м;

$\sum \xi$  – сума коефіцієнтів місцевих опорів;

$\rho$  – густина середовища, що протікає по трубопроводу;

$W$  – швидкість потоку.

6. Визначаємо втрати тиску на переміщення рідини в висоту  $h$ , Па :

$$\Delta P_h = \rho \cdot g \cdot h. \quad (\Gamma.6)$$

7. Визначаємо перепад тиску на клапані, Па:

$$\Delta P_{\text{p.o}} = P_n - (P_k + \Delta P_{\text{втр}} + \Delta P_h). \quad (\Gamma.7)$$

8. Визначаємо пропускну здатність клапана при максимальному і мінімальному навантаженнях:

$$K_{\text{vl}} = 0,316 \cdot F_{\text{max}} \cdot \sqrt{\frac{\rho}{\Delta P_{\text{p.o}}}}. \quad (\Gamma.8)$$



$$K_{v2} = 0,316 \cdot F_{\min} \cdot \sqrt{\frac{\rho}{\Delta P_{p.o.}}} \quad (\text{Г.9})$$

9. Визначаємо умовну пропускну здатність регулюючого органу:

$$K_{vy} = K_{v1} \cdot n, \quad (\text{Г.10})$$

де  $n$  – коефіцієнт запасу, зазвичай приймається 1,2.

10. З таблиці обираємо найближчий коефіцієнт умовної пропускну здатності  $K_{vy.табл}$

11. Визначаємо ступінь відкриття клапана при максимальному і мінімальному навантаженнях:

$$\eta_1 = \frac{K_{v1}}{K_{vy.табл}} \cdot 100\%; \quad (\text{Г.11})$$

$$\eta_2 = \frac{K_{v2}}{K_{vy.табл}} \cdot 100\%. \quad (\text{Г.12})$$

Розрахунок клапану перепуску

Максимальна витрата  $F_{\max} = 15 \text{ м}^3 / \text{год}$ , мінімальна витрата  $F_{\min} = 1,4 \text{ м}^3 / \text{год}$ . Тиск у лінії  $P_k = 2,5 \text{ МПа}$ . Насос, що подає рідину, розвиває тиск  $P_n = 3 \text{ МПа}$ . Діаметр трубопроводу  $d_{\text{вн}} = 123 \text{ мм}$ .

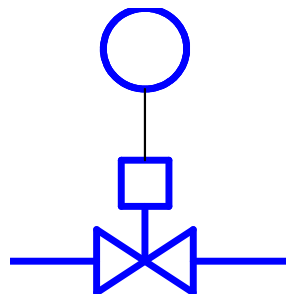


Рисунок Г.7 – Схема виконавчого пристрою

Швидкість рідини в трубопроводі

$$W = \frac{4 \cdot 15}{3600 \cdot 3,14 \cdot 0,123^2} = 0,35 \text{ (м/с)}.$$

Число Рейнольдса

$$Re = \frac{0,35 \cdot 0,05}{0,89 \cdot 10^{-6}} = 48371.$$

Коефіцієнт тертя

$$\lambda = \frac{0,303}{(\log 48371 - 0,9)^2} = 0,021.$$

Коефіцієнти опору

вентилля  $\xi_1 = 3,5$ ;

$$\sum \xi = 3,5 + 1 = 4,5.$$

Втрата тиску в трубопроводі на тертя об стінки і місцевих опорах

$$\Delta P_{\text{втр}} = \left( 0,021 \cdot \frac{5,5}{0,123} + 4,5 \right) \cdot \frac{990 \cdot 0,35^2}{2} = 330 \text{ (Па)}.$$

Втрата тиску на переміщення рідини в висоту  $h$

$$\Delta P_h = 9,81 \cdot 990 \cdot 8 = 77695 \text{ (Па)}.$$

Перепад тиску на клапані

$$\Delta P_{\text{р.о}} = 3000000 - (2500000 + 330 + 77695) = 421975.$$

Пропускна здатність клапана при максимальному і мінімальному навантаженнях:

$$K_{v1} = 0,316 \cdot 15 \cdot \sqrt{\frac{990}{42,2}} = 22,6,$$

$$K_{v2} = 0,316 \cdot 1,4 \cdot \sqrt{\frac{990}{42,2}} = 2,1.$$

Умовна пропускну здатність регулюючого органу

$$K_{vy} = 22,6 \cdot 1,2 = 27,2.$$

З таблиці обираємо найближчий коефіцієнт умовної пропускну здатності  $K_{vy, \text{табл}} = 33$

Ступінь відкриття клапана при максимальному і мінімальному навантаженнях

$$\eta_1 = \frac{27,2}{33} \cdot 100 = 82(\%);$$

$$\eta_2 = \frac{2,1 \cdot 1,2}{33} \cdot 100 = 8(\%).$$

Отже, для встановлення обираємо нормально відкритий клапан LDM RV300 DN125 з електроприводом Siemens SQK33.00 діаметром умовного проходу 125. Було проведено розробку функціональної схеми автоматизації водогрійної котельні. Були розроблені системи автоматичного регулювання потужності котлів; САР співвідношення паливо-повітря; САР температури в подавальній магістралі на виході з котельні; САР температури сирої води; САР температури в деаераторі; САР розрідження в деаераторі; САР підживлення. Була розроблена функціональна схема автоматики котельні на форматі А3, розроблена специфікація на засоби автоматизації. Підібрані основні регулятори та вимірювальні пристрої, які будуть здійснювати процеси регулювання в схемі.

Виконано розрахунок клапану перепуску води з лінії живильної води до лінії подачі гарячої води в магістраль.

Додаток Д  
(довідковий)

## ТЕХНІКО - ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ПРОЄКТНИХ РІШЕНЬ

### Д.1 Локальний кошторис об'єкту

Кошторисна документація до магістерської кваліфікаційної роботи складена у відповідності до КНУ Настанова з визначення вартості будівництва. (від 01.11.2021 зі змінами).

Локальні кошториси складаються в поточному рівні цін на трудові і матеріально-технічні ресурси. В локальному кошторисі визначено кошторисну вартість робіт, яка містить в собі прямі та загальновиробничі витрати.

Прямі витрати враховують заробітну плату робітників, вартість експлуатації будівельних машин і механізмів, вартість матеріалів, виробів і конструкцій. Загальновиробничі витрати будівельно-монтажної організації входять у виробничу собівартість будівельно-монтажних робіт. Для розрахунку загальновиробничі витрати групуються в три блоки:

- а) засоби на заробітну плату робітників;
- б) відрахування на соціальні заходи;
- в) інші статті загально - виробничих витрат.

Склад, об'єми робіт та необхідну кількість витратних матеріалів наведено у третьому розділі роботи. Основою для розробки кошторису є креслення та технічні розрахунки (розділ 2,3).

Кошторисна документація складена за допомогою програмного комплексу АВК.

Локальний кошторис на влаштування системи наведений в таблиці Д.1. Вартість робіт становить 2895.977 тис. грн.

