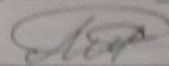


БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

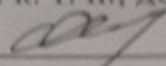
«Теплонасосна установка в тепловій схемі опалювальної котельні»

Виконав: здобувач 4 курсу, гр. ТЕ-216
спеціальності 144 – Теплоенергетика
(шифр і назва спеціальності)



Сергійчук М. С.
(прізвище та ініціали)

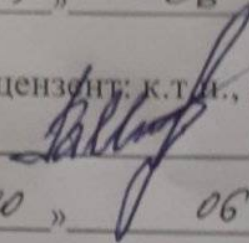
Керівник: к. т. н., доцент каф. ТЕ



Остапенко О. П.
(прізвище та ініціали)

« 19 » 06 2025 р.

Рецензент: к. т. н., доцент каф. БМГА



Андрухов В. М.
(прізвище та ініціали)

« 20 » 06 2025 р.

Допущено до захисту
Завідувач кафедри ТЕ

к.т.н., доц. Д. В. Степанов
(прізвище та ініціали)

« 23 » 06 2025 р.

Вінниця ВНТУ – 2025 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії
Кафедра теплоенергетики
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Галузь знань 14 Електрична інженерія
Спеціальність 144 Теплоенергетика
Освітньо-професійна програма Теплоенергетика

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТЕ

Д. В. Степанов

2025 року

«20»

03

ЗАВДАННЯ НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ

Сергійчуку Максиму Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Теплонасосна установка в тепловій схемі опалювальної котельні»

керівник роботи Остапенко Ольга Павлівна, к.т.н., доц. каф. ТЕ,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «20» березня 2025 року № 97.

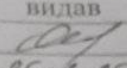
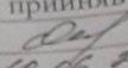
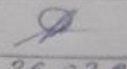
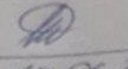
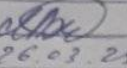
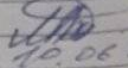
2. Строк подання здобувачем роботи 10.06.2025

3. Вхідні дані до роботи: потужність системи опалення 14,57 МВт; потужність системи гарячого водопостачання 3,62 МВт; температурний графік теплової мережі 95/70°C; паливо – природний газ; теплота згорання палива 34,2 МДж/м³.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Теплові насоси в Україні: огляд ринку та перспективи розвитку. Загальна характеристика ринку; комплексний багатокритеріальний аналіз та техніко-економічне обґрунтування оптимального варіанту модернізації; аналіз ефективності функціонування теплової конфігурації котельної з тепловим насосом; аналіз ефективності теплової схеми котельні з інтегрованою ТНУ; охорона праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): схема тепла котельні з теплонасосною установкою; план котельні з теплонасосною установкою; схема монтажна аксонометрична.

3. Консультанти розділів роботи

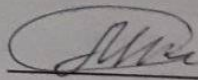
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-4	Остапенко О. П., к.т.н., доц. кафедри ТЕ	 25.03.25	 10.06.25
5	Кобилянська І.М., к.пед.н., доц., доцент кафедри БЖДПБ	 26.03.25	 10.06.25
Н.контроль	Боднар Л.А., к.т.н., доц. кафедри ТЕ	 26.03.25	 10.06.25

4. Дата видачі завдання 25.03.2025

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Теплові насоси в Україні: огляд ринку та перспективи розвитку. Загальна характеристика ринку	25.03.25...27.03.25	всього
2	Комплексний багатокритеріальний аналіз та техніко-економічне обґрунтування оптимального варіанту модернізації	28.03.25...05.04.25	всього
3	Аналіз ефективності функціонування теплової конфігурації котельної з тепловим насосом	06.04.25...18.04.25	всього
4	Аналіз ефективності теплової схеми котельні з інтегрованою ТНУ	19.04.25...06.05.25	всього
5	Охорона праці	07.05.25...20.05.25	всього
6	Оформлення БКР	21.05.25...30.05.25	всього
7	Попередній захист БКР	31.05.25...10.06.25	всього
8	Захист БКР	11.06.25...21.06.25	всього

Здобувач

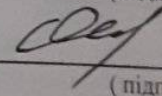


(підпис)

Сергійчук М. С

(прізвище та ініціали)

Керівник БКР



(підпис)

Остапенко О. П

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

УДК 621.577

Сергійчук М. С. Теплонасосна установка в тепловій схемі опалювальної котельні. Бакалаврська кваліфікаційна робота зі спеціальності 144 – теплоенергетика, освітня програма – теплоенергетика. Вінниця: ВНТУ, 2025. 62 с.

Бібліогр. : рис.: 30; табл. 14.

В бакалаврській кваліфікаційній роботі запропоновано комплекс заходів із енерго- та ресурсозбереження, підвищення техніко-економічних показників роботи теплової схеми водогрійної опалювальної котельні шляхом встановлення парокомпресійної теплонасосної установки (ТНУ). Шляхом встановлення парокомпресійної ТНУ забезпечене зниження енерго- та ресурсоемності вироблення теплоти в котельні.

За результатами виконаного багатоваріантного аналізу енергетичних показників низки досліджених варіантів модернізації було обрано варіант використання парокомпресійної ТНУ з приводом від газопоршневого двигуна на природному газі. В бакалаврській кваліфікаційній роботі здійснено розробку технології монтажу теплообмінника, призначеного для додаткового контуру випарника ТНУ.

За результатами виконаного економічного аналізу обраного варіанту модернізації було визначено, що використання парокомпресійної ТНУ в схемі цієї котельні обумовить економію природного газу, забезпечить зниження експлуатаційних витрат та зниження собівартості теплоти.

Проаналізовано заходи з охорони праці.

Ключові слова: котельня, тепла схема, теплонасосна установка

ABSTRACT

Serhiychuk M. S. Heat pump installation in the thermal scheme of a heating boiler room. Bachelor's qualification work in specialty 144 - heat and power engineering, educational program - heat and power engineering. Vinnytsia: VNTU, 2025. 62 p.

In Ukrainian language. Bibliogr. : fig.: 30; table 14.

In the bachelor's qualification work, a set of measures for energy and resource conservation, increasing the technical and economic indicators of the operation of the thermal scheme of a water-heating boiler house by installing a vapor-compression heat pump installation (HPI). By installing a vapor-compression HPI, a reduction in the energy and resource intensity of heat generation in the boiler house was ensured.

According to the results of a multivariate analysis of the energy indicators of a number of studied modernization options, the option of using a vapor-compression HPI driven by a gas piston engine on natural gas was selected. In the bachelor's qualification work, a technology for installing a heat exchanger intended for an additional evaporator circuit of the HPI was developed.

According to the results of an economic analysis of the selected modernization option, it was determined that the use of a vapor-compression HPI in the scheme of this boiler house will save natural gas, reduce operating costs and reduce the cost of heat.

Labor protection measures were analyzed.

Key words: boiler room, thermal scheme, heat pump installation

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 ТЕПЛОВІ НАСОСИ В УКРАЇНІ: ОГЛЯД РИНКУ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РИНКУ	9
2 КОМПЛЕКСНИЙ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ОПТИМАЛЬНОГО ВАРІАНТУ МОДЕРНІЗАЦІЇ	17
2.1 Експлуатаційні характеристики теплової схеми котельної	17
2.2 Багатокритеріальний аналіз альтернативних проектних рішень	18
2.3 Техніко-економічне обґрунтування оптимального варіанту	24
2.4 Математичний апарат та програмні засоби для розрахунку	26
3 АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТЕПЛОВОЇ КОНФІГУРАЦІЇ КОТЕЛЬНОЇ З ТЕПЛОВИМ НАСОСОМ	34
3.1 Обчислення параметрів контактного рекуператора для режиму опалення	34
3.2 Розрахунок теплонасосної установки для теплової схеми опалювальної водогрійної котельні	35
3.3 Розрахунок теплових потужностей утилізаторів приводного двигуна	36
3.4 Вибір теплонасосного та додаткового устаткування. Розробка монтажних технологій	37
4 АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕПЛОВОЇ СХЕМИ КОТЕЛЬНОЇ З ІНТЕГРОВАНОЮ ТНУ	39
4.1 Оцінка економічної ефективності котельні з ТНУ	39
5 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	43
ВИСНОВКИ.....	54
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	56

Додаток А (обов'язковий). ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ	63
Додаток Б (обов'язковий). ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ.....	64
Додаток В (довідковий).ТЕХНОЛОГІЯ МОНТАЖУ ПЛАСТИНЧАСТОГО ТЕПЛООБМІННИКА В КОНТУРІ ВИПАРНИКА ТЕПЛОВОГО НАСОСУ ТЕПЛОВОЇ СХЕМИ КОТЕЛЬНОЇ.....	69
Додаток Г (обов'язковий). ГРАФІЧНА ЧАСТИНА.....	81

ВСТУП

Сучасний розвиток енергетичної галузі характеризується постійним пошуком ефективних та екологічно чистих технологій теплопостачання. В умовах зростаючих вимог до енергоефективності будівель, підвищення вартості традиційних енергоносіїв та необхідності скорочення викидів парникових газів, особливої актуальності набувають альтернативні системи опалення та кондиціювання.

Парокомпресійні теплові насоси являють собою одну з найперспективніших технологій у сфері теплопостачання, що дозволяє ефективно використовувати низькотемпературну теплову енергію навколишнього середовища для забезпечення потреб у опаленні та гарячому водопостачанні. Принцип роботи таких систем базується на зворотному термодинамічному циклі, який дозволяє "перекачувати" тепло з джерел з нижчою температурою до споживачів з вищою температурою.

Актуальність теми дослідження. Впровадження парокомпресійних теплових насосів у системи теплопостачання є особливо актуальним для України з огляду на декілька ключових факторів. По-перше, це необхідність диверсифікації енергетичного балансу країни та зменшення залежності від імпортованих енергоносіїв. По-друге, реалізація європейських стандартів енергоефективності та виконання зобов'язань щодо скорочення викидів CO₂ в рамках Паризької угоди про клімат. Крім того, значний потенціал для застосування теплових насосів в Україні обумовлений наявністю різноманітних джерел низькотемпературної теплоти: ґрунтових вод, поверхневих водойм, геотермальної енергії та атмосферного повітря. Сучасні технології дозволяють ефективно використовувати ці ресурси навіть в умовах помірно-континентального клімату.

Метою бакалаврської кваліфікаційної роботи є розроблення комплексу заходів із енерго- та ресурсозбереження, підвищення техніко-економічних показників роботи теплової схеми водогрійної котельні шляхом встановлення парокомпресійної ТНУ з використанням теплоти.

Задачами БКР є:

- 1) обґрунтування варіанту застосування ТНУ в тепловій схемі котельні;
- 2) оцінка ефективності ТНУ в тепловій схемі котельні;
- 3) обґрунтування вибору нового обладнання для модернізованої схеми котельні;
- 4) визначення техніко-економічних показників котельні з ТНУ.

Об'єктом роботи є парокompресійна ТНУ в тепловій схемі опалювальної водогрійної котельні, що забезпечує теплові потужності споживачів.

Предметом роботи є зменшення ресурсовитратності генерування теплоти із забезпеченням економії коштів за рахунок встановлення парокompресійної ТНУ в тепловій схемі котельні.

Практична цінність роботи. Результати дослідження можуть бути використані при проектуванні систем теплопостачання житлових та громадських будівель, а також для обґрунтування доцільності впровадження теплонасосних технологій в конкретних умовах експлуатації. Розроблені рекомендації сприятимуть підвищенню енергоефективності систем опалення та зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище. Шляхом встановлення парокompресійної ТНУ в схемі котельні забезпечене зниження енерго- та ресурсоемності вироблення теплоти в котельні.

Методи дослідження. У роботі використовуються теоретичні методи дослідження, включаючи аналіз наукової літератури, термодинамічні розрахунки, математичне моделювання теплових процесів, а також методи техніко-економічного аналізу для оцінки ефективності теплонасосних систем.

Апробація результатів. Матеріали за результатами БКР представлені в публікації тез доповіді [1].

1 ТЕПЛОВІ НАСОСИ В УКРАЇНІ: ОГЛЯД РИНКУ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РИНКУ

Ринок теплових насосів в Україні переживає період динамічного розвитку, що зумовлено кількома ключовими факторами. Перш за все, це зростаюча потреба в енергетичній незалежності та пошук альтернативних рішень для опалення через воєнні дії та проблеми з централізованим теплопостачанням.

Основні тенденції розвитку [2]:

1. Зростання попиту на енергоефективність. Українські споживачі все більше усвідомлюють важливість енергоефективних рішень. Це відбувається не лише через економічні міркування, але й через підвищення екологічної свідомості суспільства. Теплові насоси стають привабливою альтернативою традиційним системам опалення завдяки своїй ефективності та екологічності.
2. Технологічний прогрес. Впровадження нових технологій значно покращило характеристики теплових насосів. Сучасні моделі працюють ефективно навіть при низьких зимових температурах, що особливо важливо для українських кліматичних умов.

Структура ринку. Основні типи теплових насосів.

1. «Повітря-вода» - найпопулярніший тип теплових насосів в Україні завдяки відносно простому монтажу та доступній ціні. Ці системи відбирають тепло з зовнішнього повітря та передають його в систему водяного опалення.

2. «Ґрунт-вода», (геотермальні) - більш ефективні, але дорожчі в установці системи, які використовують стабільну температуру ґрунту. Особливо популярні вони для великих приватних будинків.

3. «Вода-вода», які використовують тепло підземних вод або водойм, вони менш поширені через специфічні вимоги до джерела води.

4. «Повітря-повітря» - системи для прямого нагріву повітря в приміщенні, часто використовуються як доповнення до основної системи опалення.

Цінові сегменти теплових насосів:

1. Бюджетний сегмент (30-50 тис. Грн.). Це прості моделі «повітря-вода» для невеликих будинків площею до 100 м².
2. Середній сегмент (50-100 тис. Грн.). Це більш потужні та технологічно досконалі моделі з розширеним функціоналом.
3. Преміум сегмент (100+ тис. Грн.). Це високотехнологічні системи з інверторним управлінням, розширеними можливостями контролю та високими показниками ефективності.

Провідні бренди на ринку теплових насосів:

1. Європейські виробники:

Daikin - японська компанія з європейським виробництвом.

Mitsubishi Electric, що забезпечує високотехнологічні рішення.

Vaillant, для якого характерна німецька якість та надійність.

Viessmann - преміум-сегмент теплових насосів.

NIBE - шведський виробник з широкою лінійкою.

2. Азійські бренди:

LG - популярні моделі середнього сегменту.

Samsung, що забезпечує інноваційні рішення.

Panasonic – це надійні та ефективні системи.

3. Локальні та регіональні виробники. Українські компанії переважно займаються дистрибуцією, монтажем та сервісним обслуговуванням імпортного обладнання.

Характеристика основних показників теплового насоса показана на рис. 1.1 [2].

Державна підтримка та регулювання [3].

1. Програма "теплих кредитів". Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України реалізує програми фінансової підтримки для впровадження енергоефективних технологій, включаючи теплові насоси. Програма передбачає пільгові кредити для населення на придбання та встановлення енергоефективного обладнання.

2. Банківські програми. Провідні українські банки пропонують спеціальні кредитні продукти для придбання альтернативних джерел енергії, включаючи теплові насоси. Це робить технологію більш доступною для широких верств населення.

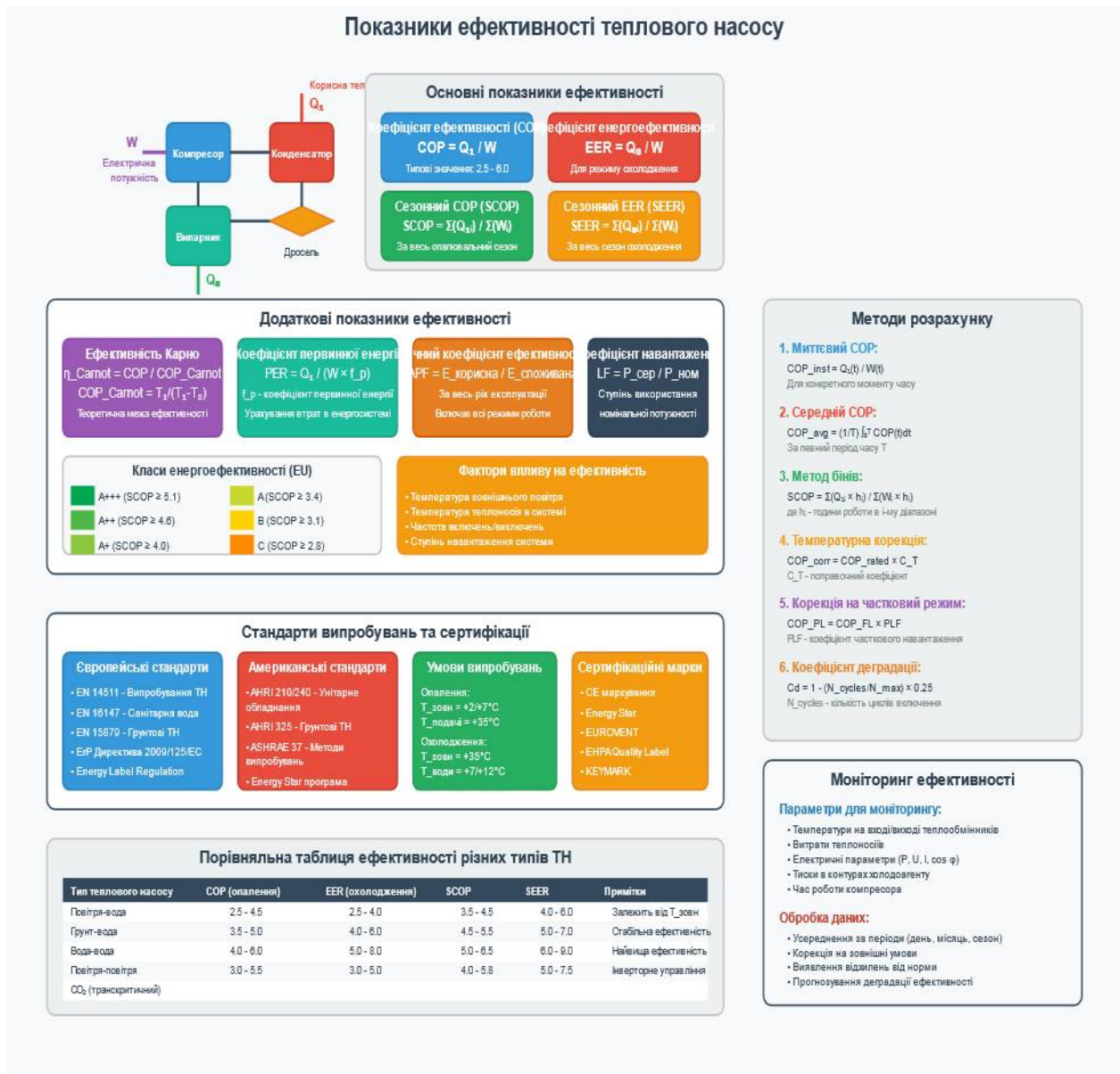


Рисунок 1.1 – Основні показники теплового насосу

Тепловий насос GEA показаний на рис. 1.2.



Рисунок 1.2 – Тепловий насос GEA

Регіональні особливості застосування теплових насосів [4]:

1. Київ та область. В цьому регіоні найбільш розвинений ринок з широкою мережею дилерів та сервісних центрів, високий попит на преміум-сегмент.
2. Західні області. Для них характерне активне впровадження теплових насосів через близькість до європейських стандартів та традиції приватного домоволодіння.
3. Східні та південні області. Тут помітний зростаючий інтерес до теплових насосів як альтернативи централізованому опаленню, особливо після початку війни.

Схема оптимізації теплового насосу показана на рис. 1.3.

