

Вінницький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

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

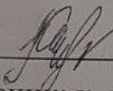
Кафедра теплоенергетики
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

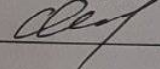
на тему:

«Теплонасосна установка в тепловій схемі
промислово-опалювальної котельні»

Виконав: здобувач 2 курсу мс, гр. ТЕ-23мс
спеціальності 144 – Теплоенергетика
(шифр і назва спеціальності)

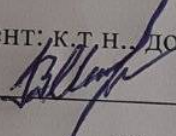
 Рожко М. Д.
(прізвище та ініціали)

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)

« 23 » 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



ЗАВДАННЯ НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ

Рожку Максиму Денисовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Теплонасосна установка в тепловій схемі промислово-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.

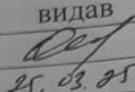
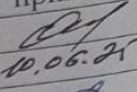
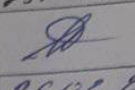
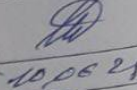
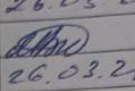
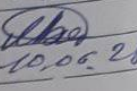
2. Строк подання здобувачем роботи 10.06.2025

3. Вхідні дані до роботи: відпуск теплоти на опалення $Q_{оп}=2$ МВт; відпуск теплоти на ГВП $Q_{гвп}=1$ МВт; температура прямої мережної води на виході із котельні $t_{мв}^I=115$ °С; температура зворотної мережної води $t_{мв}^{II}=70$ °С, паливо – природний газ; теплота згорання палива 34 МДж/м³.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): застосування теплових насосів в промисловості; варіативний аналіз та економічне обґрунтування технічних рішень; результати обчислень теплової схеми котельні з парокомпресійним ТН; аналіз енергетичної ефективності теплової схеми котельні з ТН; охорона праці.

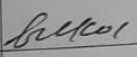
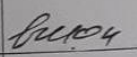
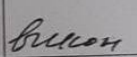
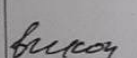
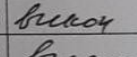
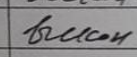
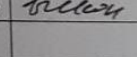
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): модернізована тепла схема; план модернізованої котельні; техніко-економічні показники

3. Консультанти розділів роботи

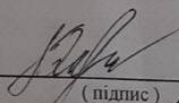
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-4	Остапенко О. П., к.т.н., доц. кафедри ТЕ	 25.03.25	 10.06.25
5	Кобилянська І.М., к.пед.н., доц., доцент кафедри БЖДПБ	 26.03.25	 10.06.25
Н.контроль	Боднар Л.А., к.т.н., доц. кафедри ТЕ	 26.03.25	 10.06.25

4. Дата видачі завдання 25.03.2025

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

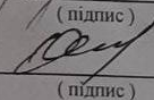
№ з/п	Назва етапів бакалаврської кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Застосування теплових насосів в промисловості	25.03.25...27.03.25	
2	Варіативний аналіз та економічне обґрунтування технічних рішень	28.03.25...05.04.25	
3	Результати обчислень теплової схеми котельні з парокомпресійним ТН	06.04.25...18.04.25	
4	Аналіз енергетичної ефективності теплової схеми котельні з ТН	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	

Здобувач


(підпис)

Рожко М. Д.
(прізвище та ініціали)

Керівник БКР


(підпис)

Остапенко О. П.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

УДК 621.577

Рожко М. Д. Теплонасосна установка в тепловій схемі промислово-опалювальної котельні. Бакалаврська кваліфікаційна робота зі спеціальності 144 – теплоенергетика, освітня програма – теплоенергетика. Вінниця: ВНТУ, 2025. 60 с.

Бібліогр. : рис.: 29; табл. 15.

В бакалаврській дипломній роботі запропоновано низку заходів, спрямованих на енерго- та ресурсозбереження в котельні, покращення техніко-економічних показників роботи діючої теплової схеми промислово-опалювальної котельні завдяки встановленню парокомпресійної теплонасосної установки (ТНУ) з використанням теплоти вторинних енергоресурсів та природного відновлюваного джерела. Шляхом встановлення в котельні парокомпресійної ТНУ буде забезпечене зниження енерго- та ресурсоемності вироблення теплової енергії.

За результатами проведеного багатоваріантного аналізу низки проектних рішень з модернізації теплової схеми промислово-опалювальної котельні з ТНУ на основі аналізу низки енергетичних показників було обрано варіант використання вторинних енергоресурсів та відновлюваних джерел енергії в парокомпресійній ТНУ з приводом від газового двигуна на природному газі.