**Таблиця Д.1 - Локальний кошторисний розрахунок на будівельні роботи № 1**

на \_\_\_\_\_ загально-будівельні роботи  
(найменування робіт та витрат, найменування будівлі, споруди, лінійного об'єкта інженерно-транспортної інфраструктури)

ОСНОВА:  
креслення(специфікації)№ \_\_\_\_\_

Кошторисна вартість 3389.832 тис. грн.  
Кошторисна трудомісткість 7.36801 тис. люд.-год  
Кошторисна заробітна плата 588.544 тис. грн.  
Середній розряд робіт 3.9 розряд

Складений в поточних цінах станом на 2023 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 |
| 1      | 2                          | 3                           | 4              | 5         | 6                      | 7                  | 8                       | 9                | 10                 | 11   | 12                            |
|        |                            |                             |                |           |                        |                    |                         |                  |                    |  |                               |

| 1 | 2          | 3   | 4                         | 5      | 6         | 7         | 8      |
|---|------------|---|---------------------------|--------|-----------|-----------|--------|
| 1 | КБ18-13-4  | Установлення теплового насосу марки IWWS 660ER2-1000    | 1 насос                   | 1.0    | 338579.67 | 732.28    | 338580 |
|   |            |   |                           |        | 3060.34   | 197.67    |        |
| 2 | КБ18-13-5  | Установлення теплового насосу марки IWWS 660ER2-3000    | 1 насос                   | 1.0    | 441987.86 | 831.24    | 441988 |
|   |            |   |                           |        | 3734.71   | 226.65    |        |
| 3 | КМ7-12-5   | Монтаж газопоршневого двигуна-генератора марки ГДГА800. | комплект                  | 1.0    | 852464.05 | 101521.88 | 852464 |
|   |            |   |                           |        | 170716.29 | 34519.22  |        |
| 4 | КМ7-12-3   | Монтаж газопоршневого двигуна-генератора марки 11ГД100М | комплект                  | 1.0    | 227007.35 | 70791.47  | 227007 |
|   |            |   |                           |        | 125594.61 | 24194.68  |        |
| 5 | КМ18-152-1 | Монтаж КТАН-утилізатора марки КТАН-1,5УГ                | шт                        | 1.0    | 167400.13 | 50757.31  | 167400 |
|   |            |   |                           |        | 38876.99  | 16745.73  |        |
| 6 | КБ16-10-10 | Прокладання трубопроводів діаметром 325 мм              | 100 м<br>трубопро<br>воду | 0.2259 | 284282.17 | 12804.85  | 64219  |
|   |            |   |                           |        | 28496.34  | 2818.90   |        |
| 7 | КБ16-10-9  | Прокладання трубопроводів діаметром 273 мм              | 100 м<br>трубопро<br>воду | 1.3594 | 288731.20 | 10856.33  | 392501 |
|   |            |   |                           |        | 24425.44  | 2352.83   |        |
| 8 | КБ16-10-7  | Прокладання трубопроводів діаметром 159 мм              | 100 м<br>трубопро<br>воду | 0.2142 | 171051.99 | 4453.49   | 36639  |
|   |            |   |                           |        | 12674.31  | 935.10    |        |

| 1  | 2         | 3  | 4                  | 5      | 6         | 7       | 8     |
|----|-----------|--|--------------------|--------|-----------|---------|-------|
| 9  | КБ16-10-6 | Прокладання трубопроводів діаметром 133 мм                   | 100 м трубопроводу | 0.2694 | 144110.21 | 4453.49 | 38823 |
|    |           |  |                    |        | 12674.31  | 935.10  |       |
| 10 | КБ16-10-5 | Прокладання трубопроводів діаметром 108 мм                   | 100 м трубопроводу | 0.0835 | 116195.09 | 3482.72 | 9702  |
|    |           |  |                    |        | 9179.08   | 697.50  |       |
| 11 | КБ16-15-9 | Установлення запірно-регулюючої арматури діаметром до 325 мм | шт                 | 5.0    | 15368.88  | 779.96  | 76844 |
|    |           |  |                    |        | 1715.02   | 184.94  |       |
| 12 | КБ16-15-7 | Установлення запірно-регулюючої арматури діаметром до 273 мм | шт                 | 2.0    | 13153.35  | 469.85  | 26307 |
|    |           |  |                    |        | 1183.21   | 108.37  |       |
| 13 | КБ16-15-6 | Установлення запірно-регулюючої арматури діаметром до 219 мм | шт                 | 2.0    | 10215.29  | 335.68  | 20431 |
|    |           |  |                    |        | 924.20    | 77.54   |       |
| 14 | КБ16-15-5 | Установлення запірно-регулюючої арматури діаметром до 159 мм | шт                 | 5.0    | 8651.36   | 215.92  | 43257 |
|    |           |  |                    |        | 711.76    | 49.17   |       |
| 15 | КБ16-15-4 | Установлення запірно-регулюючої арматури діаметром до 133 мм | шт                 | 2.0    | 7654.31   | 215.92  | 15309 |
|    |           |  |                    |        | 711.76    | 49.17   |       |

| 1  | 2         | 3   | 4       | 5   | 6        | 7      | 8      |
|----|-----------|---|---------|-----|----------|--------|--------|
| 16 | КБ16-15-3 | Установлення запірно-регулюючої арматури діаметром до 108 мм    | шт      | 2.0 | 5972.88  | 136.53 | 11946  |
|    |           |   |         |     | 312.94   | 29.87  |        |
| 17 | КБ16-15-9 | Установлення зворотнього клапана діаметром до 325 мм            | шт      | 1.0 | 11288.88 | 779.96 | 11289  |
|    |           |   |         |     | 1715.02  | 184.94 |        |
| 18 | КБ16-15-7 | Установлення зворотнього клапана діаметром до 273 мм            | шт      | 1.0 | 9379.35  | 469.85 | 9379   |
|    |           |   |         |     | 1183.21  | 108.37 |        |
| 19 | КБ16-15-6 | Установлення зворотнього клапана діаметром до 219 мм            | шт      | 1.0 | 8175.29  | 335.68 | 8175   |
|    |           |   |         |     | 924.20   | 77.54  |        |
| 20 | КБ16-15-5 | Установлення зворотнього клапана діаметром до 159 мм            | шт      | 1.0 | 6611.36  | 215.92 | 6611   |
|    |           |   |         |     | 711.76   | 49.17  |        |
| 21 | КБ16-15-4 | Установлення зворотнього клапана діаметром до 133 мм            | шт      | 1.0 | 5104.31  | 215.92 | 5104   |
|    |           |   |         |     | 711.76   | 49.17  |        |
| 22 | КБ16-15-3 | Установлення зворотнього клапана діаметром до 108 мм            | шт      | 1.0 | 3932.88  | 136.53 | 3933   |
|    |           |   |         |     | 312.94   | 29.87  |        |
| 23 | КБ18-13-1 | Установлення циркуляційних насосів марки GLONG GHE-150-125-18,5 | 1 насос | 3.0 | 42783.69 | 163.40 | 128351 |
|    |           |   |         |     | 1566.17  | 39.65  |        |
| 24 | КБ18-13-2 | Установлення циркуляційних насосів марки CALPEDA N4-150-315B    | 1 насос | 3.0 | 56718.95 | 288.91 | 170157 |
|    |           |   |         |     | 1963.59  | 73.47  |        |