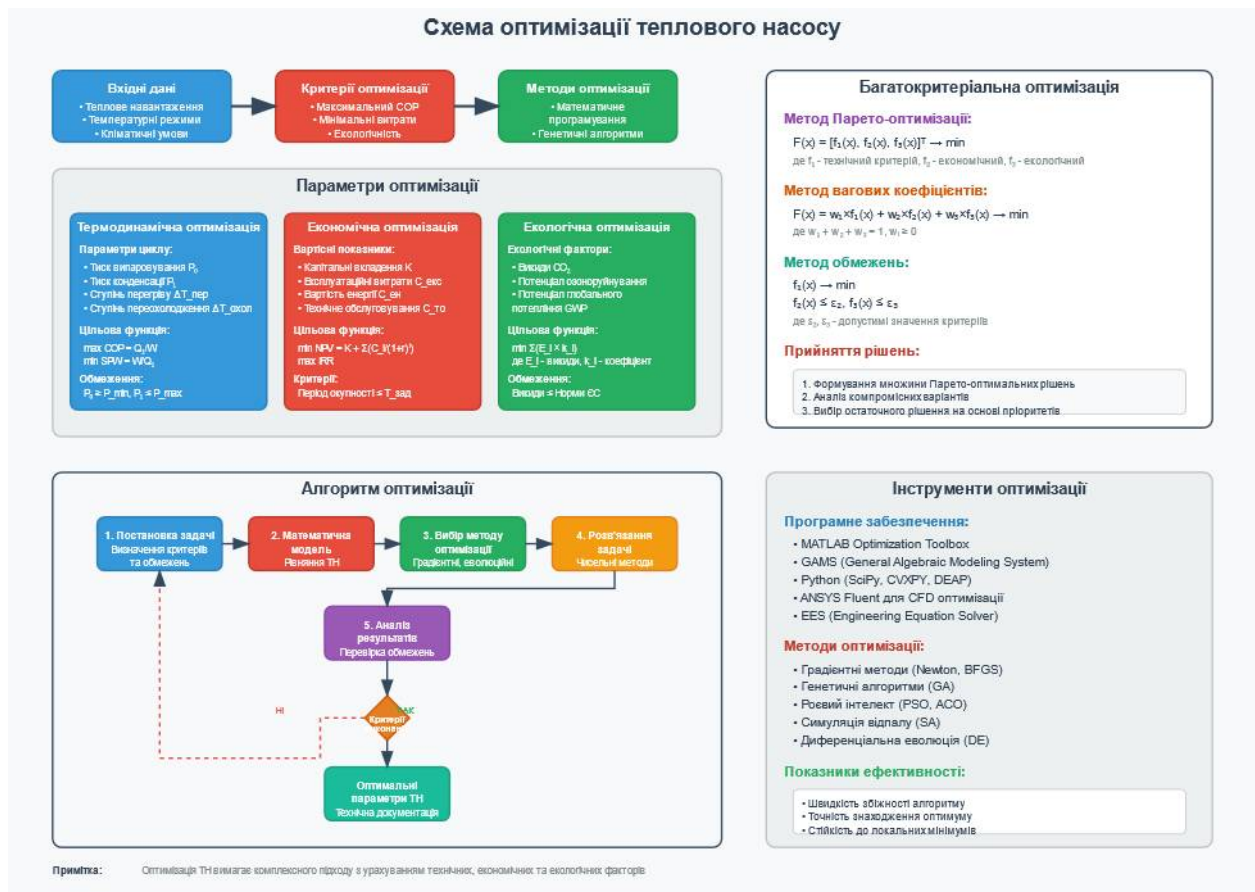


Рисунок 1.3 – Схема оптимізації теплового насосу

Виклики та перешкоди [5].

1. Технічні виклики:

- Кліматичні умови. Українські зими з низькими температурами можуть знижувати ефективність повітряних теплових насосів, що вимагає використання більш дорогих інверторних моделей або гібридних систем.
- Інфраструктурні обмеження. Не всі регіони мають стабільне електропостачання, що є критичним для роботи теплових насосів.

2. Економічні фактори:

- Високі початкові витрати. Вартість придбання та встановлення теплового насоса значно перевищує традиційні системи опалення.

- b. Окупність Період окупності може становити 5-10 років залежно від типу системи та умов експлуатації.

3. Інформаційні бар'єри:

- a. Низька обізнаність Багато споживачів недостатньо знають про переваги та можливості теплових насосів.
- b. Недостатня кількість кваліфікованих монтажників Брак спеціалістів з досвідом установки та обслуговування теплових насосів.

Перспективи розвитку ринку теплових насосів [6]:

1. Короткострокові прогнози (2025-2027). Очікується зростання ринку на 15-25% щорічно завдяки:
 - a. Підвищенню цін на традиційні енергоносії.
 - b. Розширенню програм державної підтримки.
 - c. Збільшенню кількості кваліфікованих встановлювачів.
2. Довгострокові тенденції (2025-2030):
 - a. Впровадження "розумних" теплових насосів з IoT-функціоналом.
 - b. Розвиток гібридних систем (тепловий насос + газовий котел).
 - c. Інтеграція з сонячними електростанціями.
 - d. Поява українських виробників компонентів.

Рекомендації для споживачів. При виборі теплового насоса варто врахувати кліматичну зону та мінімальні зимові температури, теплоізоляцію будинку та його енергоефективність, наявність та стабільність електропостачання, можливості для монтажу зовнішнього блоку, бюджет на придбання та експлуатацію [7 - 9].

Етапи впровадження:

1. Енергоаудит будинку.
2. Розрахунок теплових втрат.
3. Підбір оптимальної системи.
4. Професійний монтаж.
5. Налаштування та введення в експлуатацію.

Висновки

Ринок теплових насосів в Україні знаходиться на стадії активного зростання. Попри існуючі виклики, ця технологія має значний потенціал розвитку завдяки економічним, екологічним та стратегічним перевагам. Державна підтримка, зростаюча обізнаність споживачів та технологічний прогрес створюють сприятливі умови для подальшого розширення ринку.

Успішне впровадження теплових насосів в Україні вимагає комплексного підходу, що включає освіту споживачів, підготовку кваліфікованих кадрів, розвиток інфраструктури та продовження програм державної підтримки.

2 КОМПЛЕКСНИЙ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ОПТИМАЛЬНОГО ВАРІАНТУ МОДЕРНІЗАЦІЇ

2.1 Експлуатаційні характеристики теплової схеми котельної

Водогрійна котельна призначена для генерації теплової енергії, що розподіляється між двома основними споживачами: системою опалення з тепловою потужністю $Q_{оп}=14,52$ МВт та системою гарячого водопостачання з потужністю $Q_{гвп}=3,63$ МВт. Котельна функціонує за принципом виробництва та транспортування теплоносія до кінцевих споживачів з температурним графіком мережної води $95/70^{\circ}\text{C}$ у складі закритої системи теплопостачання.

Ключові режимні параметри функціонування теплової схеми даної котельної для трьох базових розрахункових режимів експлуатації визначено згідно з методологією, викладеною у фаховому літературному джерелі [9]. Отримані результати систематизовано у табл. 1.1.

Параметри, представлені у табл. 1.1 для трьох розрахункових режимів роботи котельної, слугуватимуть базовими даними для проведення порівняльного аналізу ефективності альтернативних варіантів теплової схеми котельної з інтеграцією відновлюваних енергетичних ресурсів у парокомпресійну теплонасосну установку (ТНУ).

Таблиця 1.1 – Показники роботи теплової схеми котельні

Параметр	Позначення	Розмірність	Математичний вираз	Розрахункові сценарії		
				Пікове опалювальне	Номінальне опалювальне навантаження	Режим системи ГВП
Сумарна теплопродуктивність споживчих систем котельної	$Q_{\text{тс}}$	МВт	$Q_{\text{тс}} = Q_{\text{оп}} + Q_{\text{гвп}}$	18,2	11,3	3,62
Номінальна теплогенеруюча потужність котельної	$Q_{\text{к}}$	МВт	$Q_{\text{к}} = G_{\text{к}} \cdot c_{\text{в}} \cdot (t_{\text{к}}'' - t_{\text{к}}') \cdot 10^{-3}$	19,08	11,68	3,65
Обсяг споживання природного газу котельною установкою	$V_{\text{р}}$	м ³ /с	$V_{\text{р}} = \frac{Q_{\text{к}}}{Q_{\text{н}}^{\text{р}} \cdot \eta_{\text{к}}}$	0,61	0,36	0,12
Коефіцієнт корисної дії котельної (валовий)	$\eta^{\text{бр}}$		$\eta^{\text{бр}} = \frac{Q_{\text{гвп}} + Q_{\text{оп}}}{Q_{\text{н}}^{\text{р}} \cdot V_{\text{р}}}$	0,87	0,88	0,91

2.2 Багатокритеріальний аналіз альтернативних проектних рішень

У межах даного підрозділу бакалаврської кваліфікаційної роботи здійснено комплексний багатокритеріальний аналіз ефективності трьох альтернативних концепцій модернізації теплової схеми котельної. Проведено детальний аналіз індикаторів енергетичної ефективності на основі сучасних наукових досягнень та апробованих розрахункових методологій, представлених у фахових літературних джерелах [10-13].

Реалізований багатокритеріальний аналіз ефективності розглянутих інженерних рішень теплової схеми котельної з інтеграцією теплових потоків відновлюваних енергетичних джерел у теплонасосну систему забезпечує можливість кількісної оцінки енергетичної ефективності множини варіантів модернізації теплової схеми.

З метою проведення комплексного порівняльного аналізу варіантів модернізації теплової схеми з використанням відновлюваних теплових ресурсів та впровадженням ТНУ було виконано розрахунки для трьох основних сценаріїв:

Варіант 1 – інтеграція ТНУ на базі відновлюваних теплових джерел у тепловій схемі котельної для функціонування протягом двох сезонних періодів (опалювального та міжопалювального);

Варіант 2 – застосування ТНУ на відновлюваних теплових ресурсах у тепловій схемі котельної для експлуатації виключно в опалювальний період;

Варіант 3 – використання ТНУ на базі відновлюваних теплових джерел у тепловій схемі котельної для роботи в міжопалювальний період.

Результати багатокритеріального аналізу ефективності варіантів застосування ТНУ на відновлюваних теплових джерелах у тепловій схемі котельної представлено на рис. 2.1 – 2.6.

На графічних матеріалах рисунків 2.1 – 2.6 використано наступні позначення експлуатаційних режимів: МО – максимальний опалювальний, СО – середній опалювальний, МіжОПАЛ – міжопалювальний (ГВП-режим).

Аналіз даних, представлених на рис. 2.2, свідчить про незначні відмінності значень теплової потужності ТНУ між середнім опалювальним та міжопалювальним режимами роботи. Це обґрунтовує доцільність експлуатації теплонасосної установки в обох зазначених режимах без необхідності встановлення додаткового спеціалізованого обладнання для альтернативного режиму функціонування.

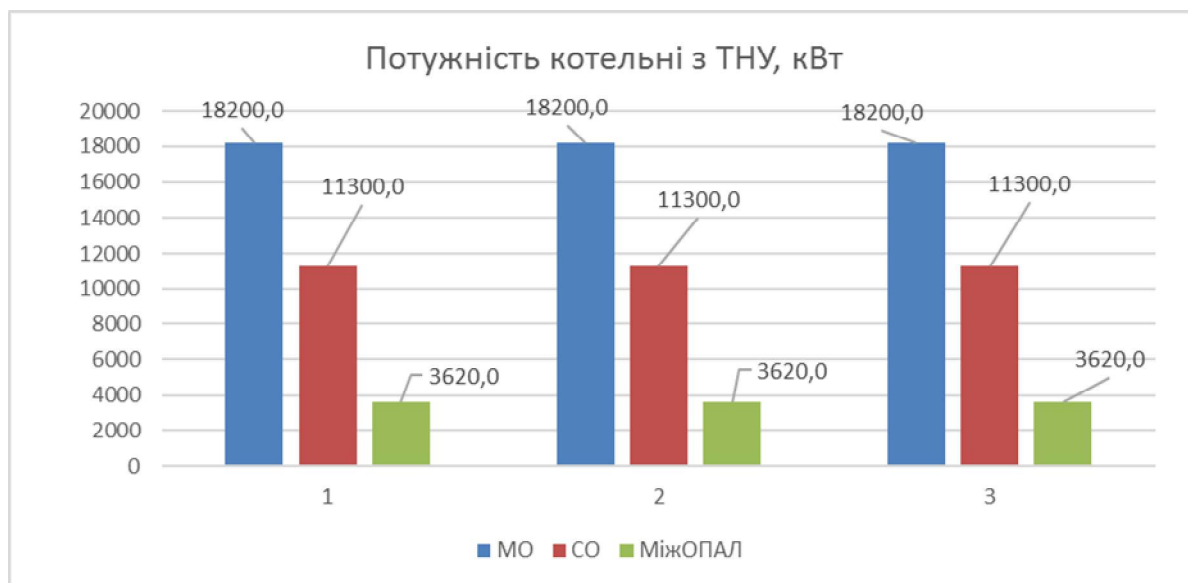


Рисунок 2.1 – Теплова потужність котельної з інтегрованою ТНУ

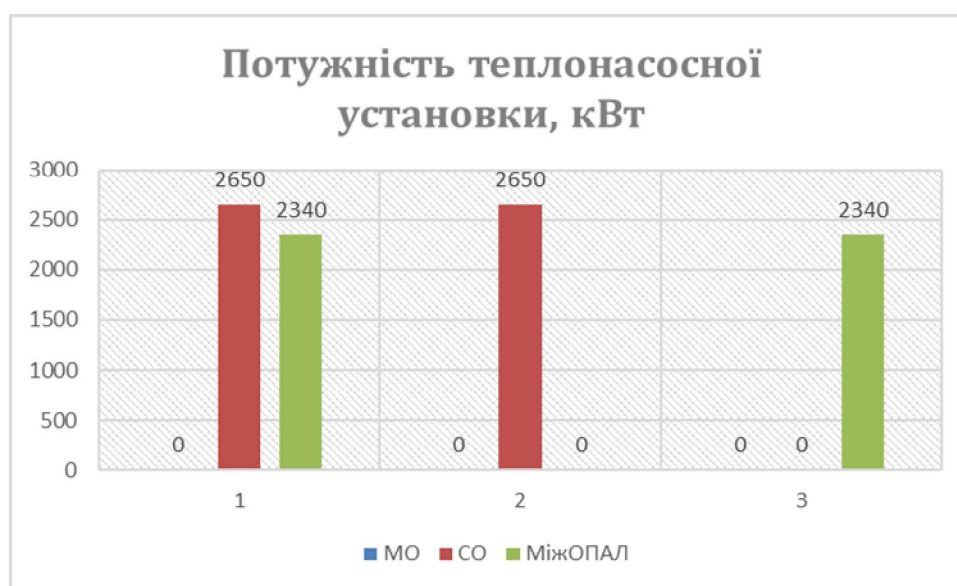


Рисунок 2.2 – Теплопродуктивність теплонасосної установки

Згідно з результатами, відображеними на рис. 2.3, параметри споживаної електричної потужності ТНУ в середньому опалювальному та міжсезонному режимах дозволяють використання єдиного приводного агрегату потужністю до 1000 кВт. Таким чином, можна зробити висновок про практичну доцільність

застосування теплонасосної установки з газопоршневим приводом для роботи в обох режимах без потреби у додатковому устаткуванні.

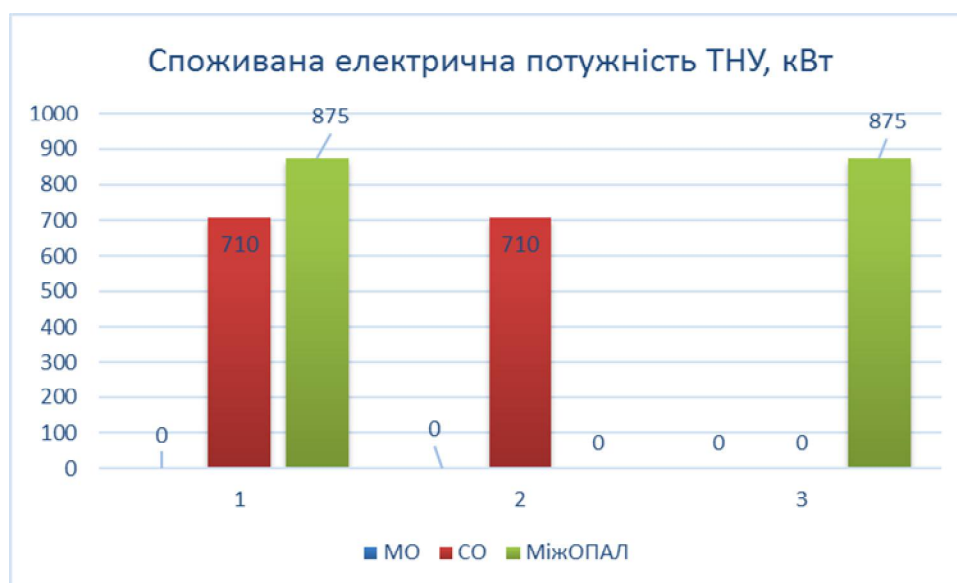


Рисунок 2.3 – Електрична потужність, що споживається компресором ТНУ

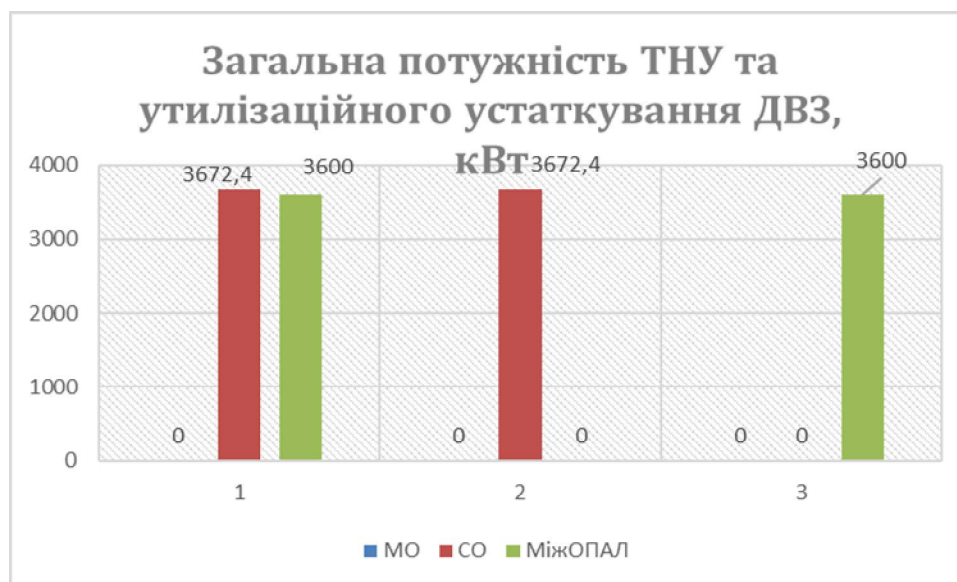


Рисунок 2.4 – Сумарна теплова потужність ТНУ та утилізаційного устаткування приводу

Дані рис. 2.4 демонструють, що утилізація теплових потоків від утилізаційного обладнання теплового приводу теплонасосної установки забезпечує значне підвищення сумарної теплопродуктивності ТНУ та збільшення частки заміщення потужності менш ефективної водогрійної котельної. Це підтверджує обґрунтованість використання теплонасосної установки з газопоршневим приводом у двох експлуатаційних режимах без необхідності інсталяції додаткового обладнання для альтернативного режиму роботи.

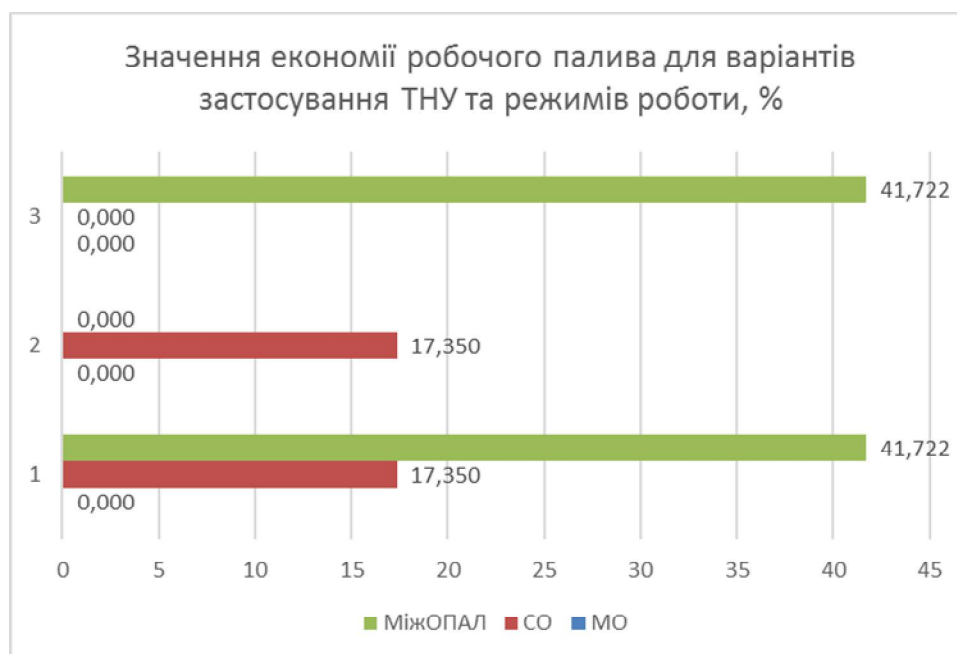


Рисунок 2.5 – Показники сезонної економії палива в котельні з ТНУ в залежності від режимів роботи, %

Аналіз графічних матеріалів, представлених на рис. 2.5 та 2.6, демонструє, що максимальна річна та сезонна економія основного палива досягається при реалізації першого досліджуваного варіанту впровадження ТНУ з функціонуванням у двох експлуатаційних режимах. Другу позицію за ефективністю займає варіант з використанням ТНУ виключно у міжопалювальному режимі роботи. Проте експлуатація теплонасосної установки лише в одному режимі передбачає істотне збільшення періоду повернення інвестицій у нове устаткування. З огляду на це, до практичної реалізації

рекомендується варіант №1, який забезпечує річну економію основного палива на рівні 29,8% при функціонуванні ТНУ як в опалювальному, так і в міжопалювальному режимах.



Рисунок 2.6 – Показники річної економії робочого палива для варіантів котельні з ТНУ, %

Багатокритеріальний аналіз енергетичних характеристик досліджуваних варіантів модернізації дозволив визначити оптимальне технічне рішення - застосування відновлюваних енергетичних ресурсів у парокомпресійній теплонасосній установці з газопоршневим приводом, що функціонує на природному газі. Низькопотенційним тепловим джерелом для ТНУ слугуватимуть теплові потоки від контактного утилізатора (представляючи вторинний енергоресурс) та відновлювана теплова енергія природного походження (теплота річкових вод). На підставі комплексу показників, ілюстрованих на рис. 2.1 – 2.6, даний варіант модернізації теплової системи котельної було відібрано для детального проектування.

2.3 Техніко-економічне обґрунтування оптимального варіанту

Проведено комплексну оцінку техніко-економічної доцільності інтеграції відновлюваних енергетичних джерел у парокомпресійну теплонасосну систему водогрійної котельної з одночасною утилізацією теплових потоків вторинних енергоресурсів. Ефективність розглянутого технічного рішення підтверджується прийнятними значеннями ключових техніко-економічних індикаторів альтернативного варіанту порівняно з базовою системою теплопостачання [14-15].

Систематизацію основних техніко-економічних характеристик альтернативного варіанту модернізованої котельної представлено на рис. 2.7 - 2.10.

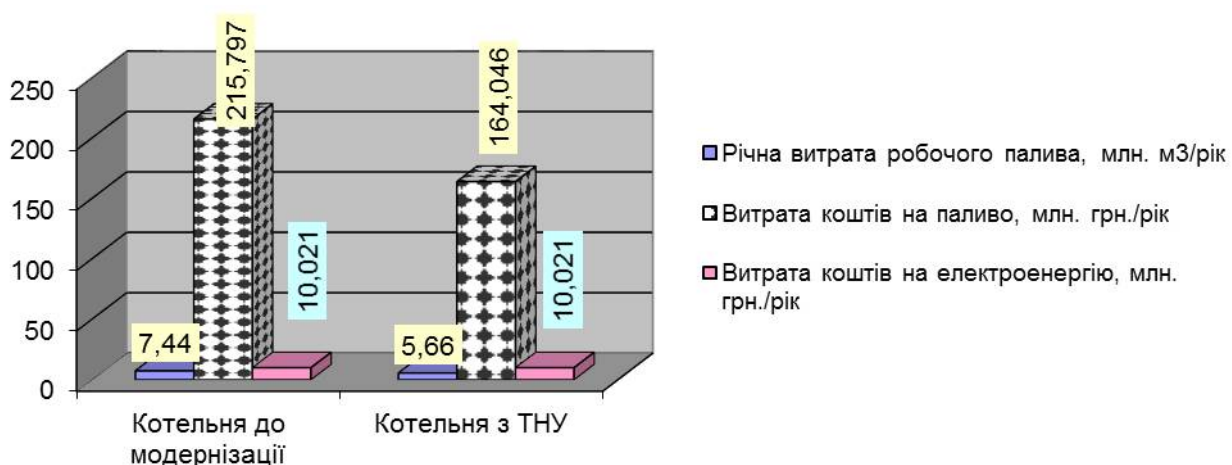


Рисунок 2.7 – Основні техніко-економічні показники альтернативного варіанту котельної

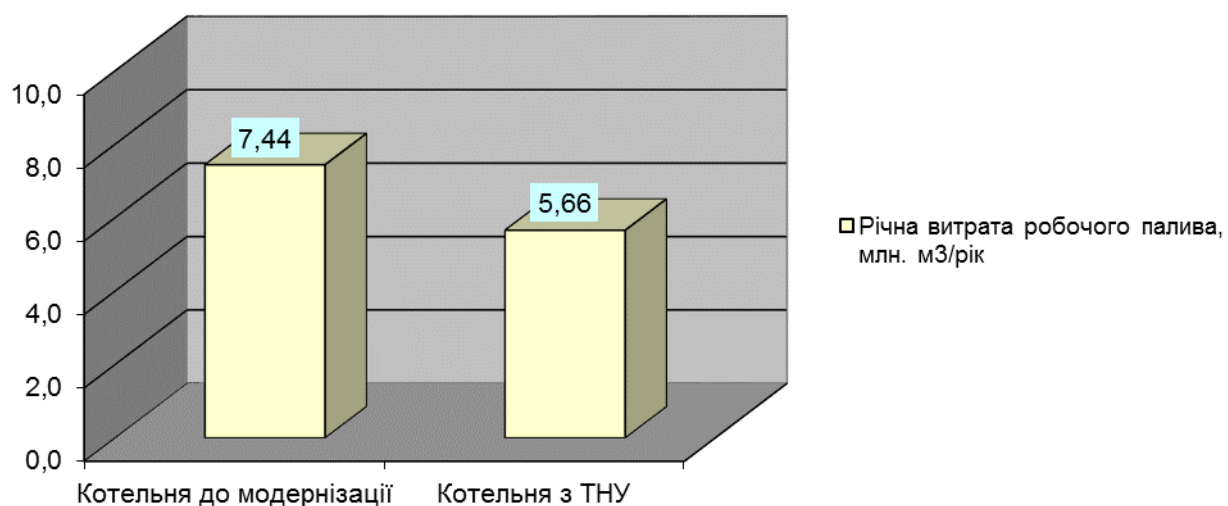


Рисунок 2.8 – Основні техніко-економічні показники альтернативного варіанту котельної

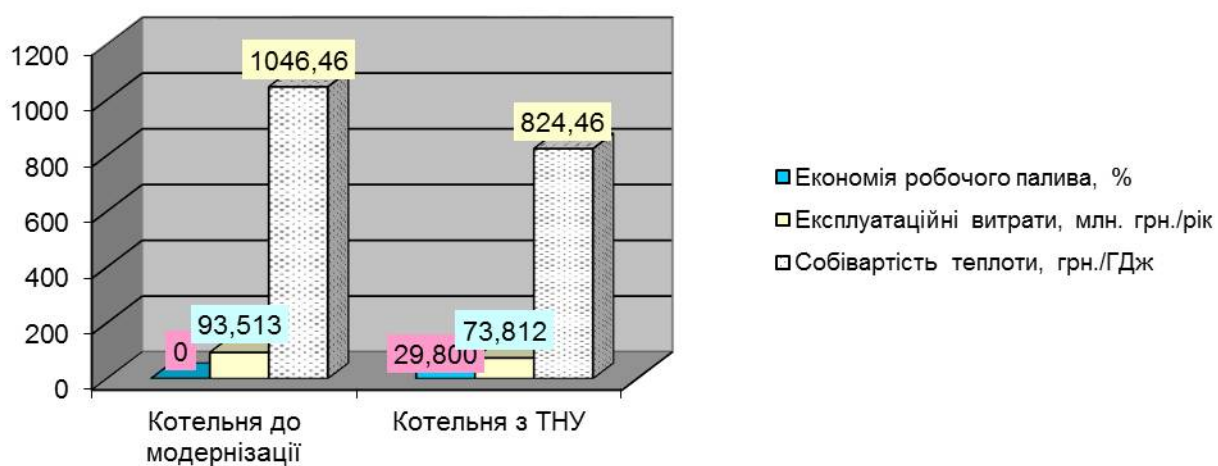


Рисунок 2.9 – Основні техніко-економічні показники альтернативного варіанту котельної

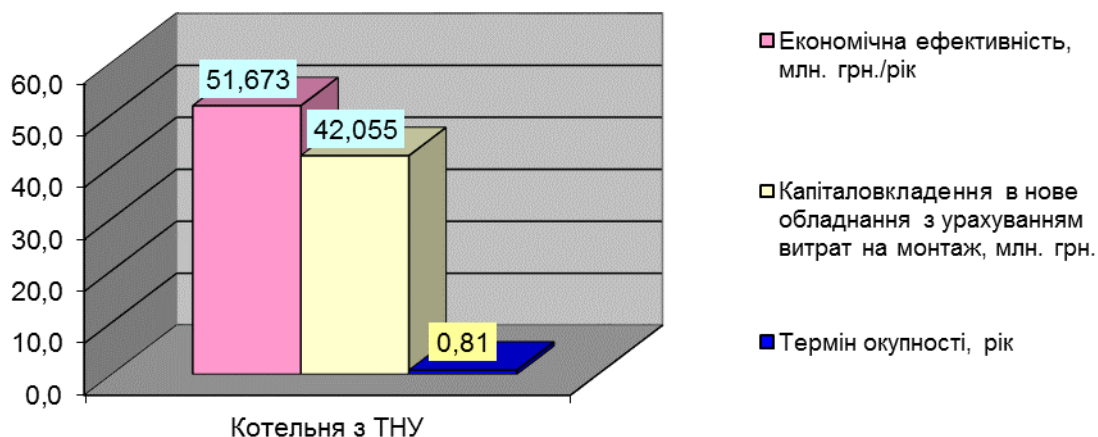


Рисунок 2.10 – Основні техніко-економічні показники альтернативного варіанту котельної

Проведений комплексний багатокритеріальний аналіз у поєднанні з детальним техніко-економічним обґрунтуванням дозволив встановити, що впровадження відновлюваних енергетичних ресурсів у парокompресійну теплонасосну систему котельної установки призведе до суттєвого скорочення споживання природного газу на рівні 29,8%. Економічна ефективність проекту характеризується зменшенням річних операційних витрат на суму 51,673 млн. грн. та оптимізацією собівартості генерованої теплової енергії. Інвестиційні витрати на придбання та встановлення модернізованого обладнання для котельної з інтегрованою ТНУ оцінюються в 42,055 млн. грн., що забезпечує швидке повернення вкладених коштів протягом 0,81 року.

2.4 Математичний апарат та програмні засоби для розрахунку теплової схеми котельної та теплонасосного комплексу

Для детального аналізу ефективності різноманітних варіантів інтеграції ТНУ у схему котельної було застосовано методи математичного моделювання з використанням спеціалізованого програмного продукту SOLKANE SoftWare 8.0

[16]. Даний програмний комплекс забезпечує високоточне моделювання та розрахунків термодинамічних циклів парокомпресійних теплонасосних установок з урахуванням різноманітних типів холодоагентів та альтернативних схемотехнічних рішень.

У процесі дослідження здійснювалося комп'ютерне моделювання функціонування ТНУ в умовах високотемпературного та низькотемпературного режимів експлуатації. Ці температурні діапазони відповідають характеристикам вторинних енергетичних ресурсів котельної установки та параметрам відновлюваного низькопотенційного теплового джерела (водних ресурсів річки).

Графічне представлення результатів комп'ютерного моделювання роботи теплонасосної установки в різних температурних режимах, отримане за допомогою програми SOLKANE SoftWare 8.0, демонструється на рисунках 2.11 – 2.15.