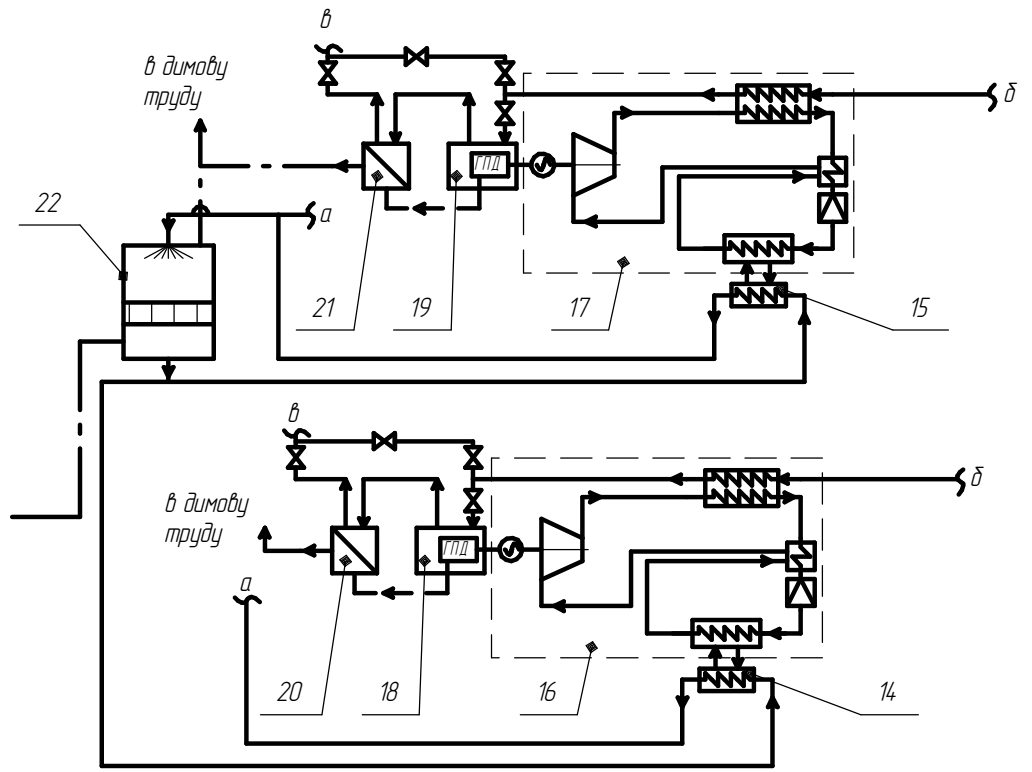
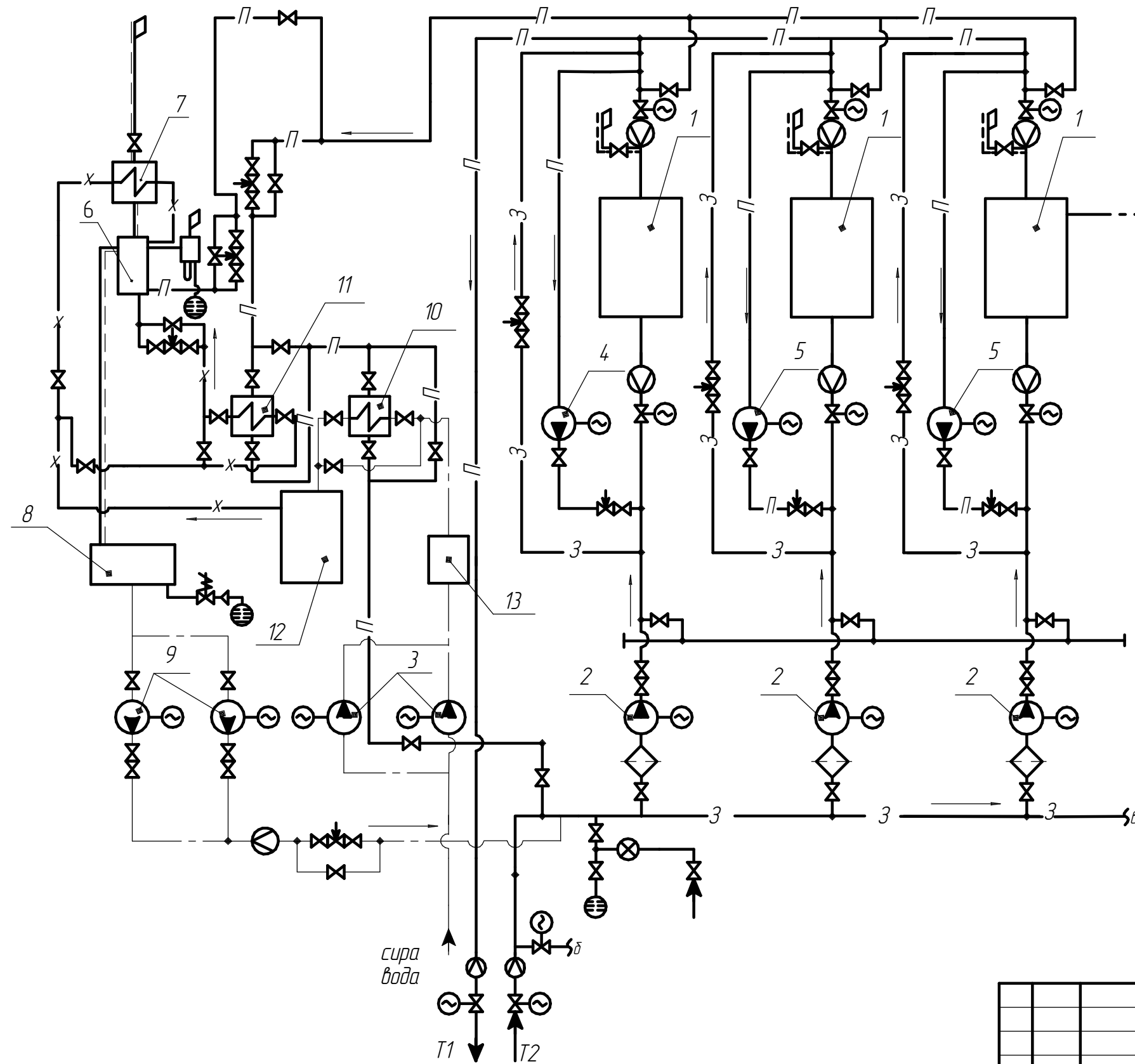
| 1  | 2         | 3  | 4                         | 5      | 6                  | 7               | 8       |
|----|-----------|--|---------------------------|--------|--------------------|-----------------|---------|
| 25 | КБ16-29-4 | Гідравлічне випробування трубопроводів   | 100 м<br>трубопро<br>воду | 2.85   | 2463.67<br>756.08  | 23.24<br>1.08   | 7021    |
| 26 | КБ26-1-7  | Ізоляція трубопроводів діаметром 325 мм [циліндрами][напівциліндрами][сегментами з пінопласту], товщина ізоляційного шару 40 мм            | 10м<br>трубопро<br>воду   | 2.259  | 4825.21<br>2038.03 | 143.24<br>40.47 | 10900   |
| 27 | КБ26-1-5  | Ізоляція трубопроводів діаметром від 159 до 273 мм [циліндрами][напівциліндрами][сегментами з пінопласту], товщина ізоляційного шару 40 мм | 10м<br>трубопро<br>воду   | 22.686 | 652.43<br>334.36   | 85.94<br>24.28  | 14801   |
| 28 | КБ26-1-3  | Ізоляція трубопроводів діаметром від 89 до 133 мм [циліндрами][напівциліндрами][сегментами з пінопласту], товщина ізоляційного шару 40 мм  | 10м<br>трубопро<br>воду   | 3.529  | 398.56<br>228.81   | 57.30<br>16.19  | 1407    |
|    |           | <b>Разом прямих витрат по кошторису</b>  |                           |        |                    |                 | 3140545 |
|    |           | Разом прямі витрати  |                           |        |                    | грн.            | 3140545 |
|    |           | в тому числі:  |                           |        |                    |                 |         |
|    |           | вартість матеріалів, виробів і комплектів  |                           |        |                    | грн.            | 2444249 |