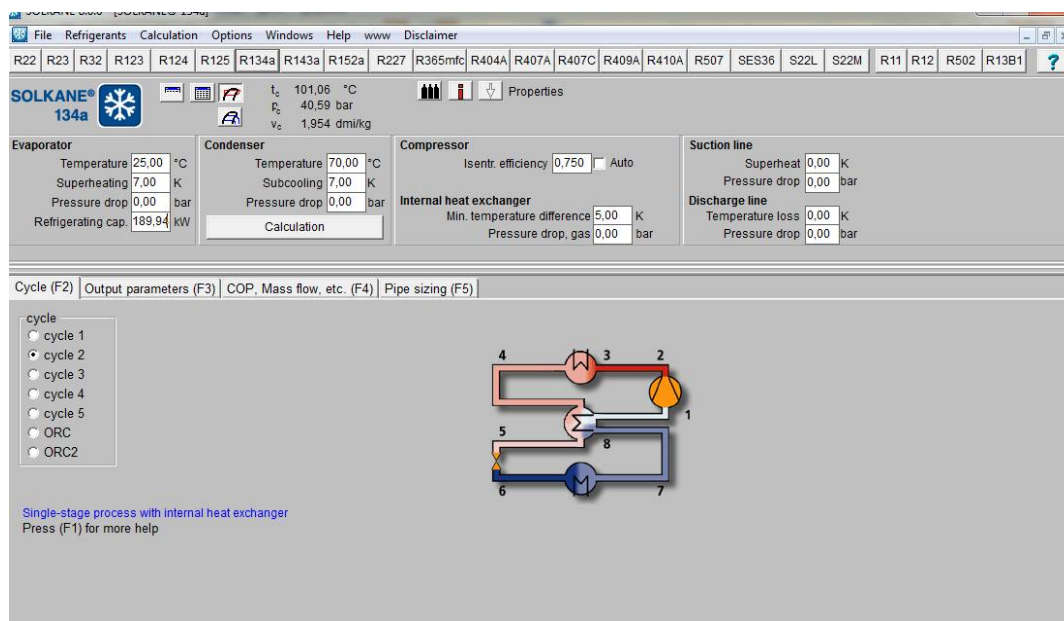


Рисунок 2.11 – Вибір схемного рішення ТНУ
в програмі SOLKANE SoftWare 8.0

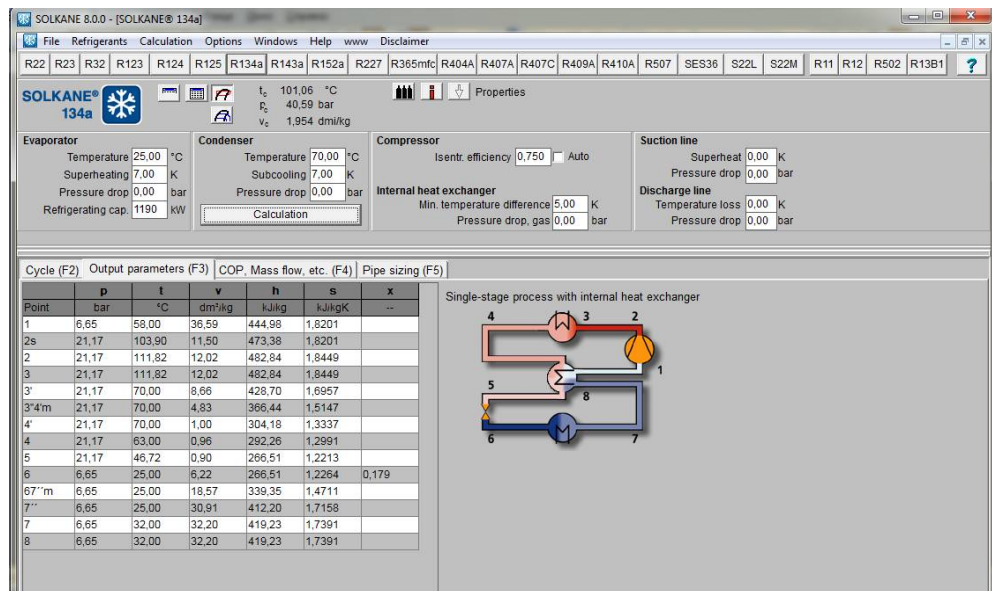


Рисунок 2.12 – Розрахунок параметрів в програмі SOLKANE SoftWare 8.0

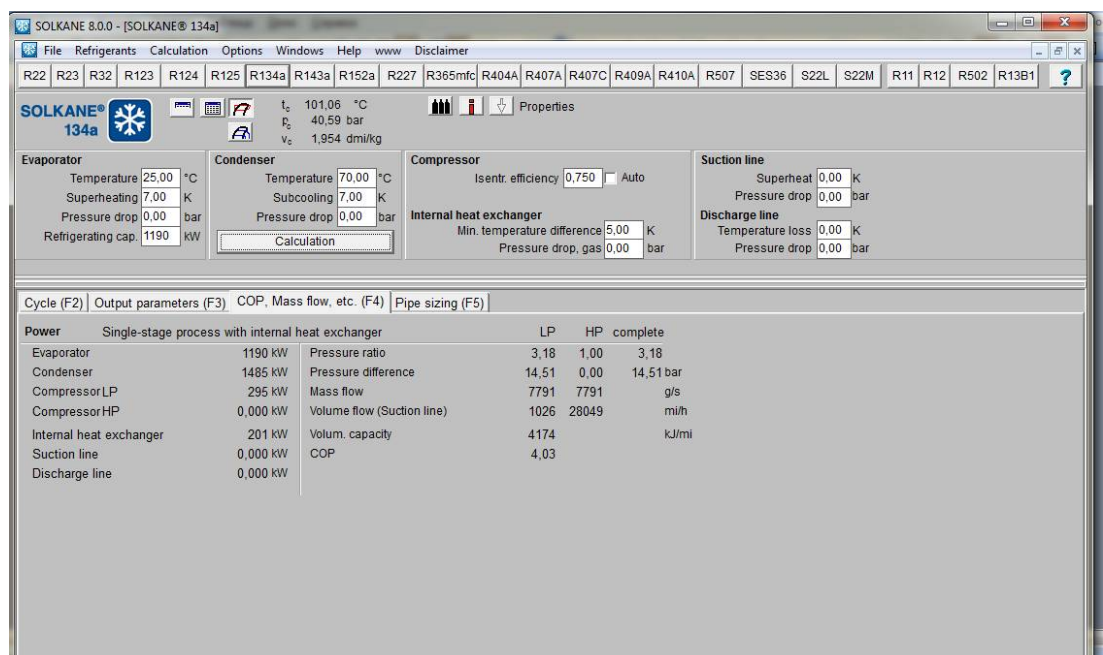


Рисунок 2.13 – Визначення показників циклу THU

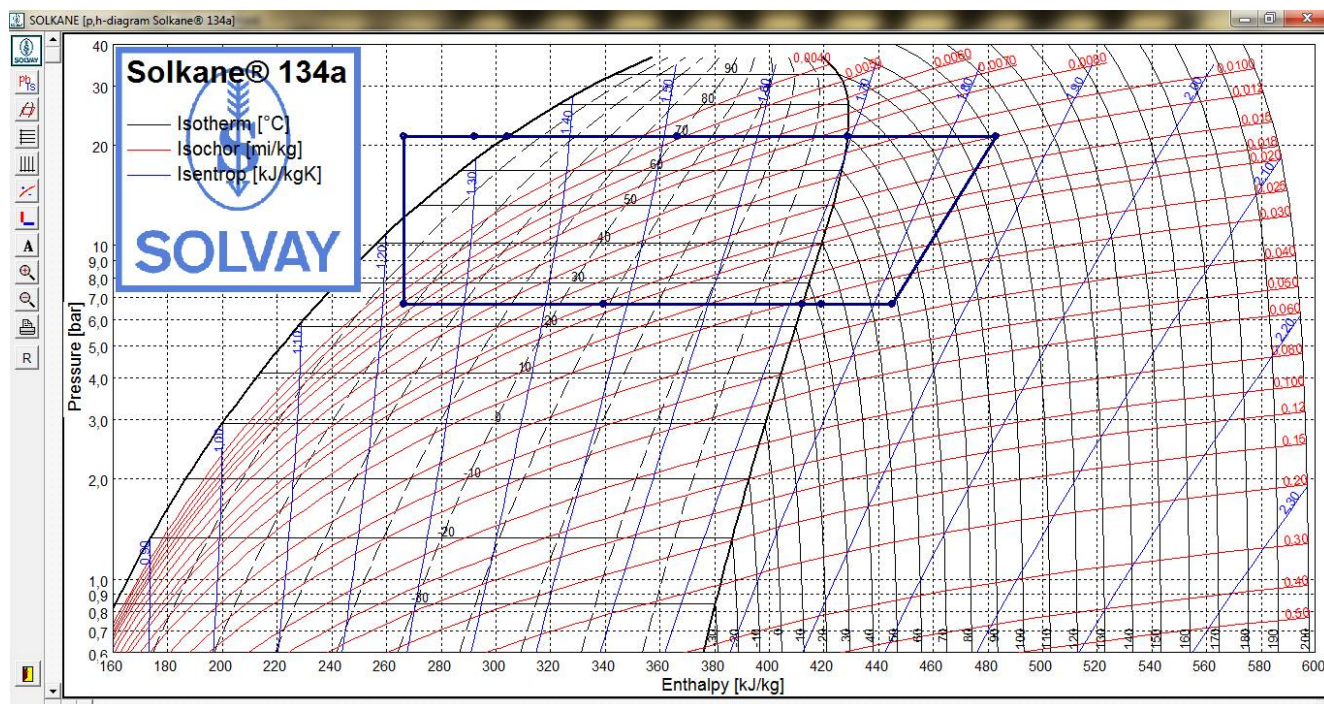


Рисунок 2.14 – Основні процеси на P-h діаграмі в SOLKANE SoftWare 8.0

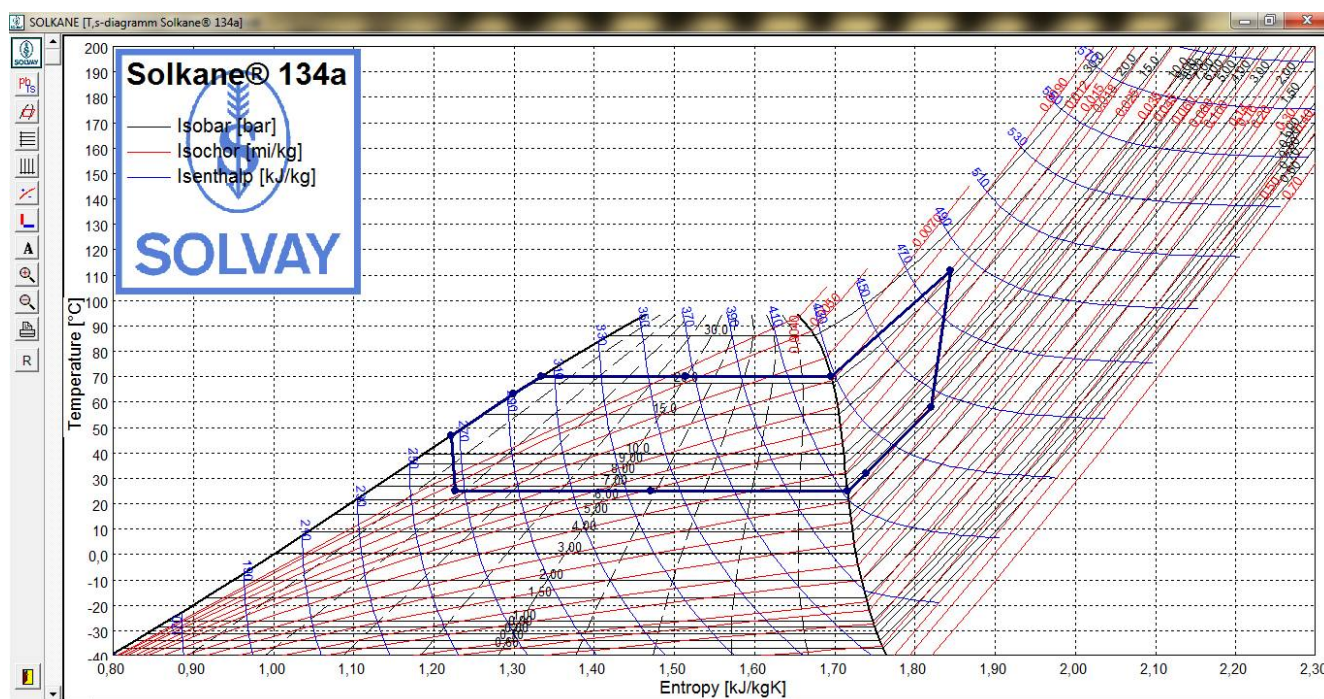


Рисунок 2.15 – Основні процеси на T-s діаграмі SOLKANE SoftWare 8.0

У цій бакалаврській дипломній роботі за допомогою SOLKANE SoftWare 8.0 було проведено моделювання та оцінку ефективності різних відновлюваних

джерел енергії в тепловій схемі ТНУ для котельні. Результати цих досліджень представлені на рис. 2.16 – 2.21.

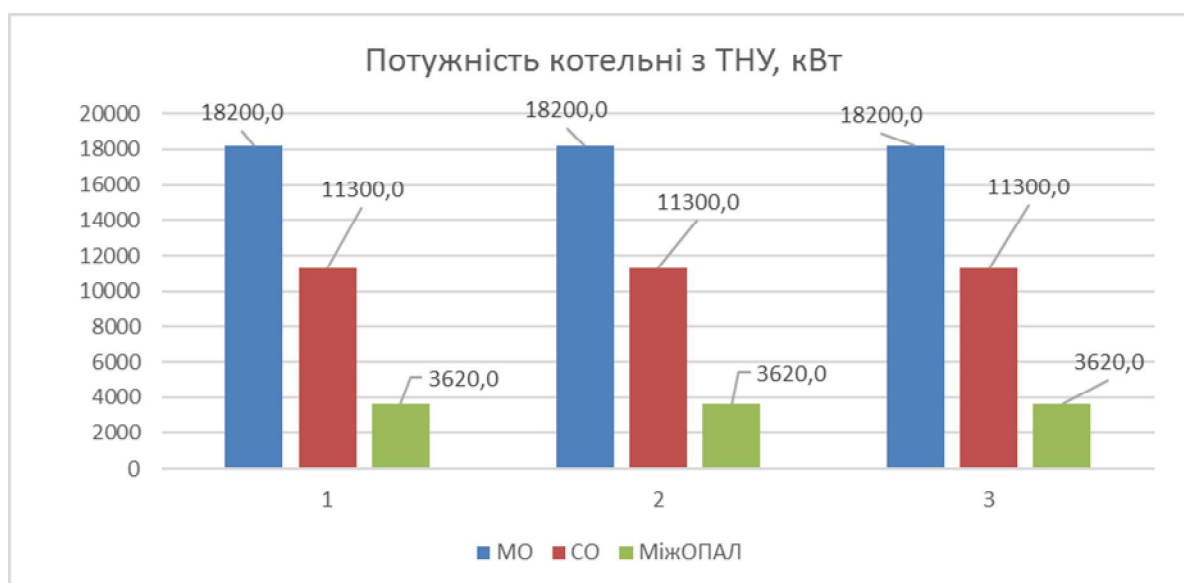


Рисунок 2.16 – Результати моделювання теплової потужності котельні з ТНУ

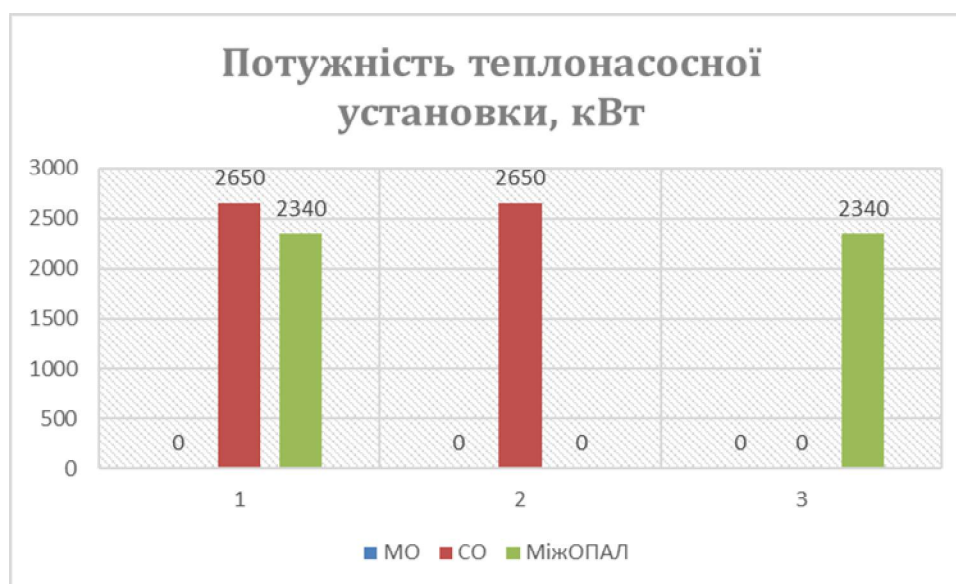


Рисунок 2.17 – Результати моделювання теплової потужності теплонасосної установки



Рисунок 2.18 – Результати моделювання електричної потужності ТНУ

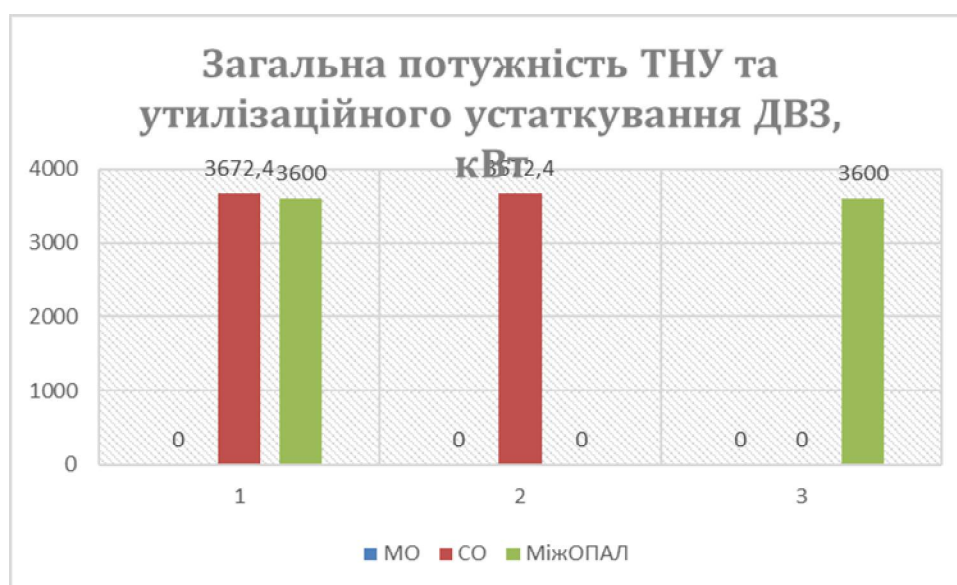


Рисунок 2.19 – Результати моделювання загальної теплової потужності ТНУ

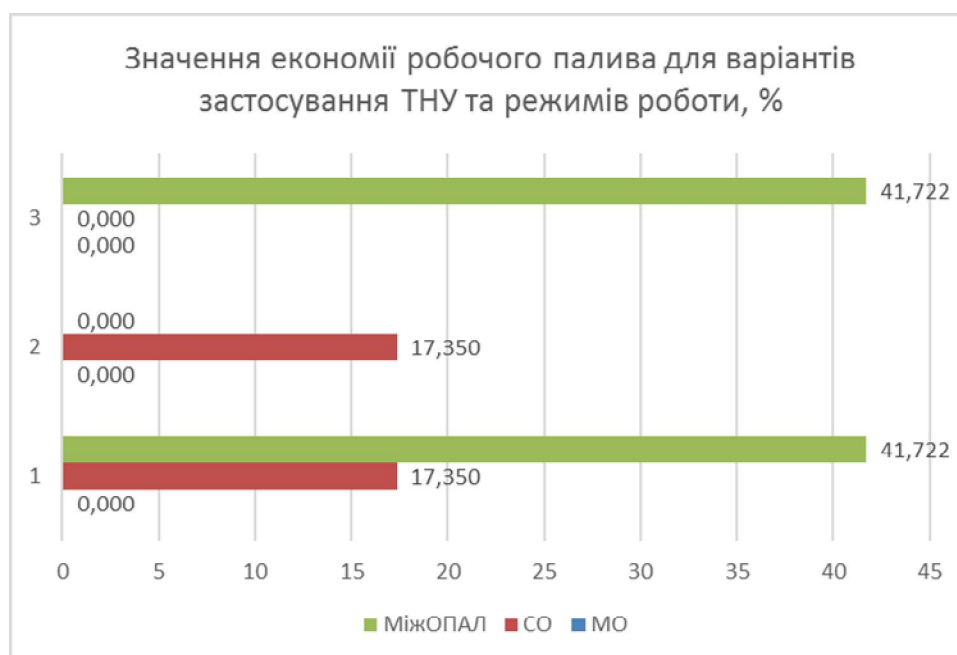


Рисунок 2.21 – Результати моделювання економії палива для варіантів застосування ТНУ, %



Рисунок 2.21 – Результати моделювання річної економії робочого палива для досліджуваних варіантів, %

Висновки

Комплексний багатокритеріальний аналіз у поєднанні з детальним техніко-економічним обґрунтуванням обраного варіанту модернізації дозволив встановити, що інтеграція відновлюваних енергетичних ресурсів у парокомпресійну теплонасосну систему котельної установки забезпечить скорочення споживання природного газу на рівні 29,8%. Економічна ефективність проекту характеризується зменшенням річних операційних витрат на суму 51,673 млн. грн. та оптимізацією собівартості генерованої теплової енергії. Інвестиційні витрати на придбання та встановлення модернізованого обладнання для котельної з інтегрованою ТНУ складають 42,055 млн. грн., що забезпечує швидке повернення вкладених коштів протягом 0,81 року.

У рамках даної бакалаврської кваліфікаційної роботи здійснено комп'ютерне моделювання за допомогою спеціалізованого програмного продукту SOLKANE SoftWare 8.0 та проведено кількісну оцінку ефективності альтернативних варіантів застосування відновлюваних енергетичних джерел у теплонасосній системі для теплової схеми котельної.

3 АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТЕПЛОВОЇ КОНФІГУРАЦІЇ КОТЕЛЬНОЇ З ТЕПЛОВИМ НАСОСОМ

3.1 Обчислення параметрів контактного рекуператора для режиму опалення

Дані обчислення потужностей контуру контактного рекуператора теплової енергії димових газів досліджуваної водонагрівальної опалювальної котельної у двох режимах опалювального функціонування котельні, виконаного згідно з методологією [17], наведені у таблиці 3.1

Таблиця 3.1 – Дані обчислення потужності контуру рекуператора

Параметр	Позначення	Розмірність	Математичний вираз	Значення
Обчислювальна витрата основного енергоносія котельної установки	B_p	$\text{м}^3/\text{с}$	Обираємо часткову утилізацію	0,36
Сумарна рекуперативна потужність	$Q_{\text{заг. ут}}$	МВт	$Q_{\text{заг. ут}} = Q_{\text{ут}} + Q_{\text{оп}}$	2,026
Масова погодинна витрата води крізь рекуператор	$G_{\text{ут}}$	$\text{кг}/\text{с}$	$G_{\text{ут}} = Q_{\text{заг. ут}} \cdot 1000 / ((t_1 - t_2) \cdot 4,19)$	32,24
Потужність пластинчастого теплообмінного апарата контуру «рекуператор-випарник»	$Q_{\text{то}}$	МВт	$Q_{\text{заг. ут}}$	2,026

Розрахунки потужностей контуру контактної утилізатора теплоти відхідних газів для досліджуваної водогрійної опалювальної котельні, виконані для двох опалювальних режимів, наведені в таблиці 3.1.

3.2 Розрахунок теплонасосної установки для теплової схеми опалювальної водогрійної котельні

Для теплової схеми опалювальної водогрійної котельні було проведено детальний розрахунок теплонасосної установки (ТНУ). Ці розрахунки виконувались у програмі SOLKANE SoftWare 8 з урахуванням використання холодоагенту R134a, а також із застосуванням методик, викладених у літературних джерелах [18 – 20]. Зведені результати розрахунків ТНУ доступні у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 - Зведені результати розрахунків ТНУ

Параметр	Позначення	Розмірність	Математичний вираз	Режим	
				СО	МіжОПАЛ
Теплоперепад	H_p	кДж/кг	$H_p = \frac{H_a}{\eta_{oi}^{KM}}$	33,33	49,33
Питома теплота конденсатора	q_k	кДж/кг	$q_k = h_2 - h_3$	143,33	143,33
Питома теплота випарника	q_v	кДж/кг	$q_v = h_1 - h_4$	110	94
Потужність ТНУ	Q_k	кВт	Задаємося	2750	2340
Масова витрата холодоагента	G_{xa}	кг/с	$G_{xa} = \frac{Q_k}{q_k \cdot \eta_{to}}$	19,23	16,87
Коефіцієнт перетворення енергії	φ		$\varphi = \frac{Q_k}{N_{KM}}$	4,00	2,71
Потужність компресора електрична	N_{KM}	кВт	$N_{KM} = \frac{G_{xa} \cdot H_p}{\eta_{em}}$	730	875
Потужність випарника тепла	Q_v	кВт	$Q_v = Q_k - N_{KM}$	2026	1495
Витрата води у випарнику	G_v	кг/с	$G_v = \frac{Q_v}{C_p \cdot (t'_v - t''_v) \cdot \eta_{to}}$	32,89	72,85
Витрата води в конденсаторі	G_k	кг/с	$G_k = \frac{Q_k}{C_p \cdot (t_{TNU} - t_{3B})}$	30,69	17,67

3.3 Розрахунок теплових потужностей утилізаторів приводного двигуна

Результати розрахунку теплових потужностей утилізаторів приводного двигуна для ТНУ, за методикою з [18-20], наведені у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Результати розрахунку теплових потужностей утилізаторів приводного двигуна для ТНУ

Параметр	Позначення	Розмірність	Математичний вираз	CO	МіжОПАЛ
Електрична потужність ДВЗ	$N_{\text{двз}}$	кВт	З розрахунку ТНУ	675	874,3
Витрата робочого палива (газу)	$B_p^{\text{д}}$	м ³ /с	$B_p^{\text{д}} = \frac{B_y^{\text{д}} \cdot Q_{\text{ну}}^{\text{р}}}{Q_{\text{н}}^{\text{р}}}$	0,0048	0,0046
Масова витрата відхідних газів після ДВЗ	$G_{\text{вг}}$	кг/с	$G_{\text{вг}} = B_p^{\text{д}} \cdot M_{\text{сум}}$	1,263	1,636
Теплова потужність утилізатора відхідних газів	$Q_{\text{ут}}$	кВт	$Q_{\text{ут}} = G_{\text{вг}} \cdot C_{\text{рг}} \cdot (t_{\text{д}} - t_{\text{ут}}) \cdot \eta_{\text{то}}$	466	605
Теплова потужність системи охолодження	$Q_{\text{ох}}$	кВт	$Q_{\text{ох}} = 0,2 \cdot B_p^{\text{д}} \cdot Q_{\text{н}}^{\text{р}} \cdot \eta_{\text{то}}$	347	449
Теплова потужність теплоутилізаційного устаткування	$\sum Q_{\text{ут}}$	кВт	$\sum Q_{\text{ут}} = Q_{\text{ут}} + Q_{\text{ох}}$	815	1,053
Масова витрата води в утилізаторі	$G_{\text{ут}}$	кг/с	$G_{\text{ут}} = \frac{Q_{\text{ут}}}{C_p \cdot (t_2 - t_1)}$	4,95	6,42

Результати розрахунку теплових потужностей утилізаторів приводного двигуна для ТНУ, за методикою з [18-20], наведені у таблиці 3.3.