| 1 | 2 | 3   | 4 | 5 | 6 | 7     | 8       | 9      | 10 | 11 | 12      |
|---|---|---|---|---|---|-------|---------|--------|----|----|---------|
|   |   | вартість ЕММ                                  |   |   |   | грн.  | 258079  |        |    |    |         |
|   |   | в т.ч. заробітна плата в ЕММ                  |   |   |   | грн.  |         | 83471  |    |    |         |
|   |   | заробітна плата робітників                    |   |   |   | грн.  |         | 438217 |    |    |         |
|   |   | всього заробітна плата                        |   |   |   | грн.  |         | 521688 |    |    |         |
|   |   | Загальновиробничі витрати                     |   |   |   | грн.  | 249287  |        |    |    |         |
|   |   | трудоємність в загальновиробничих витратах    |   |   |   | люд-г |         |        |    |    | 567.15  |
|   |   | заробітна плата в загальновиробничих витратах |   |   |   | грн.  |         | 66856  |    |    |         |
|   |   | <b>Всього по кошторису</b>                    |   |   |   | грн.  | 3389832 |        |    |    |         |
|   |   | Кошторисна трудоємність                       |   |   |   | люд-г |         |        |    |    | 7368.01 |
|   |   | Кошторисна заробітна плата                    |   |   |   | грн.  |         | 588544 |    |    |         |

Додаток Е

**ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА**





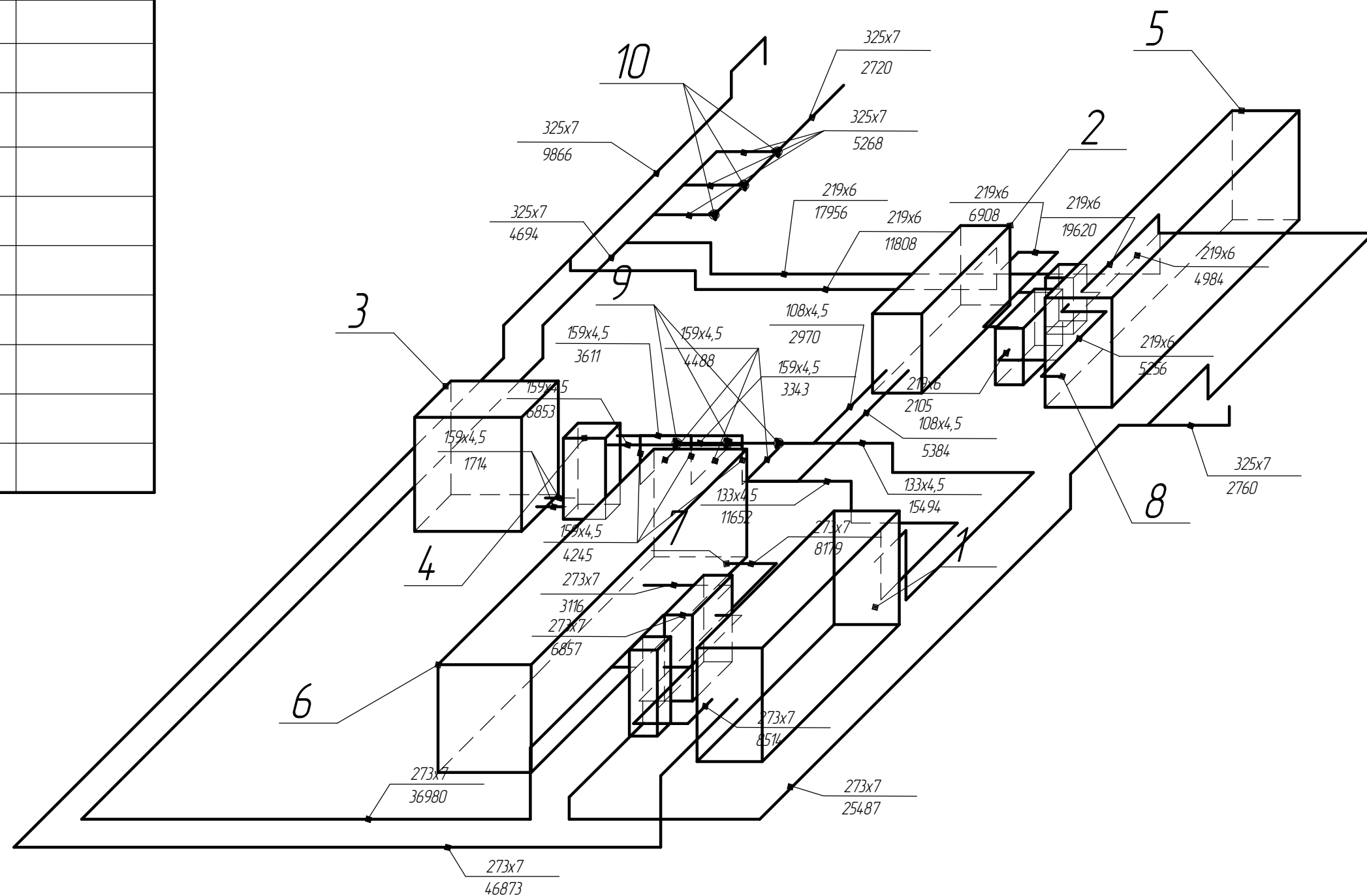
Умовні позначення

- сира вода
- П- трубопровід прямої мережної води
- З- трубопровід зворотної мережної води
- ⇒ напрям руху середовища
- ⊙ регулятор температури
- ⊗ лічильник холодної води
- ⊕ засувка
- ⊘ вентиль
- ⊙ насос
- ◇ фільтр
- ⊙ ел.двигун

|           |                 |       |      |  |                        |        |         |
|-----------|-----------------|-------|------|--|------------------------|--------|---------|
|           |                 |       |      | <b>08-15.МКР.009.01.00.000 ТЗ</b>            |                        |        |         |
| Изм. Лист | № докum.        | Подп. | Дата | Схема<br>теплова загальна<br>котельні з КТНУ | Лист                   | Масса  | Масштаб |
| Разраб.   | Яворський Б.І.  |       |      |  |                        |        | -       |
| Пров.     | Остапенко О. П. |       |      |  | Лист                   | Листов | 1       |
| Т.контр.  | Остапенко О. П. |       |      |  | <b>ВНТУ, гр.ТЕ-22м</b> |        |         |
| Опонент   | Андріхов В. М.  |       |      |  |                        |        |         |
| Н.контр.  | Остапенко О. П. |       |      |  |                        |        |         |
| Утв.      | Степанов Д. В.  |       |      |  |                        |        |         |

Перелік елементів

| Позиція | Найменування                            | К-сть, шт. | Примітка |
|---------|---|------------|----------|
| 1       | Теплонасосна установка IWWS 660ER2-3000 | 1          |          |
| 2       | Теплонасосна установка IWWS 660ER2-1000 | 1          |          |
| 3       | КТАН-утилізатор КТАН-23УГ               | 1          |          |
| 4       | Теплообмінник марки ННН№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          |          |