3.4 Вибір теплонасосного та додаткового устаткування. Розробка монтажних технологій

Відповідно до результатів аналізу оптимального варіанту інтеграції відновлюваних енергетичних джерел у теплонасосну систему було здійснено технічний підбір необхідного обладнання на основі технічних джерел [21-24].

Концепція модернізованої теплової схеми передбачає інсталяцію високопотужної теплонасосної установки виробництва GEA з номінальною теплопродуктивністю 3000 кВт. Дана установка розрахована на експлуатацію у двох основних режимах: опалювальному (при середньому тепловому навантаженні) та міжопалювальному режимі роботи. Енергопостачання компресорного агрегату ТНУ здійснюватиметься за допомогою газового двигуна-генератора моделі 11ГД100М, що характеризується номінальною електричною потужністю на рівні 1000 кВт. Для забезпечення функціонування випарного контуру теплонасосної системи було обрано КТАН-утилізатор серії КТАН-2,3УГ, технічні характеристики якого дозволяють забезпечити теплову потужність у діапазоні від 0,3 до 3 МВт.

На базі спеціалізованої технічної літератури [25-34] було розроблено детальну технологічну схему монтажу теплообмінного обладнання для контурів теплонасосної установки. Результати відповідних інженерних розрахунків та технологічних рішень систематизовано у Додатку В.

Висновок

За підсумками технічного аналізу для реалізації оптимального варіанту використання відновлюваних енергоресурсів у теплонасосній системі модернізованої теплової схеми було підібрано комплект спеціалізованого обладнання відповідно до технічних вимог. Паралельно розроблено комплексну технологію інсталяції теплообмінних апаратів для контурної системи теплового

насосу, базуючись на сучасних технічних стандартах [25-34]. Детальні результати проектних розрахунків та технологічних рішень представлено у Додатку В.

4 АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕПЛОВОЇ СХЕМИ КОТЕЛЬНОЇ З ІНТЕГРОВАНОЮ ТНУ

4.1 Оцінка економічної ефективності котельні з ТНУ

Аналіз економічної ефективності котельні з ТНУ проведений за методикою з джерел [18-20, 35-37], результати наведені в табл. 4.1 та на рис. 4.1 – 4.4

Таблиця 4.1 – Дані обчислення економічної ефективності котельні з ТНУ

Параметр	Позначення	Розмірність	Математичний вираз	Значення
Інші витрати котельні	$C_{інші}$	грн/рік	$C_{інші} = 0,06 \cdot (C_{п} + C_{ел} + C_{в} + C_{з.п})$	13787343
Інші витрати котельні з ТНУ	$C_{інші}^M$	грн/рік	$C_{інші}^M = 0,06 \cdot (C_{п}^M + C_{ел}^M + C_{в}^M + C_{ам} + C_{з.п.} + C_{пр})$	10862435
Експлуатаційні витрати котельні	C_e	грн/рік	$C_e = C_{п} + C_{ел} + C_{в} + C_{з.п} + C_{інші}$	243576399
Експлуатаційні витрати котельні з ТНУ	C_e^M	грн/рік	$C_e^M = C_{п}^M + C_{ел}^M + C_{в}^M + C_{ам} + C_{з.п.} + C_{пр} + C_{інші}^M$	191903032
Економія експлуатаційних витрат	ΔC_e	грн/рік	$\Delta C_e = C_e - C_e^M$	51673366
Собівартість відпущеної теплоти котельні	$CB_{негод}$	грн/ГДж	$CB_{негод} = C_e / Q_{річ}$	1046,45
Собівартість відпущеної теплоти котельні з ТНУ	$CB_{год.}$	грн/ГДж	$CB_{год.} = C_e^M / Q_{річ}$	824,45
Економічна ефективність модернізації	$E_{ф}$	млн. грн/рік	$E_{ф} = (CB_{негод} - CB_{год.}) \cdot Q_{річ.}$	51673366
Термін окупності	T	рік	$T = K_{н.о.} / E_{ф}$	0,81

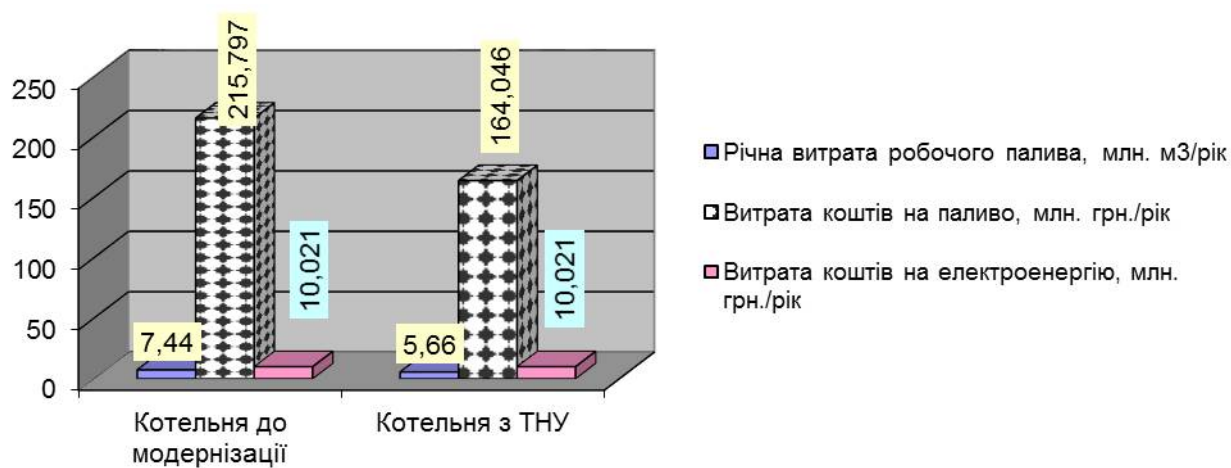


Рисунок 4.1 – Значення індикаторів економічної ефективності котельні

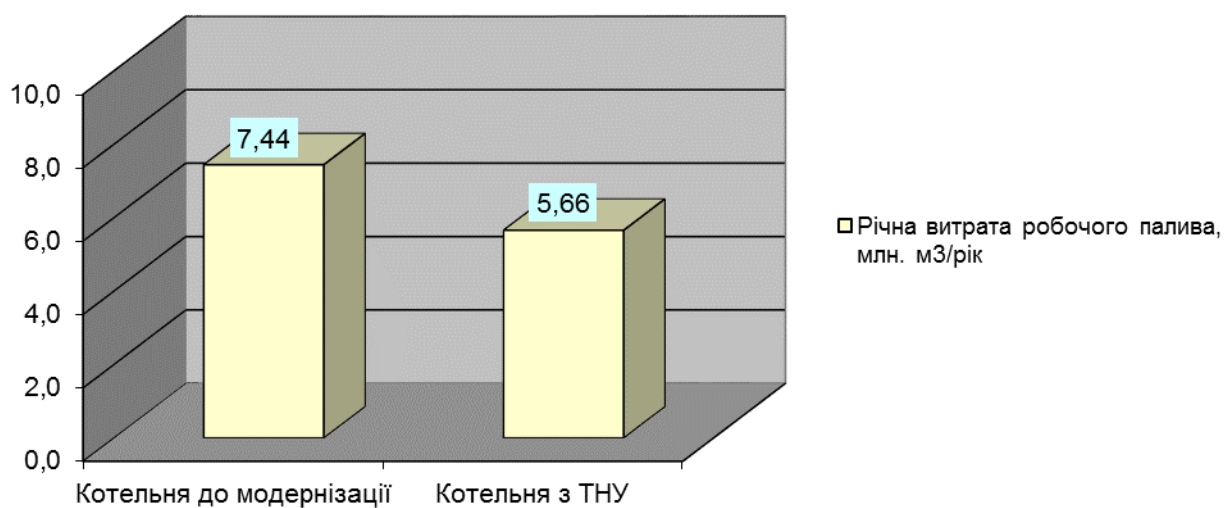


Рисунок 4.2 – Значення індикаторів економічної ефективності котельні

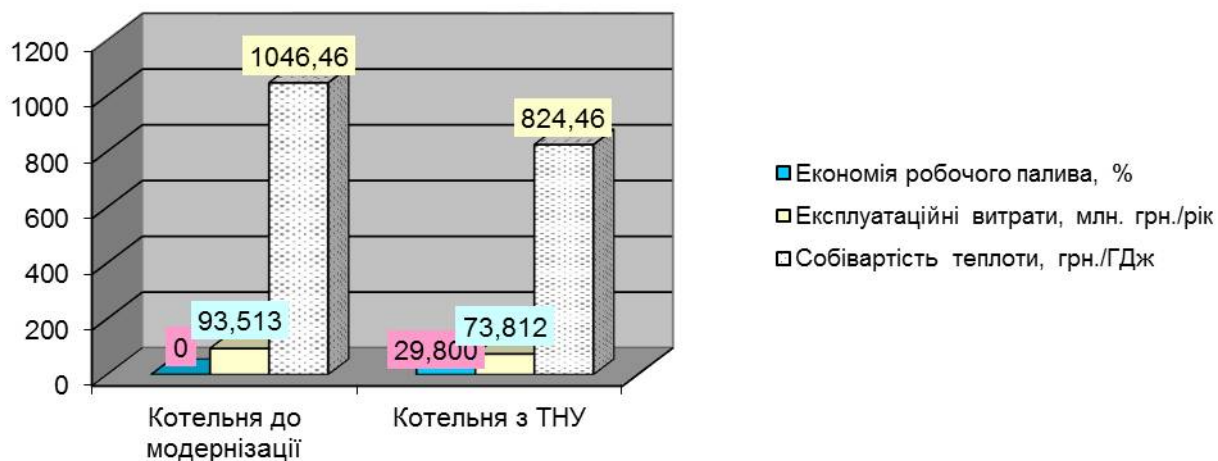


Рисунок 4.3 – Значення індикаторів економічної ефективності котельні

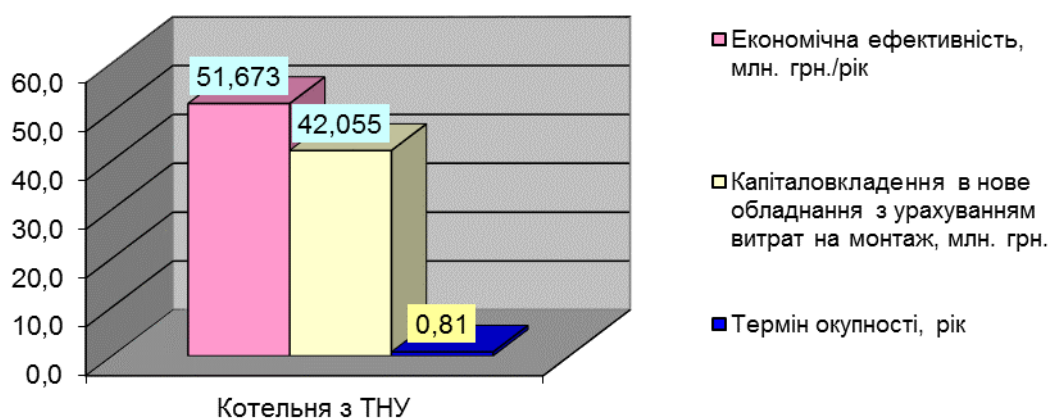


Рисунок 4.4 – Значення індикаторів економічної ефективності котельні

Висновки

Техніко-економічне обґрунтування обраного варіанту модернізації показало значні переваги його впровадження. Інтеграція відновлюваних джерел енергії в парокompresійну ТНУ забезпечує скорочення споживання природного газу на 29,8%. Економічний ефект виражається у зменшенні експлуатаційних витрат на

52,673 млн. грн. щорічно та зниженні собівартості теплової енергії. Інвестиційні витрати на впровадження нового обладнання оцінюються в 42,055 млн. грн., при цьому період повернення інвестицій становить лише 0,81 року.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

У цьому розділі бакалаврської роботи запропоновані заходи та засоби з охорони праці під час розробки проєктної документації опалювальної котельні з використанням альтернативних джерел енергії. В процесі виконання проєктних робіт на персонал мають вплив такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори [38, 39]:

1) фізичні: підвищена запиленість повітря робочої зони; підвищена та знижена температура повітря робочої зони; підвищена та знижена рухомість повітря; підвищена та знижена вологість повітря; підвищений рівень шуму на робочому місці; підвищений рівень інфразвукових коливань; підвищений рівень ультразвуку; небезпечне значення напруги в електричному колі, замикання якого може відбутись через тіло людини; підвищений рівень статичної електрики; нестача природного освітлення; недостатнє освітлення робочої зони; підвищена яскравість світла; знижена контрастність; прямий і відбитий блиск; підвищена пульсація світлового потоку;

2) психофізіологічні: фізичні перевантаження (статичні); нервово-психічні перенавантаження (розумові перенапруги, монотонність праці, перенапруга аналізаторів).

Технічні рішення з безпечної організації робочих місць.

Конструкція робочого місця проєктувальника повинна відповідати сучасним вимогам ергономіки та Гігієнічної класифікації праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу [38], характеру виконуваної роботи та забезпечити оптимальне розміщення на робочій поверхні документів, рухомого пюпітра (тримача документів) та обладнання ПК (монітора, системного блоку, клавіатури, пристрою «миша», принтера та інших периферійних пристроїв з урахуванням їх кількості та конструктивних особливостей). Площа одного робочого місця, обладнаного ПК, повинна складати не менше 6 м², а об'єм – не менше 20 м³.

Живлення силового обладнання проєктної організації та системи освітлення здійснюється від чотирьохпровідної трифазної мережі 380 х 220В (фазна напруга (фаза – "0") – 220В, а міжфазна лінійна (фаза – фаза) – 380В). Категорія умов по небезпеці електротравматизму – без підвищеної небезпеки.

Розташування монітора ПК має забезпечувати: безпечність роботи в цілому; зручність та ефективність зорової роботи з екраном в вертикальній площині під кутом $\pm 30^0$ від лінії зору, площа екрана при цьому має бути перпендикулярною нормальній лінії зору користувача.

Нульовий захисний провід прокладається від стійки групового розподільчого щита, розподільчого пункту до розеток живлення. Не допускається підключення на щиті до одного контактного затискача нульового робочого та нульового захисного провідників. Площа перерізу нульового робочого та нульового захисного провідника в груповій трипровідній мережі повинна бути не менше площі перерізу фазового провідника. Усі провідники повинні відповідати номінальним параметрам мережі та навантаження, умовам навколишнього середовища, умовам розподілу провідників, температурному режиму та типам апаратури захисту, вимогам ПВЕ. У приміщенні, де одночасно експлуатується або обслуговується більше п'яти персональних комп'ютерів, на помітному та доступному місці встановлюється аварійний резервний вимикач, який може повністю вимкнути електричне живлення приміщення, крім освітлення.

Комп'ютери та устаткування для їх обслуговування, ремонту та налагодження повинні підключатися до електромережі тільки з допомогою справних штепсельних з'єднань і електророзеток заводського виготовлення. Штепсельні з'єднання та електророзетки крім контактів фазового та нульового робочого провідників повинні мати спеціальні контакти для підключення нульового захисного провідника. Конструкція їх має бути такою, щоб приєднання нульового захисного провідника відбувалося раніше ніж приєднання фазового та нульового робочого провідників. Порядок роз'єднання при відключенні має бути зворотним. Необхідно унеможливити з'єднання контактів фазових провідників з контактами нульового захисного провідника.

Неприпустимим є підключення комп'ютерів та їх устаткування для обслуговування, ремонту та налагодження до звичайної двопровідної електромережі, в тому числі – з використанням перехідних пристроїв. Індивідуальні та групові штепсельні з'єднання та електророзетки необхідно монтувати на негорючих або важкогорючих пластинах з урахуванням вимог ПВЕ та Правил пожежної безпеки в Україні. Електромережу штепсельних розеток для живлення комп'ютерів та їх устаткування для обслуговування, ремонту та налагодження при розташуванні їх уздовж стін приміщення прокладають по підлозі поряд зі стінами приміщення, як правило, в металевих трубах і гнучких металевих рукавах з відводами відповідно до затвердженого плану розміщення обладнання та технічних характеристик обладнання. При розташуванні в приміщенні за його периметром до 5 комп'ютерів, використанні трипровідникового захищеного проводу або кабелю в оболонці з негорючого або важкогорючого матеріалу дозволяється прокладання їх без металевих труб та гнучких металевих рукавів.

Під час монтажу та експлуатації необхідно повністю унеможливити виникнення електричного джерела загоряння внаслідок короткого замикання та перевантаження проводів, обмежувати застосування проводів з легкозаймистою ізоляцією і, за можливості, перейти на негорючу ізоляцію. Під час ремонту ліній електромережі шляхом зварювання, паяння та з використанням відкритого вогню необхідно дотримуватися Правил пожежної безпеки в Україні. Лінія електромережі для живлення комп'ютерів, їх периферійних пристроїв та устаткування для обслуговування, ремонту та налагодження виконується як окрема групова трипровідна мережа, шляхом прокладання фазового, нульового робочого та нульового захисного провідників. Нульовий захисний провідник використовується для заземлення (занулення) електроприймачів. Використання нульового робочого провідника як нульового захисного провідника забороняється.

Є неприпустимими: експлуатація кабелів та проводів з пошкодженою або такою, що втратила захисні властивості за час експлуатації, ізоляцією; залишення під напругою кабелів та проводів з неізовольованими провідниками; застосування саморобних подовжувачів, які не відповідають вимогам до переносних

електропроводок; застосування для опалення приміщення нестандартного (саморобного) електронагрівального обладнання або ламп розжарювання; користування пошкодженими розетками, розгалужувальними та з'єднувальними коробками, вимикачами та іншими електровиробами, а також лампами, скло яких має сліди затемнення або випинання; підвішування світильників безпосередньо на струмопровідних проводах, обгортання електроламп і світильників папером, тканиною та іншими горючими матеріалами, експлуатація їх зі знятими ковпаками (розсіювачами); використання електроапаратури та приладів в умовах, що не відповідають вказівкам (рекомендаціям) підприємств-виготовлювачів.

Металеві труби та гнучкі металеві рукави повинні бути заземлені. Заземлення повинно відповідати вимогам ДНАОП 0.00-1.21-98 "Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів". Для підключення переносної електроапаратури застосовують гнучкі проводи в надійній ізоляції. Тимчасова електропроводка від переносних приладів до джерел живлення виконується найкоротшим шляхом без заплутування проводів у конструкціях машин, приладів та меблях. Доточувати проводи можна тільки шляхом паяння з наступним старанним ізолюванням місць з'єднання.

Електробезпека

Технічні рішення щодо запобігання електротравмам [40, 41]:

1) 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;

2) Електрозахисні засоби захисту

Персонал, який обслуговує електроустановки, повинен бути забезпечений випробуваними засобами захисту.

Використовуються основні та додаткові електрозахисні засоби. Основні (до 1000В): ізолювальні штанги; ізолювальні та струмовимірювальні кліщі; покажчики

напруги; діелектричні рукавиці; слюсарно-монтажний інструмент з ізольованими ручками. Додаткові (до 1000 В): діелектричні калоші; діелектричні килимки; переносні заземлення; ізолювальні накладки і підставки; захисні пристрої; плакати і знаки безпеки.

Перед застосуванням засобів захисту персонал зобов'язаний перевірити їх справність, відсутність зовнішніх пошкоджень, очистити і протерти від пилу, перевірити за штампом дату наступної перевірки. Користуватися засобами захисту, термін придатності яких вийшов, забороняється.

Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

Мікроклімат

Нормуються параметри мікроклімату в виробничих приміщеннях та гранично допустимі концентрації шкідливих речовин в повітрі робочої зони [42]. Тяжкість роботи розділяється на категорії залежно від загальних енерговитрат організму, ккал/с (Вт). Параметри мікроклімату в виробничому приміщенні для виконання проектних робіт наведено в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Нормування параметрів мікроклімату для постійних робочих місць

Період року	Категорія робіт	Температура, °C	Відносна вологість	Швидкість руху
Теплий	Ia	22-28	55 при 28°C	0,1-0,2
Холодний	Ia	21-25	75 при 25°C	Не більше 0,1

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату [43] на робочому місці інженера передбачається: в холодну пору року використання калорифера; в літню пору застосування вентиляторів обдува; провітрювання приміщення.

Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується концентраціями (ГДК) в мг/м [42]. В умовах роботи на граничнодопустимих концентраціях можливими

забруднювачами повітря робочої зони можуть бути пил та шкідливі гази, їх ГДК наведено в таблиці 5. 2.

Таблиця 5.2 – Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони оператора лінії

Назва речовини	ГДК, мг/м3		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньо добова	
Пил нетоксичний	0.5	0.15	4

Для забезпечення складу повітря робочої зони передбачено [42]: провітрювання приміщення; цілісність вікон для перешкоджання попадання пилу в приміщення під час роботи; встановлення пиловловлюючих засобів.

Виробниче освітлення

Характеристика зорових робіт – середньої точності [44]. Відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 розряд зорової роботи IV, підрозряд «в».

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 освітленням, що створюється за допомогою світлодіодних ламп E27 LED 15W NW A60 "SG". Висота підвісу світильників над робочою поверхнею 4,5 метра.

Таблиця 5.3 – Вимоги до освітлення приміщень виробничих підприємств

Характеристика 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	середній	середній	400	200	4	2,4

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 світлого 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.

Світильники з світлодіодними лампами розміщують рядами; що дозволяє здійснювати їх послідовне включення (відключення) в залежності від величини природної освітленості. При експлуатації здійснюється контроль за рівнем напруги освітлювальної мережі, своєчасна заміна перегорілих ламп, забезпечується чистота повітря у приміщенні.

Виробничий шум

Для відносної логарифмічної шкали в якості нульових рівнів обрані показники, що характеризують мінімальний поріг сприйняття звуку людським вухом на частоті 1000 Гц. Нормативним документом, який регламентує рівні шуму для різних категорій робочих місць службових приміщень, є «ССБТ. Шум. Загальні вимоги безпеки» [45] (таблиця 5.4).

Засоби боротьби із шумом в залежності від числа осіб, для яких вони призначені, поділяються на засоби індивідуального захисту і на засоби колективного захисту - «ССБТ. Засоби індивідуального захисту органів слуху. Загальні технічні умови і методи випробувань» і «Засоби і методи захисту від шуму. Класифікація».

Таблиця 5.4 – 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
Творча діяльність, конструювання і проєктування, програмування	86	71	61	54	49	45	42	40	38

Для зниження шуму в приміщенні 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.

Пожежна безпека

Пожежну безпеку промислових і інших об'єктів регламентують Правила пожежної безпеки в Україні [46, 47]. Пожежовибухонебезпечність речовин і матеріалів визначається за ДСТУ 8829: 2019 [48], за якою визначається категорія приміщень за вибуховою та пожежною безпекою [49].

Отже, приміщення комерційної будівлі, де розташована проєктна організація, за вибухонебезпекою та пожежонебезпекою відноситься до категорії Д – речовини і/або матеріали, що зазначені вище для категорій приміщень В (крім горючих газів, горючих пилу і/або волокон), а також негорючі речовини і/або матеріали в холодному стані (за температури навколишнього середовища), за умов, що приміщення, в яких знаходяться (зберігаються, переробляються, транспортуються) зазначені вище речовини і/або матеріали, не відносяться до категорій А, Б або В; з зонами П-III (місця, де зберігаються тверді горючі речовини). Пожежовибухонебезпечність речовин і матеріалів – сукупність властивостей, що характеризують їхню здатність до виникнення і поширення горіння. Наслідком горіння, залежно від його швидкості та умов протікання, можуть бути пожежа або вибух. Пожежо- вибухонебезпечність речовин і матеріалів визначають показниками,

вибір яких залежить від агрегатного стану речовини (матеріалу), та умов їхнього застосування. Будівля, в якій розташовані ці приміщення, характеризується IIIа ступенем вогнестійкості.

До IIIа ступеня вогнестійкості відносяться будинки переважно з каркасною конструктивною схемою. Елементи каркаса – з металевих незахищених конструкцій. Огороджувальні конструкції – з металевих профільованих листів або інших негорючих листових матеріалів з негорючим утеплювачем або утеплювачем груп горючості Г1 (низької горючості), Г2 (помірної горючості). Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвиликах) та максимальні межі поширення вогню по них (см) за ДБН В.1.1.7-2016 [50] наведено в таблиці 5.6.

Протипожежні перешкоди і мінімальні межі їх вогнестійкості за ДБН В.1.1.7-2016 [51] наведено в таблиці 5.7.

Протипожежні відстані між житловими, громадськими, адміністративно-побутовими будинками промислових підприємств, гаражами слід приймати за таблицею 5.8 (чисельник). В умовах забудови, що склалася, протипожежні відстані між житловими будинками та від житлових будинків до будівель і споруд іншого призначення слід визначати згідно з протипожежними вимогами даних норм, наведеними у таблиці 5.8. Протипожежні відстані від житлових, громадських, адміністративно-побутових будинків промислових підприємств, гаражів до виробничих, складських будинків і споруд слід приймати за таблицею 5.8 (знаменник) [52].

Таблиця 5.6 – Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій та максимальні межі поширення вогню по них

Ступінь вогнестійкості будинків	Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвилинах) і максимальні межі поширення вогню по них (см)								
	стіни				коло-ни	сходові площадки, костури, сходи, балки, марші сходових кліток	перекрыття між поверхів (у т.ч. горищні та над підвалами)	елементи суміщених покриттів	
	несучі та сходових кліток	само-несучі	зовнішні не-несучі	внутрішні не-несучі (перегородки)				плити, настільки, прогони	балки, ферми, арки, рами
IIIa	REI 60 M0	REI 30 M0	E 15 M1	E1 15 M1	R 15 M0	R 60 M0	REI 15 M0	RE 15 M1	R 15 M0

Таблиця 5.7 – Протипожежні перешкоди та мінімальні межі їх вогнестійкості

Протипожежні перешкоди	Типи протипожежних перешкод або їх елементів	Мінімальна межа вогнестійкості протипожежної перешкоди (у хвилинах)	Тип заповнення прорізів, не нижче	Тип протипожежного тамбуршлюзу, не нижче
Стіни	3	REI 45	2	2
Перегородки	2	EI 15	3	2
Перекриття	4	REI 15	3	2

Таблиця 5.8 – Протипожежні відстані між житловими, громадськими, адміністративно-побутовими будинками промислових підприємств, гаражами, а також до виробничих будинків, будівель і споруд

Ступінь вогнестійкості будинку	Відстані при ступені вогнестійкості будинків, м		
	I, II	III	IIIa, IIIб, IV, IVa, V
IIIa	10/12	10/15	15/18

На території комерційної будівлі, які реконструюються, передбачено встановлення 5 вогнегасників ВП-5 (ВВП-5) [53].

ВИСНОВКИ

У рамках даної бакалаврської кваліфікаційної роботи було розроблено систему заходів, спрямованих на оптимізацію енергетичної ефективності та ресурсозбереження водогрійної опалювальної котельні. Основним напрямком модернізації стало впровадження парокомпресійної теплонасосної установки (ТНУ), що використовує відновлювані енергетичні ресурси. Реалізація цього технічного рішення дозволила суттєво знизити показники енерго- та ресурсоемності процесу теплогенерації.

Проведений багатоваріантний енергетичний аналіз дозволив визначити оптимальне технічне рішення – парокомпресійну ТНУ з газопоршневим приводом, що працює на природному газі та використовує відновлювані джерела низькопотенційної теплоти. Система утилізує вторинні енергоресурси від контактного утилізатора та природну теплову енергію річкової води. Саме цей варіант модернізації продемонстрував найкращі техніко-економічні характеристики та був обраний для детального проектування.

Техніко-економічне обґрунтування обраного варіанту модернізації показало значні переваги його впровадження. Інтеграція відновлюваних джерел енергії в парокомпресійну ТНУ забезпечує скорочення споживання природного газу на 29,8%. Економічний ефект виражається у зменшенні експлуатаційних витрат на 52,673 млн. грн. щорічно та зниженні собівартості теплової енергії. Інвестиційні витрати на впровадження нового обладнання оцінюються в 42,055 млн. грн., при цьому період повернення інвестицій становить лише 0,81 року.

Практична частина роботи включала комп'ютерне моделювання в спеціалізованому програмному продукті SOLKANE SoftWare 8.0, що дозволило точно визначити ефективність різних варіантів використання відновлюваних енергоджерел у складі теплонасосної системи.

Технічне рішення передбачає встановлення високопотужного теплового насоса GEA (3000 кВт), що функціонуватиме в двох режимах: опалювальному (середнє навантаження) та міжопалювальному. Енергозабезпечення компресора

здійснюватиметься від газового двигуна-генератора моделі 11ГД100М з номінальною електричною потужністю 1000 кВт. Для випарного контуру ТНУ підібрано КТАН-утилізатор моделі КТАН-2,3УГ з діапазоном теплопродуктивності 0,3-3 МВт.

Окремо було опрацьовано технологічні аспекти монтажу теплообмінного обладнання для контуру теплонасосної системи.

Економічний аналіз підтвердив доцільність запропонованого технічного рішення. Використання відновлюваних енергоресурсів у парокомпресійній ТНУ дозволяє досягти економії природного газу на рівні 29,8%, зменшити річні експлуатаційні витрати на 52,673 млн. грн. та знизити собівартість виробленої теплової енергії. Необхідні капітальні інвестиції складають 42,055 млн. грн., термін окупності проекту – 0,81 року.

Додатково в роботі розглянуто питання забезпечення безпечних умов праці при експлуатації модернізованого обладнання.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Остапенко О. П., Козачук І. В., Рожко М. Д., Сергійчук М. С. Ефективність роботи гібридних теплонасосних установок для теплопостачання // *Наукове видання матеріалів міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2025)»*. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2025/paper/viewFile/25731/21312> (Дата звертання 02.06.25).
2. Теплові насоси в централізованих системах опалення та охолодження. URL: <https://heatpumpingtechnologies.org/heat-pumps-in-district-heating-and-cooling-systems/> (Дата звертання 02.06.25).
3. IEA Heat Pumping Technologies Annex 47 Heat Pumps in District Heating and Cooling Systems Task 2: Demonstration projects. URL: <https://heatpumpingtechnologies.org/annex47/wp-content/uploads/sites/54/2019/07/task-2-summary-report.pdf> (Дата звертання 02.06.25).
4. Heat Roadmap Europe: Potentials for Large-Scale Heat Pumps in District Heating. URL: <https://heatpumpingtechnologies.org/annex47/wp-content/uploads/sites/54/2019/07/heat-roadmap-europe.pdf> (Дата звертання 02.06.25).
5. REPORT. IEA Heat Pumping Technologies Annex 47. Heat Pumps in District Heating and Cooling Systems. Task 4: Implementation barriers, possibilities and solutions. URL: <https://heatpumpingtechnologies.org/annex47/wp-content/uploads/sites/54/2019/02/task4-report-.pdf> (Дата звертання 02.06.25).
6. IEA Heat Pumping Technologies Annex 47 Heat Pumps in District Heating and Cooling Systems Task 3: Review of concepts and solutions of heat pump integration URL: <https://heatpumpingtechnologies.org/annex47/wp-content/uploads/sites/54/2019/03/task3-report.pdf> (Дата звертання 02.06.25).
7. Які країни відмовляються від обігрівачів на викопному паливі? URL: https://www.ehpa.org/2023/04/17/ehpa_news/which-countries-are-ending-fossil-fuel-heaters/ (Дата звертання 02.06.25).

8. Досягнення цілей ЄС щодо теплових насосів зменшить рахунки за опалення на 20% – звіт. URL: https://www.ehpa.org/2023/04/26/ehpa_news/meeting-eu-heat-pump-goals-will-slash-20-off-heating-bills-report/ (Дата звертання 02.06.25).

9. Ткаченко С. Й., Чепурний М. М., Степанов Д. В. Розрахунки теплових схем і основи проектування джерел теплопостачання : навч. посіб. Вінниця: ВНТУ, 2005. 137 с.

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

11. Остапенко О. П. Методичні основи з оцінювання енергоекономічної ефективності систем енергозабезпечення з когенераційно-теплонасосними установками та піковими джерелами теплоти. Наукові праці ОНАХТ. 2017. Т. 81. Вип. 1. С. 136 – 141.

12. Остапенко О. П. Методичні основи з комплексного оцінювання енерго-еколого-економічної ефективності систем енергозабезпечення з когенераційно-теплонасосними установками та піковими джерелами теплоти . Наукові праці ВНТУ. 2017. № 3. URL: <https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/515/507> (Дата звертання 02.06.25).

13. European Environment Agency. URL: <https://www.eea.europa.eu/> (Дата звертання 02.06.25).

14. 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.

15. 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.

16. SOLKANE Refrigerants 8.0. URL: <https://solkane-refrigerants.software.informer.com/8.0/> (Дата звертання 02.06.25).

17. Застосування систем утилізації вологих газів для підвищення енергозбереження в котельних установках. URL: <https://patriot-nrg.com/uk/content/zastosuvannya-system-utyilizaciyi-vologyh-gaziv-dlya-pidvyshchennya-energozberezhennya-v> (Дата звертання 02.06.25).

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

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

20. Остапенко О. П., Бакум О. В., Ющишина А. В. Енергетичний, екологічний та економічний аспекти ефективності теплонасосних станцій на природних та промислових джерелах теплоти. Наукові праці ВНТУ. 2013. № 3. URL: <http://praci.vntu.edu.ua/article/viewFile/3040/4626>. (Дата звертання 02.06.25).

21. Газопоршневі двигуни. URL : <http://220volt.com.ua/generatory/generac> (Дата звертання 02.06.25).

22. Промислові теплові насоси. URL: <https://www.geoteplo.com.ua/ua/katalog/catalogochsnere/heating/119industrie.html> (Дата звертання 02.06.25).

23. Контактний утилізатор КТАН-2,3УГ. URL: <http://goct.info/Data1/41/41822/index.htm>. (Дата звертання 02.06.25)

24. GLONG Product Catalogue. 80 Min / 700 MB. Fujian Glong Electric Group Co. Ltd. China, 2019. 1 електрон. опт. диск (CDROM); 12 см. Назва з контейнера.

25. Теплоенергетичне обладнання ОПЕКС. URL: <https://opeks.energy.ua/plastinchastij-teploobminnik-thermaks-rta-gx-26/> (Дата звертання 02.06.25).

26. ДБН Д.2.4-15-2000 Збірник 20. Внутрішні сантехнічні роботи. Київ: Держстандарт України, 1999. 107 с.
27. ДБН Д.2.3-12-99. Збірник 12. Технологічні трубопроводи. Київ: Держстандарт України, 2000. 46 с.
28. ДСТУ-Н Б В.2.5-68:2012. Настанова з будівництва, монтажу та контролю якості трубопроводів зовнішніх мереж водопостачання. Київ: Держстандарт України, 2012. 50 с.
29. Вантажні автомобілі. Каталог. URL: <http://interdalnoboy.com/gruzoviki/zil>. (Дата звертання 02.06.25).
30. Каталог кранів на спец шасі URL: <http://promspectehcentr.ru/krany>. (Дата звертання 02.06.25).
31. Каталог обладнання для електричного зварювання URL: <https://dnipro-m.ua/uk/svarochnoe-oborudovanie/apparat-invertor-sab/>. (Дата звертання 02.06.25).
32. Перфоратори. URL: <https://rozetka.com.ua/makita> (Дата звертання 02.06.25).
33. Кутові шліфмашини URL: <https://rozetka.com>. (Дата звертання 02.06.25).
34. Каталог будівельних машин і інструментів URL: <http://powertools.co.nz>. (Дата звертання 02.06.25).
35. Ostapenko O. P. Principles for selection of the areas of energy-ecological-economic efficiency of energy supply systems with cogeneration heat pump installations and peak sources of heat, Proceedings of the Second International Scientific and Practical conference «Applied Scientific and Technical Research –2018» (April 5 – 8, 2018, Academy of Technical Sciences of Ukraine, Ivano-Frankivsk city), Ivano-Frankivsk : Forte Symphony, 2018, p. 69.
36. Остапенко О. П, Портнов В. М., Волошин А. Д. Показники енергоекономічної ефективності систем енергозабезпечення на основі когенераційно-теплонасосних установок та пікових джерел теплоти. Електронне наукове видання матеріалів XLVI науково-технічної конференції Вінницького національного технічного університету (22 – 24 березня 2017 р., Вінниця). URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-btegp/all-fbtegp-2017/paper/view/2875/2248>. (Дата звертання 02.06.25).

37. Ostapenko O. P. Estimation of energy-ecological-economic efficiency of energy supply systems with cogeneration heat pump installations in Ukraine, in the concepts of green logistics and sustainable development / O. P. Ostapenko // Institutional Development Mechanism Of The Financial System Of The National Economy: Collective monograph. – Batumi: Publishing House “Kalmosani”, 2020, 232 p. – P. 52 – 66. . ISBN 978-9941-9691-0-2.

38. 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 (Дата звертання 02.06.25).

39. 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 02.06.25).

40. 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.

41. 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.

42. 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 02.06.25).

43. 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 02.06.25).

44. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. К. : Мінрегіонбуд України, 2013. 149 с.
45. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. [Чинний від 2019-03-01]. Вид. офіц. К. : Мінрегіонбуд України, 2018. 133 с.
46. 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 02.06.25).
47. 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 02.06.25).
48. НАПБ А.01.001-14. Правила пожежної безпеки в Україні. [Чинний від 2021-01-22]. Вид. офіц. К. : МВС України, 2014. 47 с.
49. ДСТУ 8828:2019. Пожежна безпека. Загальні положення. [Чинний від 2020-01-01]. Вид. офіц. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2020. 84 с.
50. ДСТУ 8829:2019. Пожежовибухонебезпечність речовин і матеріалів. Номенклатура показників і методи їхнього визначення. Класифікація. [Чинний від 2020-01-01]. Вид. офіц. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2020. 75 с.
51. ДСТУ Б В.1.1-36:2016. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпек. [Чинний від 2017-01-01]. Вид. офіц. К. : Мінрегіонбуд України, 2016. 31 с.
52. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. [Чинний від 2017-02-01]. Вид. офіц. К. : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2016. 35 с.
53. Про затвердження Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників. Наказ МВС № 765 від 28.10.2020. [Чинний від 2021-01-26]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0225-18#Text>. (Дата звертання 02.06.25).

Додатки

Додаток А
(обсяг з'язковий)
ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: Теплонасосна установка в тепловій схемі опалювальної котельні

Тип роботи: бакалаврська кваліфікаційна робота
(бакалаврська кваліфікаційна робота / магістерська кваліфікаційна робота)

Підрозділ: ФХДІІ, кафедра ТЕ, група ТЕ-216
(кафедра, факультет, навчальна група)

Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі системою StrikePlagiarism 23,5 %

Висновок щодо перевірки кваліфікаційної роботи (відмітити потрібне)

- ☒ Запозичення, виявлені у роботі, є законними і не містять ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації. Роботу прийняти до захисту
- ☐ У роботі не виявлено ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації, але надмірна кількість текстових запозичень та/або наявність типових розрахунків не дозволяють прийняти рішення про оригінальність та самостійність її виконання. Роботу направити на доопрацювання.
- ☐ У роботі виявлено ознаки плагіату та/або текстових маніпуляцій як спроб укриття плагіату, фабрикації, фальсифікації, що суперечить вимогам законодавства та нормам академічної доброчесності. Робота до захисту не приймається.

Експертна комісія:

Степанов Д.В., зав. кафедри ТЕ
(прізвище, ініціали, посада)

Резидент Н.В., доцент кафедри ТЕ
(прізвище, ініціали, посада)

Особа, відповідальна за перевірку

Співак О.Ю.
(прізвище, ініціали)

З висновком експертної комісії ознайомлений(-на)

Керівник

Остапенко О.П.

Здобувач

Сергійчук М.С.