Соголасовано

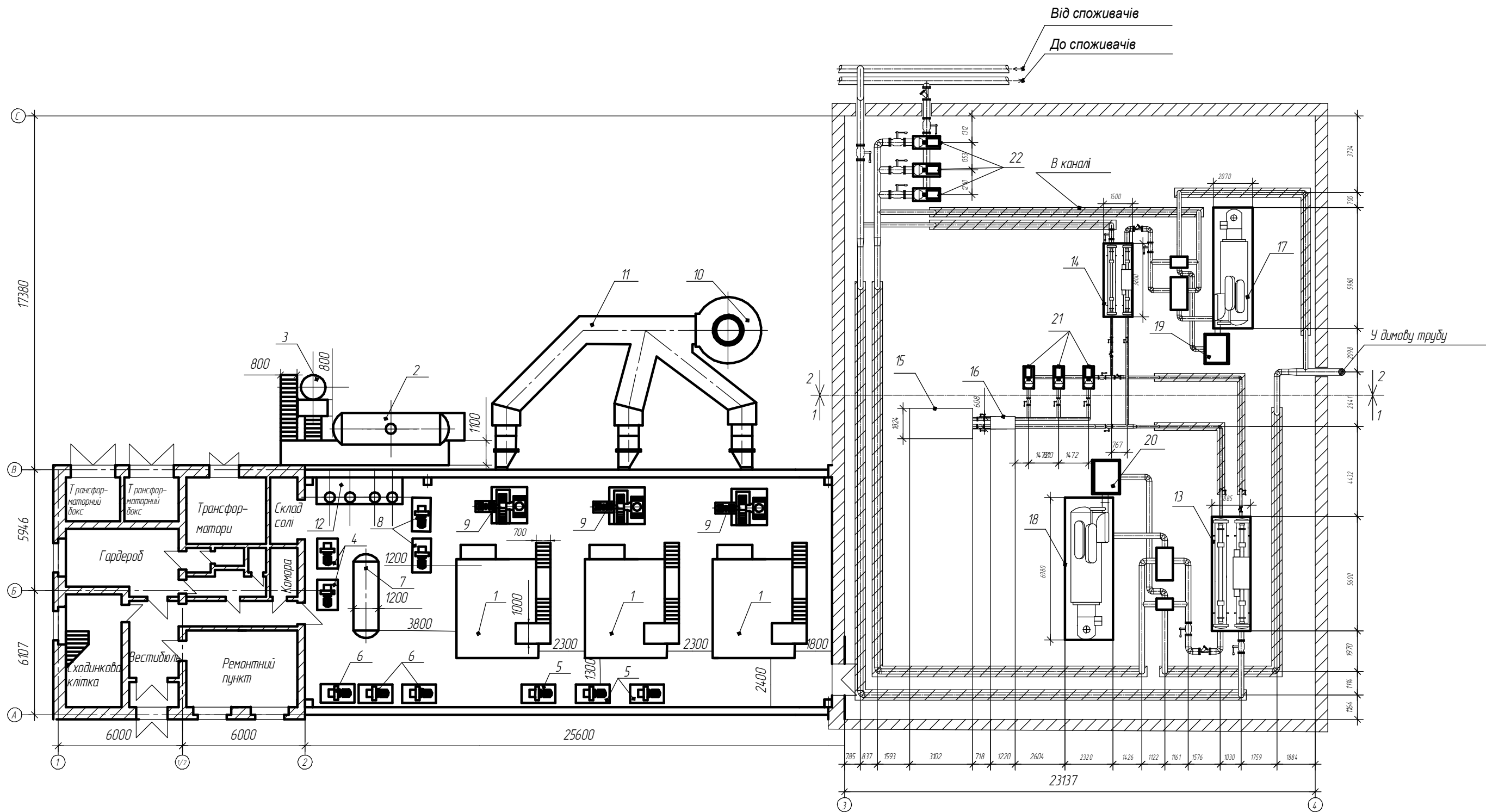
Взам. інв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

|  |        |      |        |       |      |   |        |      |        |
|--|--------|------|--------|-------|------|---|--------|------|--------|
|  |        |      |        |       |      | 08-15.МКР.009.02.00.000 Г5  |        |      |        |
|  |        |      |        |       |      | м. Хмельницький   |        |      |        |
| Изм.   | Кол.ч. | Лист | № док. | Подп. | Дата | Підвищення ефективності енерговикористання в тепловій схемі водогрійної опалювальної котельні | Стадія | Лист | Листов |
| Розроб.  |        |      |        |       |      |   |        |      | 1      |
| Пров.  |        |      |        |       |      |   |        |      |        |
| Опонент  |        |      |        |       |      |   |        |      |        |
| Т.контр.   |        |      |        |       |      |   |        |      |        |
| Н.контр.   |        |      |        |       |      |   |        |      |        |
| Утв.   |        |      |        |       |      |   |        |      |        |
| АксонOMETрична схема монтажу когенераційно-теплонасосної установки |        |      |        |       |      |   | TE-22M |      |        |





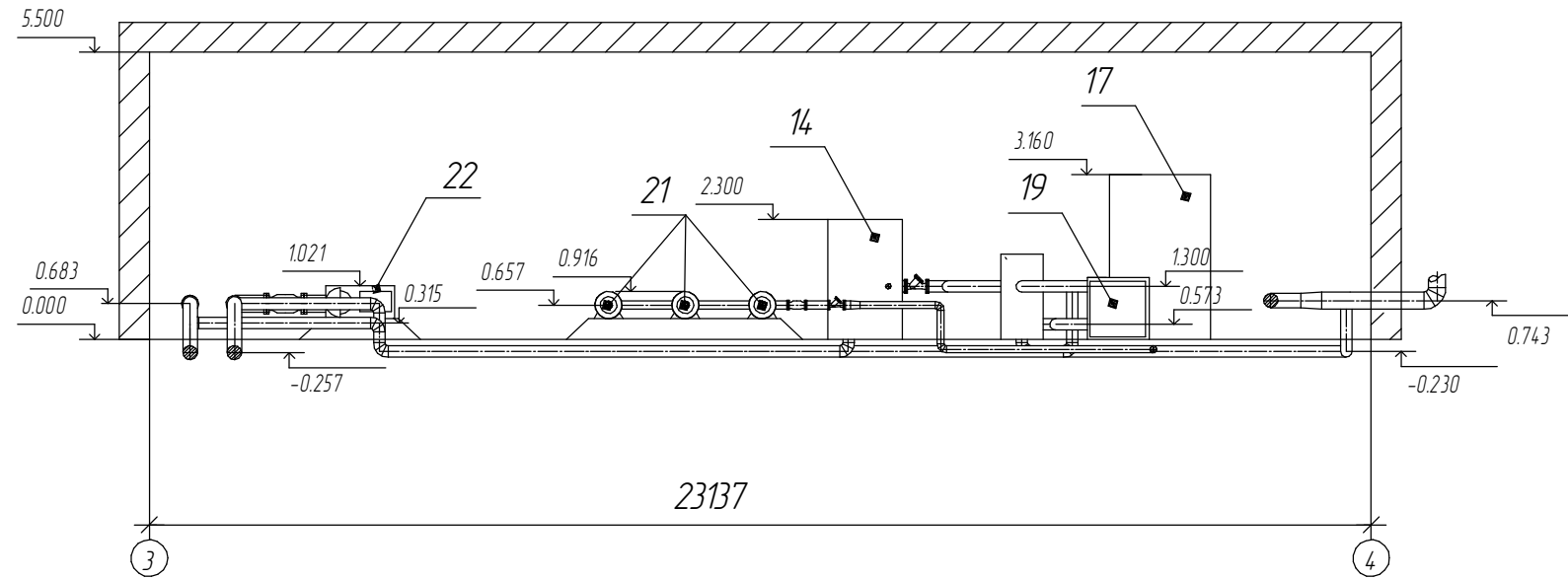
Согласовано

Взам. л-нв. №  
Повп. и дата  
Инв. № подл.