У відповідності до розпорядження 03/15 від 01.06.2022 р на засіданні кафедри теплоенергетики прийнято рішення виключити в кваліфікаційних роботах здобувачів кафедри з перевірки на наявність текстових запозичень розділ Охорони праці та Економічний розділ.

Протокол засідання кафедри ТЕ № 18 від 14.05.2024 р.

Зав. кафедри

Д.В. Степанов

Додаток Б
(обов'язковий)

УЗГОДЖЕНО

" ____ " ____ 2025 р.

ЗАТВЕРДЖЕНО

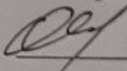
Завідувач кафедри ТЕ

Д. В. Степанов

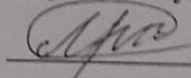
" 26 " 03 2025 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ
до бакалаврської кваліфікаційної роботи
ТЕПЛОНАСОСНА УСТАНОВКА В ТЕПЛОВІЙ СХЕМІ
ОПАЛЮВАЛЬНОЇ КОТЕЛЬНОЇ
за спеціальністю
144 – теплоенергетика
08-15.БКР.004.00.00.000 ТЗ

Керівник бакалаврської
кваліфікаційної роботи

 к.т.н., доц. Остапенко О. П.
"25" березня 2025 р.

Розробив студент гр. ТЕ-216

 Сергійчук М. С.
"25" березня 2025 р.

Вінниця ВНТУ 2025

1 Найменування і область використання продукції

Парокомпресійна теплонасосна установка в тепловій схемі котельні призначена для забезпечення потреб опалення та гарячого водопостачання споживачів.

Застосування ТНУ призводить до 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 бакалаврську роботу, вихідні дані з підприємства, наказ ректора ВНТУ №97 від 20.03.2025 р. про затвердження теми БКР.

3 Мета та призначення розробки

Метою проектування є підвищення енергоефективності котельні з використанням ТНУ, визначення раціональної схеми застосування теплонасосної установки в тепловій схемі котельні для забезпечення теплових навантажень.

Аналіз і визначення показників роботи існуючої теплової схеми. Розробка варіантів застосування теплонасосної установки, яка включає в себе: техніко-економічне обґрунтування можливих проектних рішень; визначення на підставі багатоваріантного аналізу оптимального варіанту застосування теплонасосної установки; вибір основного і допоміжного обладнання теплонасосної установки.

4 Джерела розробки

Основою для розробки є індивідуальне завдання на бакалаврську роботу, дані багатьох літературних джерел та інші технічні матеріали про ефективність застосування теплонасосної установки на підприємствах промислової теплоенергетики.

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

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

4.3. Остапенко О. П., Бакум О. В., Ющишина А. В. Енергетичний, екологічний та економічний аспекти ефективності теплонасосних станцій на природних та промислових джерелах теплоти. Наукові праці ВНТУ. 2013. № 3. URL: <http://praci.vntu.edu.ua/article/viewFile/3040/4626>. (Дата звертання 28.03.25).

4.4. Остапенко О. П., Портнов В. М., Волошин А. Д. Показники енергоекономічної ефективності систем енергозабезпечення на основі когенераційно-теплонасосних установок та пікових джерел теплоти. Електронне наукове видання матеріалів XLVI науково-технічної конференції Вінницького національного технічного університету (22 – 24 березня 2017 р., Вінниця). URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-btegp/all-fbtegp-2017/paper/view/2875/2248>. (Дата звертання 28.03.25).

4.5. Ostapenko O. P. Principles for selection of the areas of energy-ecological-economic efficiency of energy supply systems with cogeneration heat pump installations and peak sources of heat, Proceedings of the Second International Scientific and Practical conference «Applied Scientific and Technical Research –2018» (April 5 – 8, 2018, Academy of Technical Sciences of Ukraine, Ivano-Frankivsk city), Ivano-Frankivsk : Forte Symphony, 2018. P. 69.

4.6. Ostapenko O. P. Estimation of energy-ecological-economic efficiency of energy supply systems with cogeneration heat pump installations in Ukraine, in the concepts of

green logistics and sustainable development. Institutional Development Mechanism Of The Financial System Of The National Economy: collective monograph. Batumi: Publishing House “Kalmosani”, 2020, 232 p. P. 52 – 66. ISBN 978-9941-9691-0-2.

4.7. 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.

5 Технічні вимоги

Головною вимогою є отримання теплової енергії у вигляді пари з параметрами, які відповідають графікам теплових навантажень.

Забезпечення потужностей споживачів: потужність системи опалення 14,57 МВт; потужність системи гарячого водопостачання 3,62 МВт; температурний графік теплової мережі 95/70°C; паливо – природний газ; теплота згорання палива 34,2 МДж/м³.

Забезпечення власних потреб в тепловій енергії.

6 Економічні показники

Створення об'єкту повинно вестись з малими витратами праці та з мінімальними затратами виробництва. Проаналізувати декілька варіантів застосування теплонасосної установки і вибрати оптимальний, на підставі техніко-економічних розрахунків, здійснити економічне обґрунтування доцільності застосування теплонасосної установки, за оптимальним варіантом, визначивши річні витрати палива, визначити економію палива. Проаналізувати техніко-економічні показники роботи 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 бакалаврської кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Теплові насоси в Україні: огляд ринку та перспективи розвитку. Загальна характеристика ринку	25.03.25...27.03.25	
2	Комплексний багатокритеріальний аналіз та техніко-економічне обґрунтування оптимального варіанту модернізації	28.03.25...05.04.25	
3	Аналіз ефективності функціонування теплової конфігурації котельної з тепловим насосом	06.04.25...18.04.25	
4	Аналіз ефективності теплової схеми котельні з інтегрованою ТНУ	19.04.25...06.05.25	
5	Охорона праці	07.05.25...20.05.25	
6	Оформлення БКР	21.05.25...30.05.25	
7	Попередній захист БКР	31.05.25...10.06.25	
8	Захист БКР	11.06.25...21.06.25	

Дата видачі завдання «25» березня 2025 р.

Крайні терміни виконання «10» червня 2025 р.

8 Порядок контролю та прийняття

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

9 Корегування технічного завдання допускається з дозволу керівника БКР.

ДОДАТОК В

(довідковий)

ТЕХНОЛОГІЯ МОНТАЖУ ПЛАСТИНЧАСТОГО ТЕПЛООБМІННИКА В КОНТУРІ ВИПАРНИКА ТЕПЛОВОГО НАСОСУ ТЕПЛОВОЇ СХЕМИ КОТЕЛЬНОЇ

В БКР розробляється технологія монтажу пластинчастого теплообмінника THERMAKS, який працює в контурі випарника теплового насоса, теплової схеми котельні заводу.

Теплонасосна установка за допомогою теплообмінника відбирає тепло від контактних утилізаторів. У даному теплообміннику значення теплового потоку залежить від різниці температур теплоносіїв і коефіцієнта теплопередачі. Вода з утилізатора за допомогою насоса подачі всмоктується і проходить через проміжний пластинчастий теплообмінник у випарник. Порівняно з іншими джерелами тепла, вони дозволяють отримати найвищу температуру. Вода з утилізатора не є досить дорогим джерелом тепла, але вона може використовуватися лише в тому випадку, якщо відповідає вимогам щодо якості води. Дотримання цих вимог важливе для ефективної роботи теплового насоса.

Принципова тепла схема котельні з пластинчастим теплообмінником в контурі випарника теплонасосної установки наведена на рис. В.1.

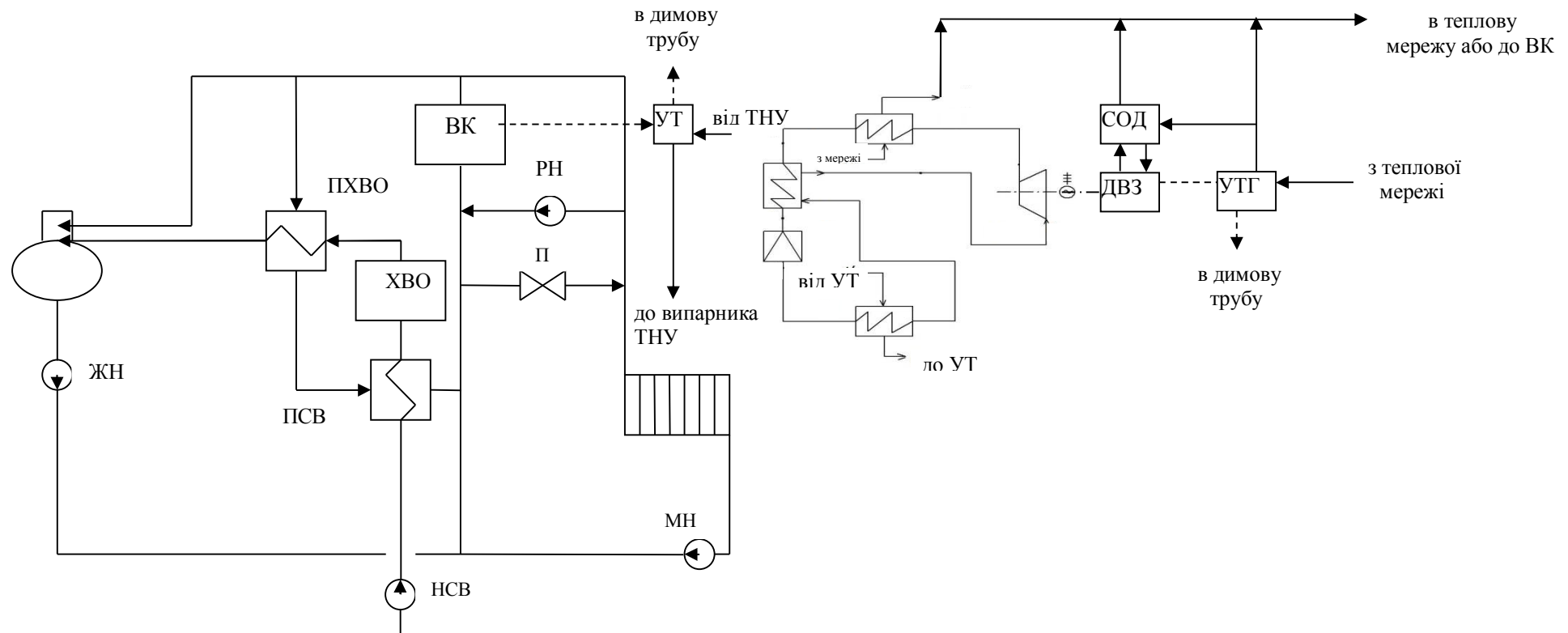


Рисунок В.1 – Теплова схема водогрійної котельні з ТНУ та ДВЗ

ЖН – живильний насос; МН – мережний насос; ПСВ – підігрівник сирової води; ПХВО – підігрівник хіміочищеної води;

НСВ – насос сирової води; ЛП – лінія перепустки; ВК – водогрійний котел; ХВО – хімводоочистка, УТ – контактний утилізатор теплоти відхідних газів котлів, ТНУ – теплонасосна установка, ДВЗ – газопоршневий двигун внутрішнього згорання, СОД – система охолодження двигуна, УТГ – утилізатор теплоти газів від двигуна

Розрахунок теплообмінника проміжного контуру.

Теплообмінник, що проектується призначений для відбирання теплоти від ґрунтових вод.

Технічні вимоги.

Теплова потужність $Q = 31,43$ (кВт).

Коефіцієнт теплопередачі отримано із характеристики теплообмінника, $k=1435,3$ (Вт/(м²К)).

Температура грійної води на вході $t'_1 = 15$ (°C).

Температура грійної води на виході $t''_1 = 12$ (°C).

Температура води, що нагрівається, на вході $t'_2 = 5$ (°C).

Температура води, що нагрівається, на виході $t''_2 = 10$ (°C).

На рис. В.1 зображено протиточну схему руху теплоносіїв у теплообміннику.

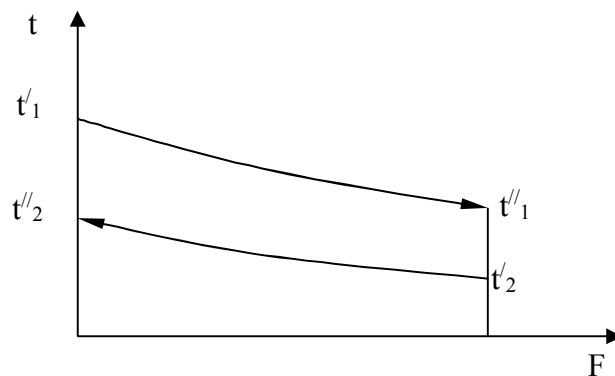


Рисунок В.1 – Схема руху теплоносіїв у теплообміннику

Середній температурний напір протитоку

$$\Delta t_{\text{cp}} = \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_{\text{м}}}{\ln \frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_{\text{м}}}}, \quad (\text{В.1})$$

де $\Delta t_{\delta}, \Delta t_{\text{м}}$ – відповідно більша і менша різниця температур.

Більша і менша різниці температур:

$$\Delta t_{\text{г}} = t_1'' - t_2';$$

$$\Delta t_{\text{г}} = 12 - 5 = 7 \text{ (}^{\circ}\text{C)}.$$
(B.2)

$$\Delta t_{\text{м}} = t_1' - t_2'';$$

$$\Delta t_{\text{м}} = 15 - 10 = 5 \text{ (}^{\circ}\text{C)}.$$
(B.3)

Отже середній температурний напір протитоку:

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{7-5}{\ln \frac{7}{5}} = 5,94, \text{ (}^{\circ}\text{C)}.$$

Площа поверхні теплообміну апарата

$$F_{\text{а}} = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{\text{ср}}},$$

$$F_{\text{а}} = \frac{31,43 \cdot 10^3}{1435,3 \cdot 5,94} = 3,7 \text{ (м}^2\text{)}.$$
(B.4)

Висновок: за даними параметрами обираємо теплообмінник Thermaks РТА (GL)-8-Р-32-34-2.4-1К, потужністю до 32 кВт.

Площа однієї пластини 1,67 м². Тоді кількість пластин

$$n = (F_{\text{а}} + 2 \cdot f) / f,$$
(B.5)

де f – площа однієї пластини.

$$n = (3,7 + 2 \cdot 1,67) / 1,67 = 7,4.$$

Приймаємо $n=8$ (шт).

Товщина пластини $\delta=0,3$ мм.

Площа теплообмінника

$$F_a = n \cdot f \quad (B.6)$$

$$F_a = 8 \cdot 1,67 = 13,4 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Конструктивні характеристики та габаритні розміри проектованого теплообмінника показані на рис. В.2. Маса теплообмінного апарату $M=51$ (кг), діаметр штуцерів $D=32$ (мм).

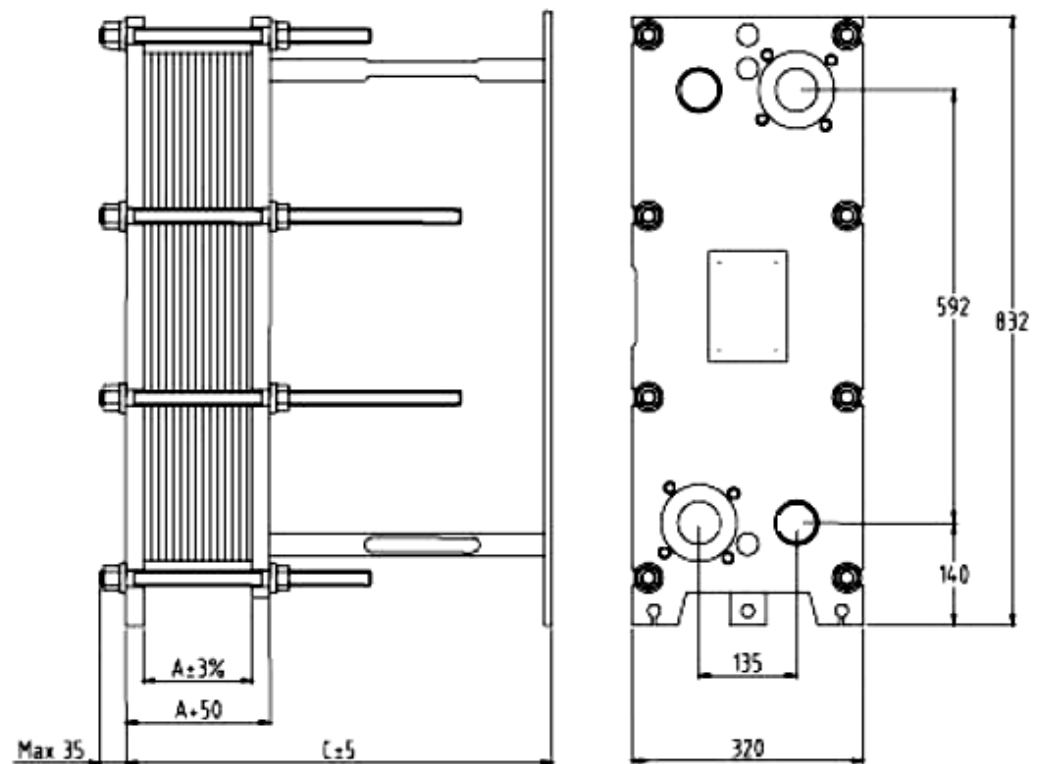


Рисунок В.2 – Теплообмінний апарат проміжного контуру.

Розрахунок та комплектування основних і допоміжних матеріалів і виробів, складання відомостей для монтажу пластинчастого теплообмінника проміжного контуру

Розрахунок та комплектування основних та допоміжних матеріалів та виробів наведенні у таблиці В.1.