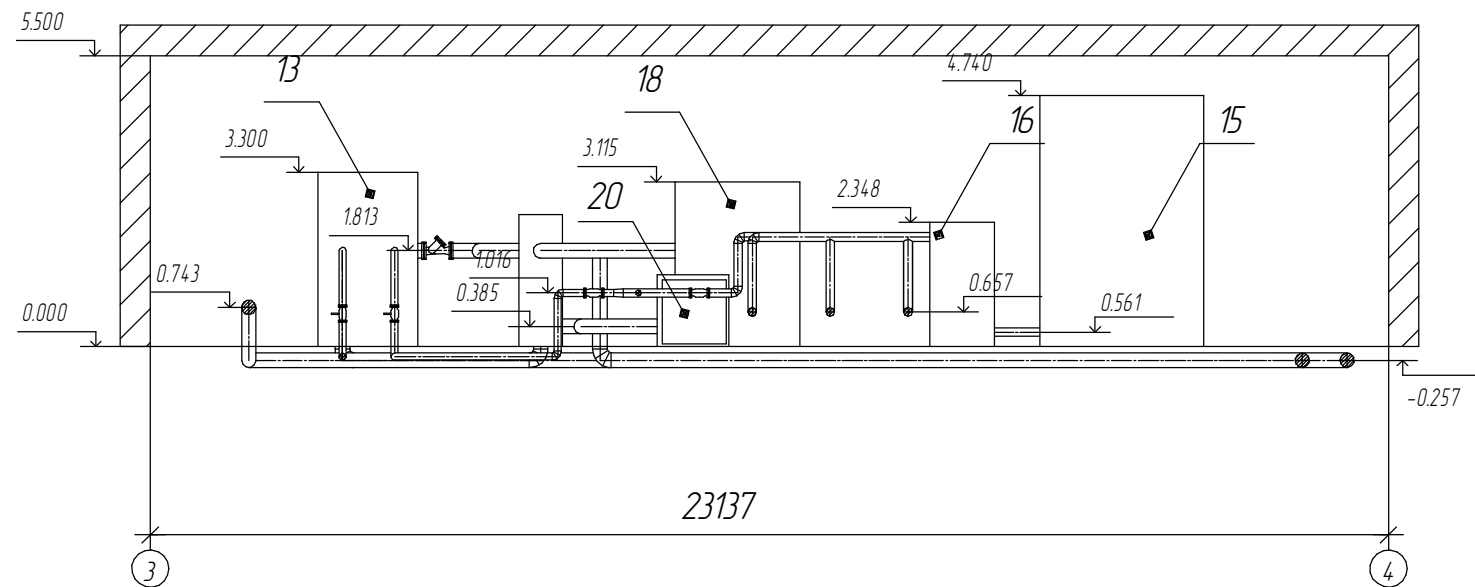
|  |        |      |                 |                            |      |  |        |      |        |
|--|--------|------|-----------------|----------------------------|------|--|--------|------|--------|
|  |        |      |                 | 08-15.МКР.009.03.00.000 АР |      |  |        |      |        |
|  |        |      |                 | м. Хмельницький            |      |  |        |      |        |
| Изм.   | Кол-ч. | Лист | № док.          | Подп.                      | Дата | Підвищення ефективності енерговикористання в тепловій схемі водоогрівної опалювальної котельні | Стадія | Лист | Листов |
| Розроб.  |        |      | Яворський Б. І. |                            |      |  |        |      | 1      |
| Проб.  |        |      | Остапенко О. П. |                            |      |  |        |      |        |
| Опонент  |        |      | Андрухов В. М.  |                            |      |  |        |      |        |
| Т.контр.   |        |      | Остапенко О. П. |                            |      |  |        |      |        |
| Н.контр.   |        |      | Остапенко О. П. |                            |      |  |        |      |        |
| Утв.   |        |      | Степанов Д. В.  |                            |      |  |        |      |        |
| План розташування обладнання та трубопроводів КТНУ |        |      |                 |                            |      |  | ТЕ-22М |      |        |



# Розріз 1-1



# Розріз 2-2



Согласовано

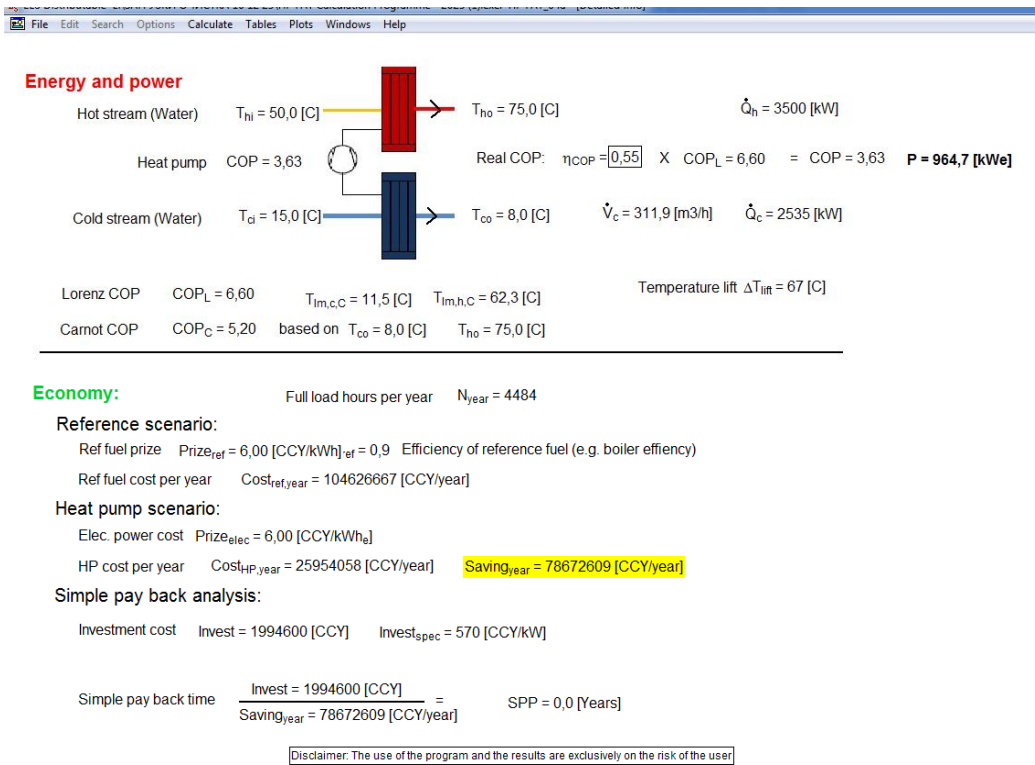
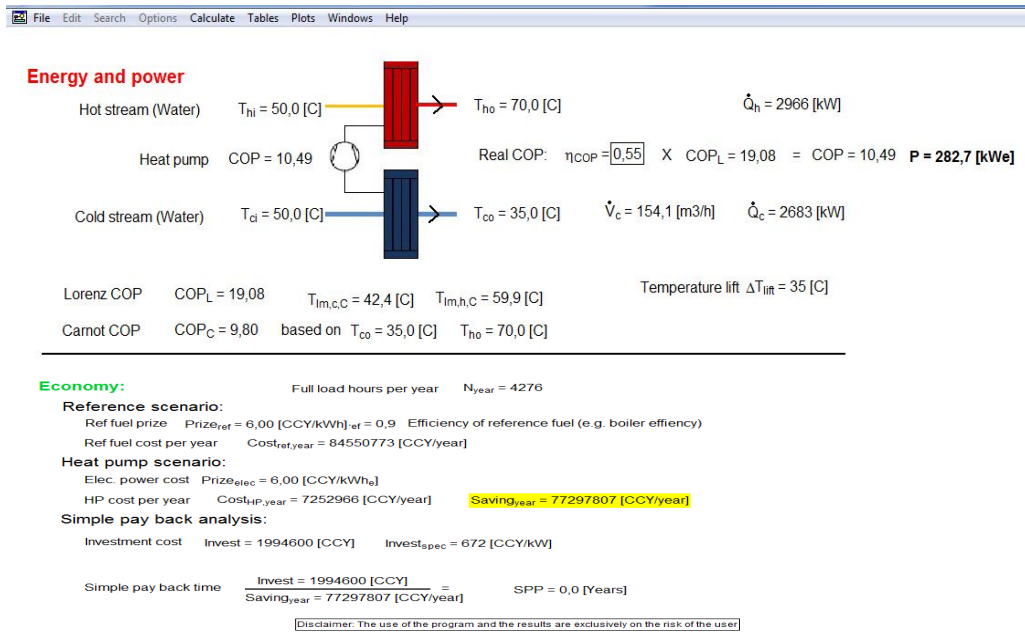
|              |  |
|--------------|--|
| Взам. инв. № |  |
| Подп. и дата |  |
| Инв. № подл. |  |

|                 |        |      |                 |       |      |   |        |      |        |
|-----------------|--------|------|-----------------|-------|------|---|--------|------|--------|
|                 |        |      |                 |       |      | 08-15.МКР.009.03.00.000 АР  |        |      |        |
|                 |        |      |                 |       |      | м. Хмельницький   |        |      |        |
| Изм.            | Кол.ч. | Лист | № док.          | Подп. | Дата | Підвищення ефективності енерговикористання в тепловій схемі водогрійної опалювальної котельні | Стадія | Лист | Листов |
| Розроб.         |        |      | Яворський Б. І  |       |      |   |        |      | 1      |
| Пров.           |        |      | Остапенко О. П. |       |      |   |        |      |        |
| ОпONENT         |        |      | Андрухов В. М.  |       |      |   |        |      |        |
| Т.контр.        |        |      | Остапенко О. П. |       |      |   |        |      |        |
| Н.контр.        |        |      | Остапенко О. П. |       |      |   |        |      |        |
| Утв.            |        |      | Степанов Д. В.  |       |      |   |        |      |        |
| Розрізи 1-1,2-2 |        |      |                 |       |      |   | ТЕ-22М |      |        |

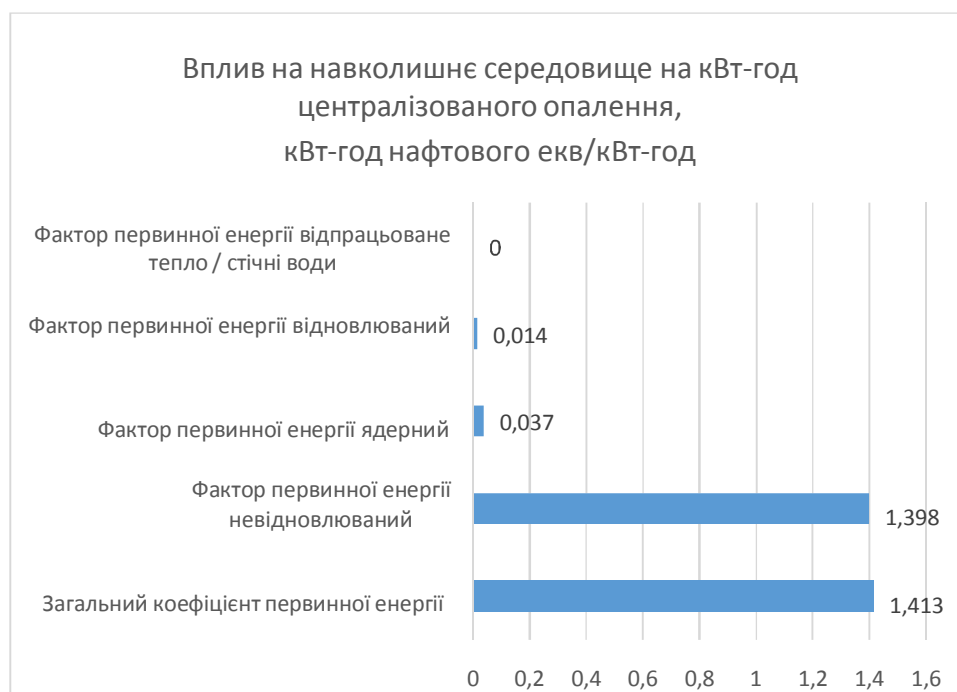
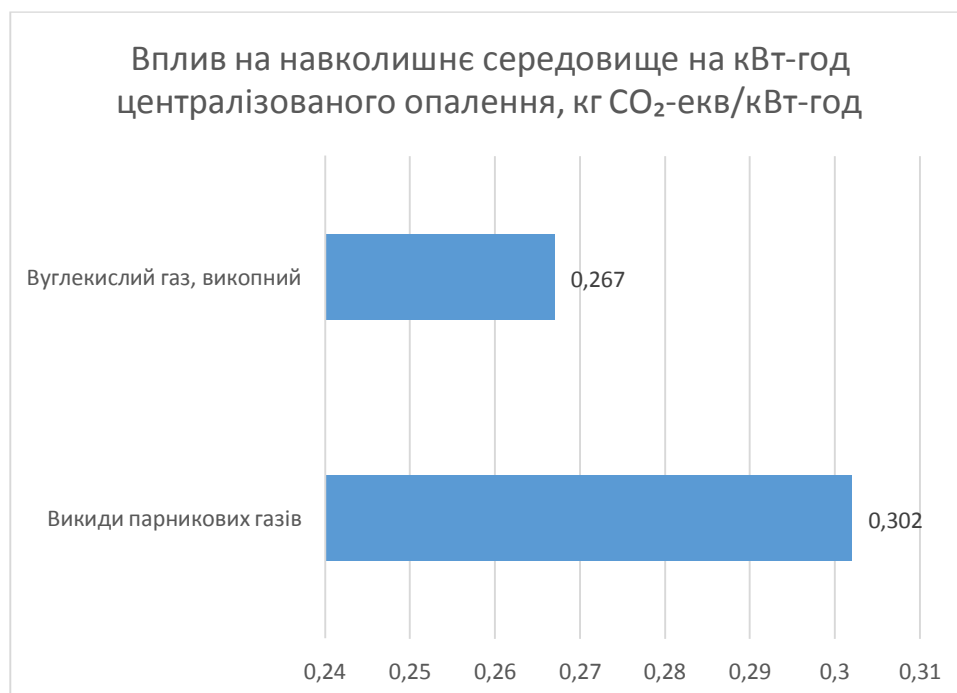