Таблиця В.1 – Відомість витрат матеріалів

№ п.п	Найменування матеріалу	Один иці вимір ю- вання	Кіль- кість	Маса одиниці, кг	Маса, кг
1	2	3	4	5	6
Потреба в основних матеріалах					
1	Трубопроводи зі сталевих труб із зварними стиками, що монтуються з готових вузлів, діаметр 50 мм ГОСТ 10704-91.	м	4,1	3,5	14,35
2	Трубопроводи зі сталевих труб із зварними стиками, що монтуються з готових вузлів, діаметр 15 мм ГОСТ 10704-91.	м	23,15	0,5	11,57
3	Трубопроводи зі сталевих труб із зварними стиками, що монтуються з готових вузлів, діаметр 32 мм ГОСТ 10704-91.	м	6,7	2,15	14,4
4	Засувка чавунна Ду50 ГОСТ 9544	шт	3	18	54
5	Засувка чавунна Ду32 ГОСТ 9544	шт	6	4,3	25,8

Продовження таблиці В.1

1	2	3	4	5	6
6	Засувка чавунна Ду15 ГОСТ 9544	шт	5	1	5
7	Фільтр грубої очистки Ду50	шт	1	12	12
8	Фільтр грубої очистки Ду32	шт	1	6	6
9	Насос 1,5 SCM20 Ду50	шт	1	64,4	64,4
10	Насос 1,5 SCM20 Ду50	шт	1	56	56
11	Теплообмінник пластинчастий F=13,4м ²	шт	1	51	51
12	Клапан зворотній стальний Ду50	шт	1	17,5	17,5
13	Клапан зворотній стальний Ду32	шт	1	9	9
Потреба у допоміжних матеріалах					
Матеріали для монтажу труб Ду50 Група 6					
	Білило густотерте цинкове МА-011-1	т	0,041	0,00005	0,002
	Дріт зварний легований, діаметр 4 мм	т	0,041	0,00026	0,0107
	Електроди, діаметр 5 мм, марка Э42А	т	0,041	0,001	0,041
	Оліфа натуральна	кг	0,041	0,02	0,0008
	Вода	м ³	0,041	2,75	0,113
	Прядиво лляне	т	0,041	0,00002	0,0008
Матеріали для монтажу труб Ду32 Група 6					
	Білило густотерте цинкове МА-011-1	т	0,067	0,00012	0,008

Продовження таблиці В.1

1	2	3	4	5	6
	Дріт зварний легований, діаметр 4 мм	т	0,067	0,00017	0,0114
	Електроди, діаметр 5 мм, марка Э42А	т	0,067	0,0014	0,094
	Оліфа натуральна	кг	0,067	0,06	0,004
	Вода	м ³	0,067	1,13	0,076
	Прядиво лляне	т	0,067	0,00006	0,004
Матеріали для монтажу труб Ду15 Група 6					
	Білило густотерте цинкове МА-011-1	т	0,231	0,00012	0,0278
	Дріт зварний легований, діаметр 4 мм	т	0,231	0,00017	0,0393
	Електроди, діаметр 5 мм, марка Э42А	т	0,231	0,0014	0,324
	Оліфа натуральна	кг	0,231	0,06	0,014
	Вода	м ³	0,231	0,25	0,058
	Прядиво лляне	т	0,231	0,00006	0,014
Монтаж засувки чавунних Ду50 Група 15					
	Електроди, діаметр 5 мм, марка Е42А	т	3	0,00037	1,11

Продовження таблиці В.1

1	2	3	4	5	6
	Болти з гайками і шайбами, діаметр 16 мм	т	3	0,0011	3,3
	Прокладки з пароніта, марка ПМБ, товщина 2 мм, діаметр 50 мм	т	3	0,002	6
	Фланці сталеві Ду 50 ГОСТ 12820-80	шт	6	2,06	12,36
Монтаж засувок чавунних Ду32 Група 15					
	Електроди, діаметр 5 мм, марка Е42А	т	6	0,00037	2,22
	Болти з гайками і шайбами, діаметр 16 мм	т	6	0,0011	6,6
	Прокладки з пароніта, марка ПМБ, товщина 2 мм, діаметр 50 мм	т	6	0,002	12
	Фланці сталеві Ду 32 ГОСТ 12820-80	шт	12	1,4	16,8
Монтаж засувок чавунних Ду15 Група 15					
	Електроди, діаметр 5 мм, марка Е42А	т	5	0,00037	1,85
	Болти з гайками і шайбами, діаметр 12 мм	т	5	0,0011	5,5
	Прокладки з пароніта, марка ПМБ, товщина 2 мм, діаметр 50 мм	т	5	0,002	10
	Фланці сталеві Ду 15 ГОСТ 12820-80	шт	10	0,51	5,1
Монтаж фільтра грубої очистки Ду50 Група 21					
	Електроди, діаметр 5 мм, марка Е42А	т	0,1	0,001	0,1

Продовження таблиці В.1

1	2	3	4	5	6
Монтаж фільтра грубої очистки Ду32 Група 21					
	Електроди, діаметр 5 мм, марка Е42А	т	0,1	0,0008	0,08
Монтаж Насоса Ду50 Група 13					
	Електроди, діаметр 5 мм, марка Е42А	т	1	0,00039	0,39
	Прокладка гумова	кг	1	0,07	0,07
	Болти з гайками і шайбами, діаметр 16 мм	т	1	0,00127	1,27
	Фланці сталеві Ду 50 ГОСТ 12820-80	шт	2	2,06	4,12
Монтаж Насоса Ду32 Група 13					
	Електроди, діаметр 5 мм, марка Е42А	т	1	0,00039	0,39
	Прокладка гумова	кг	1	0,07	0,07
	Болти з гайками і шайбами, діаметр 16 мм	т	1	0,00127	1,27
	Фланці сталеві Ду 32 ГОСТ 12820-80	шт	2	1,4	2,8
Монтаж теплообмінника Група 81					
	Азбестовий картон спільного призначення, товщина 2 мм	т	1	0,004	4
	Електроди, діаметр 4 мм, марка Е42	т	1	0,0063	6,3
	Оліфа натуральна	кг	1	0,02	0,02

Продовження таблиці В.1

1	2	3	4	5	6
	Болти з гайками і шайбами, діаметр 16 мм	т	1	0,0026	2,6
	Болти з гайками і шайбами, діаметр 20-22 мм	т	1	0,0052	5,2
	Пароніт	т	1	0,0004	0,4
	Сурик свинцевий	т	1	0,00008	0,08
Монтаж клапана зворотнього Ду50 Група 19					
	Електроди, діаметр 5 мм, марка Е42	т	0,01	0,037	0,37
	Болти з гайками і шайбами, діаметр 16 мм	т	0,01	0,11	1,1
	Пароніт	т	0,01	0,01	0,1
	Фланці сталеві Ду 50 ГОСТ 12820-80	шт	2	1,33	2,66
Монтаж клапана зворотнього Ду32 Група 19					
	Електроди, діаметр 5 мм, марка Е42	т	0,01	0,037	0,37
	Болти з гайками і шайбами, діаметр 12 мм	т	0,01	0,11	1,1
	Пароніт	т	0,01	0,01	0,1
	Фланці сталеві Ду 32 ГОСТ 12820-80	шт	2	1,33	2,66

Загальна маса всіх вантажів визначається як сума мас основного та допоміжного обладнання, всіх пристроїв та інструментів, без матеріалів на випробування.

Загальна маса становить:

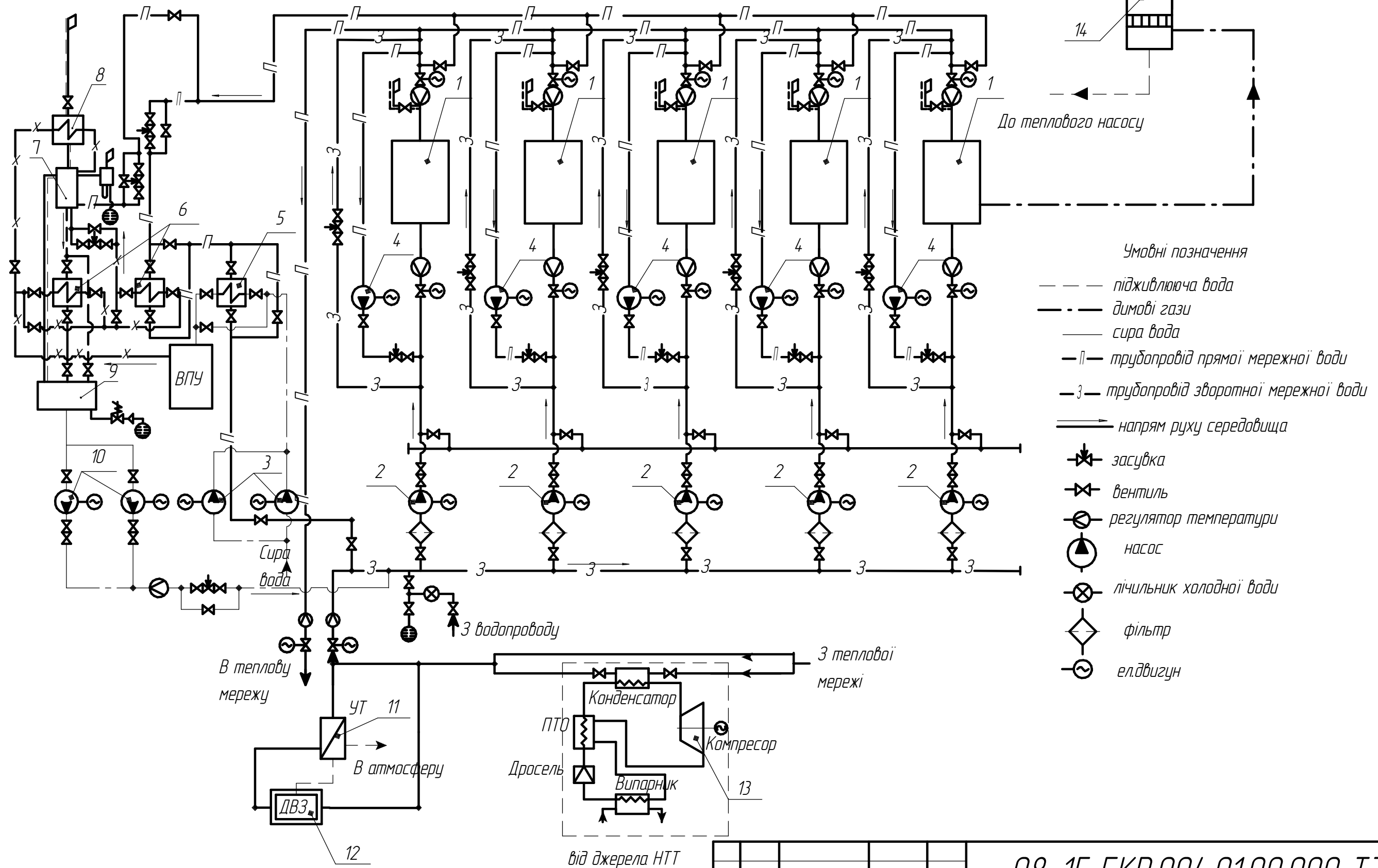
$$\Sigma_{\text{заг.}} = \Sigma_{\text{осн.обл}} + \Sigma_{\text{доп.обл}} = 469 \text{ (кг)}. \quad (\text{B.7})$$

Додаток Г
(обов'язковий)

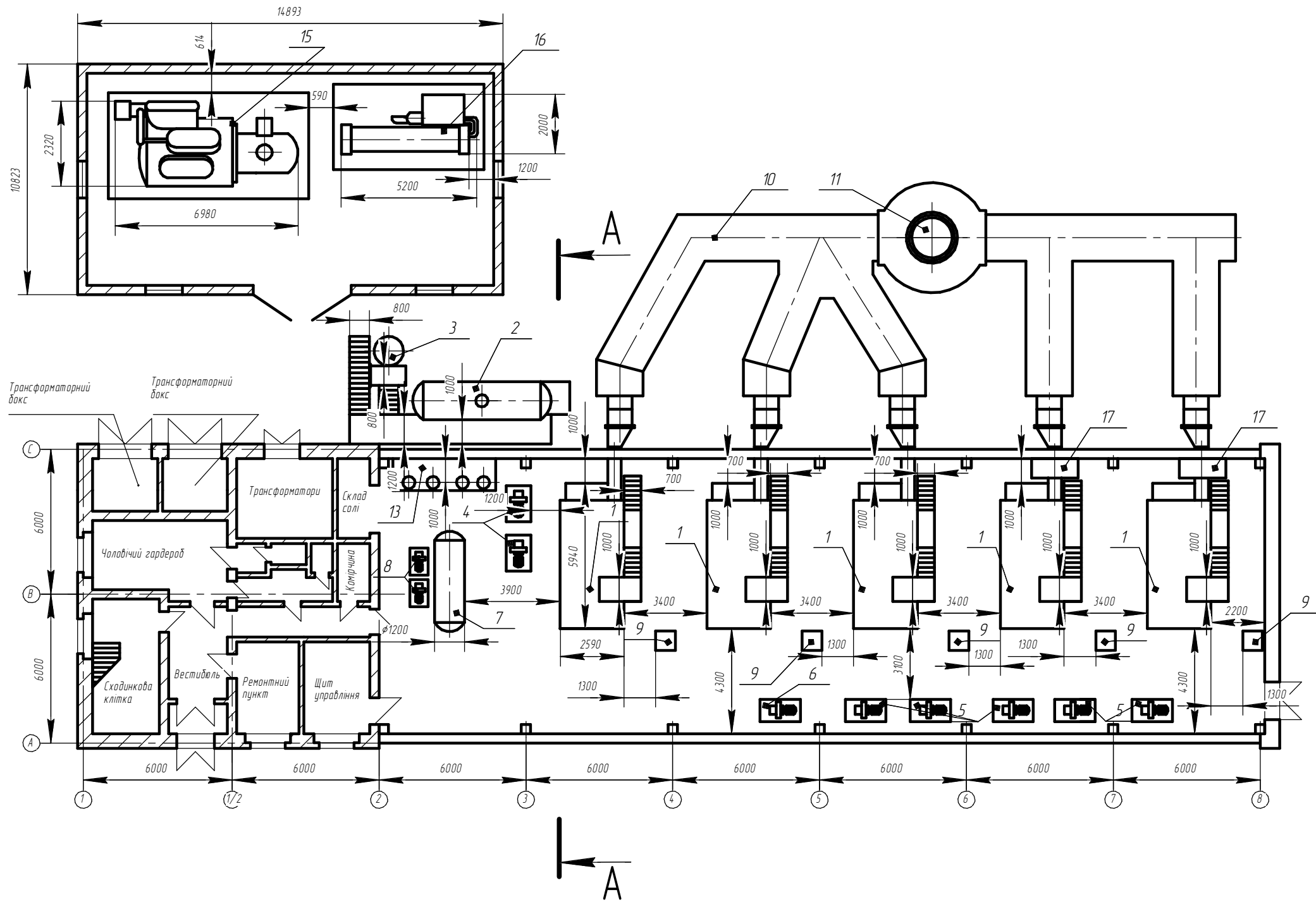
ГРАФІЧНА ЧАСТИНА

[illegible]

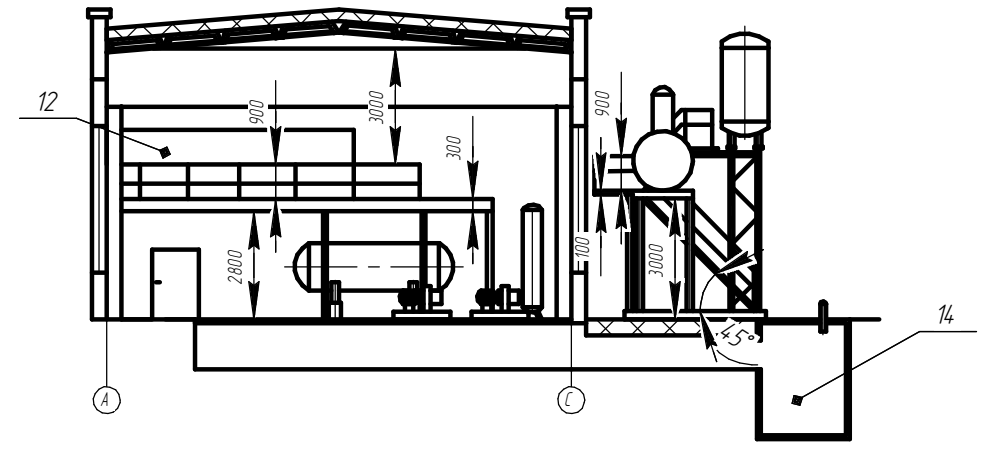
08-15 БКР.004.01.00.000 ТЗ



08-15 БКР.004.01.00.000 ТЗ				Лит.			Маса	Масштаб
Схема теплової котельні з теплонасосною установкою				Лист			Листів	1
ВНТУ зр. ТЕ-218				Формат А3				
Зм. Лист	№ докум.	Підп.	Дата					
Розроб.	Сергієвич М. С.							
Перев.	Остапенко О. П.							
Рецензент	Андрухов В. М.							
Н.контр.	Боднар Л. А.							
Затверд.	Мельничук Д. В.							



A-A



Експлікація обладнання

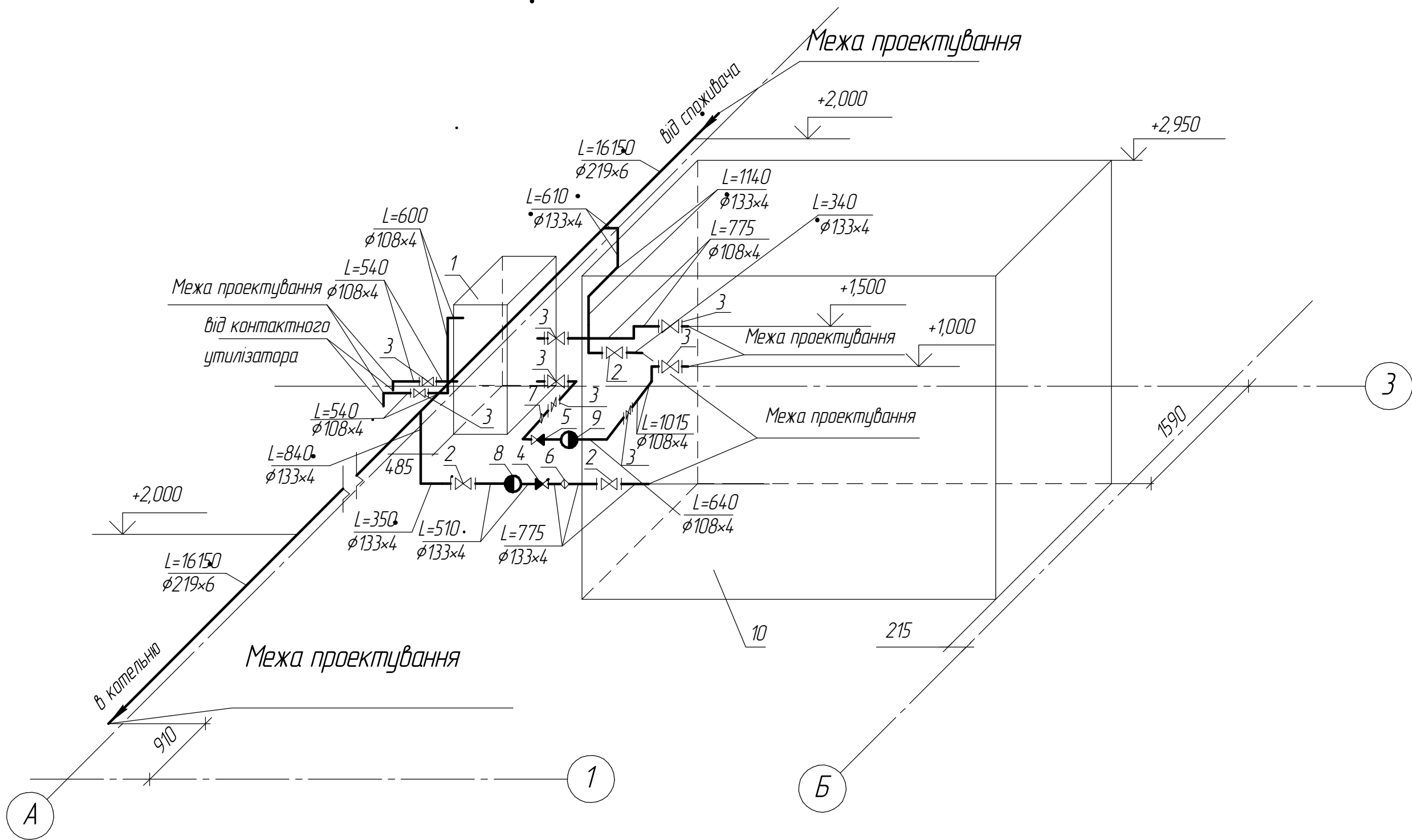
Позначення	Найменування	Кількість	Примітка
1	Котел водогрійний DGK-2G-6,5H	5	
2	Деаератор вакуумний ДВ-5	1	
3	Розширювальний бак	1	
4	Підживлювальний насос KRG-1K-50	2	
5	Мережний насос 6K-8	5	
6	Рециркуляційний насос НКУ-40	1	
7	Бак сирої води	1	
8	Насос сирої води 2K-20-30	2	
9	Шафа управління пальниками	5	
10	Газоход	1	
11	Димова труба	1	
12	Газорегулююча установка	1	
13	Хімічна водопідготовка	1	
14	Охолоджуючий колодязь	1	
15	Газопоршневий двигун 11ГД100М	1	
16	Тепловий насос GEA-3000	1	
17	Контактний утилізатор КТАН-2,3УГ	2	

08-15 БКР.004.02.00.000 АР			
м. Хмельницький			
Зм. Назва	Лист	№ об'єк	Надх. Дана
Розробив	Сергієнчук М. С.		
Перевірів	Остапенко О. П.		
Т. контр.			
Рецензент	Андріхов В. М.		
Н. контр.	Боднар Л. А.		
Затверд.	Степанов Д. В.		
Теплонасосна установка в тепловій схемі опалювальної котельні		Стадія	Лист
План котельні з теплонасосною установкою			1
ВНТУ, гр. ТЕ-218			

[illegible]

Согласовано

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



						08-15 БКР.004.03.00.000 Г5		
						м. Хмельницький		
Зм.	Корект.	Лист	№	Лист	Лист	Теплонасосна установка в тепловій схемі опалювальної котельні	Стадія	Лист
Розробив	Сергієвичук М. С.							
Перевірила	Остапенко О. П.							
Т. контр.								1
Рецензент	Андріхов В. М.					Схема монтажна аксонометрична	ВНТУ, гр. ТЕ-218	
Н. контр.	Боднар Л. А.							
Затверд.	Степанов Д. В.							