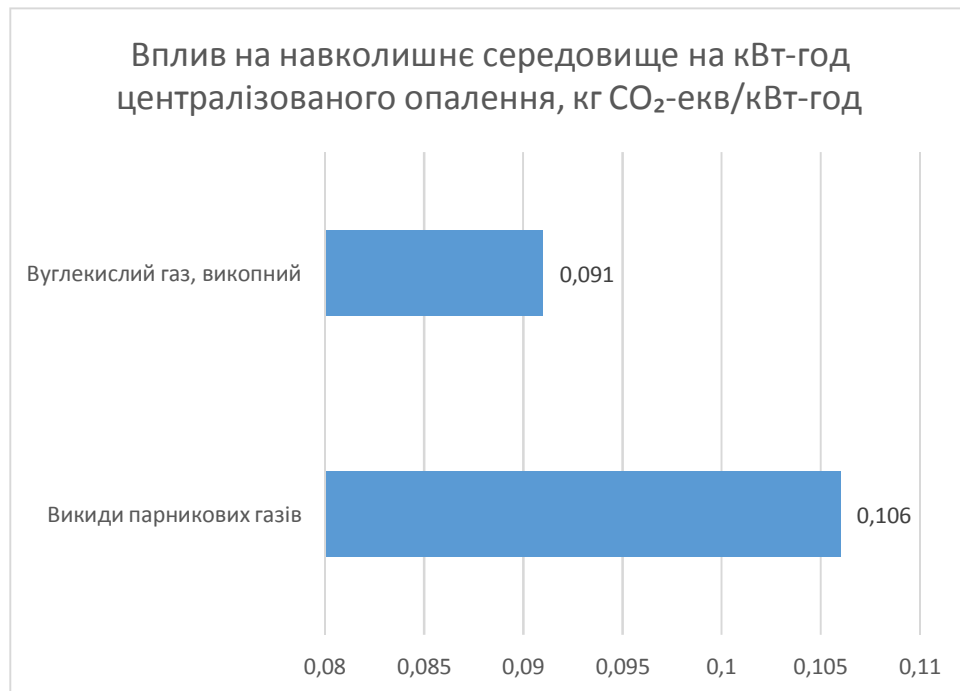
# РЕЗУЛЬТАТИ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ



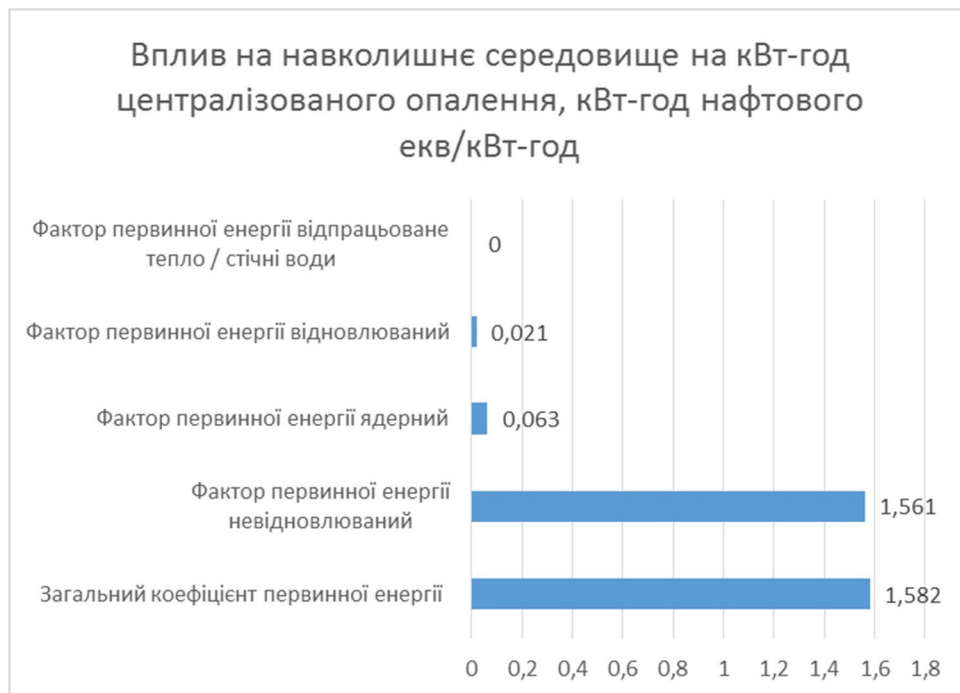
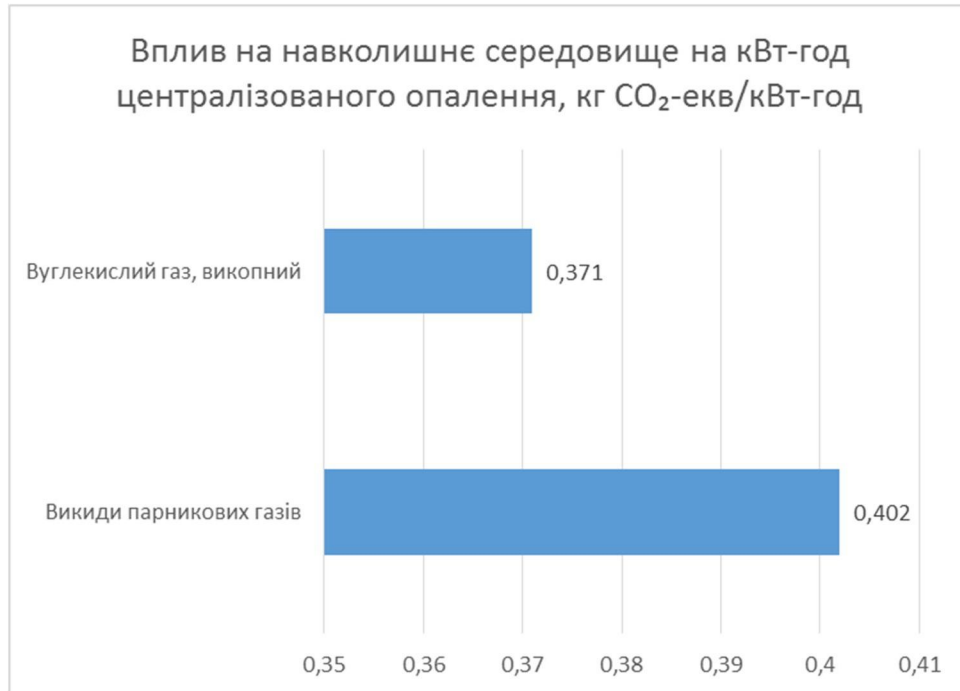
## ПОКАЗНИКИ РОБОТИ ОПАЛЮВАЛЬНОЇ КОТЕЛЬНОЇ НА ПРИРОДНОМУ ГАЗІ



## ПОКАЗНИКИ РОБОТИ ТЕЦ НА ПРИРОДНОМУ ГАЗІ



## ПОКАЗНИКИ РОБОТИ КОТЕЛЬНІ НА МАЗУТІ



## ПОКАЗНИКИ РОБОТИ ТЕПЛООВОГО НАСОСУ НА ВТОРИННИХ ЕНЕРГОРЕСУРСАХ