За результатами виконаного економічного аналізу обраного варіанту модернізації було визначено, що використання теплоти вторинних енергоресурсів та природного відновлюваного джерела в парокомпресійній 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

Rozhko M. D. Heat pump installation in the thermal scheme of an industrial heating boiler house. Bachelor's qualification work in specialty 144 - Heat and power engineering, educational program - Heat and power engineering. Vinnytsia: VNTU, 2025. 60 p.

In Ukrainian language. Bibliogr. : fig.: 29; table 15.

The bachelor's thesis proposes a number of measures aimed at energy and resource conservation in the boiler room, improving the technical and economic performance of the existing thermal scheme of the industrial heating boiler room by installing a steam-compressor heat pump installation (HPI) using the heat of ternary energy resources and a natural renewable source. By installing a steam-compressor HPI in the boiler room, a reduction in the energy and resource intensity of thermal energy generation will be ensured.

According to the results of a multivariate analysis of a number of design solutions for the modernization of the thermal scheme of the industrial heating boiler room with HPI, based on the analysis of a number of energy indicators, the option of using secondary energy resources and renewable energy sources in a steam-compressor HPI driven by a gas engine on natural gas was selected.

According to the results of the economic analysis of the selected modernization option, it was determined that the use of heat from secondary energy resources and a natural renewable source in the steam-compressor HPI in the scheme of this boiler house will result in savings in natural gas, reduce operating costs and reduce the cost of heat.

Occupational safety measures were analyzed.

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

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 ЗАСТОСУВАННЯ ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ В ПРОМИСЛОВOSTІ	11
2 ВАРІАТИВНИЙ АНАЛІЗ ТА ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ	16
2.1 Характеристики функціонування теплової схеми водогрійної частини котельної	16
2.2 Варіативний аналіз проектних рішень модернізації котельної...	17
2.3 Економічне обґрунтування варіанту модернізації.....	23
2.4 Математичний інструментарій та програмні засоби для обчислення показників ефективності теплової схеми котельні	25
3 РЕЗУЛЬТАТИ ОБЧИСЛЕНЬ ТЕПЛОВОЇ СХЕМИ КОТЕЛЬНОЇ З ПАРОКОМПРЕСІЙНИМ ТН	34
3.1 Обчислення потужностей контактного рекуператора	34
3.2 Обчислення теплонасосної системи для вибраного варіанту реконструкції теплової схеми	35
3.3 Обчислення рекуперативних потужностей від приводного мотора	36
3.4 Підбір теплонасосного та додаткового устаткування. Розробка технології встановлення нового обладнання	37
4 АНАЛІЗ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕПЛОВОЇ СХЕМИ КОТЕЛЬНОЇ З ТН	38
4.1 Аналіз енергетичної ефективності теплової схеми котельні з парокомпресійним ТН	38
4.2 Дослідження показників економічної ефективності теплової схеми котельні з ТН	39
5 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	43
ВИСНОВКИ.....	53

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	55
Додаток А (обов'язковий). ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ	62
Додаток Б (обов'язковий). ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ.....	63
Додаток В (довідковий). ТЕХНОЛОГІЯ МОНТАЖУ ПЛАСТИНЧАСТОГО ТЕПЛООБМІННИКА В КОНТУРІ ВИПАРНИКА ТЕПЛОВОГО НАСОСУ ТЕПЛОВОЇ СХЕМИ КОТЕЛЬНОЇ.....	68
Додаток Г (обов'язковий). ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА.....	77

ВСТУП

Сучасний етап розвитку енергетики характеризується кардинальною зміною підходів до організації теплопостачання, що обумовлено необхідністю переходу до сталого енергетичного розвитку. В умовах глобальних кліматичних викликів, зростання цін на традиційні енергоносії та посилення екологічних вимог, пошук альтернативних технологій теплопостачання набуває стратегічного значення для забезпечення енергетичної безпеки та екологічної стійкості.

Теплові насоси як технологія використання відновлюваних джерел енергії демонструють значний потенціал для вирішення комплексу енергетичних, екологічних та економічних завдань сучасного теплопостачання. Ця технологія дозволяє ефективно трансформувати низькопотенційну теплову енергію навколишнього середовища у високопотенційну енергію для опалення та гарячого водопостачання, забезпечуючи при цьому високі показники енергетичної ефективності та екологічної безпеки.

Актуальність теми дослідження. Актуальність дослідження енергетичних, екологічних та економічних переваг теплових насосів обумовлена декількома ключовими факторами сучасного розвитку енергетичної галузі України та світу.

З енергетичної точки зору, теплові насоси представляють технологію, що дозволяє вироблення 3-6 кВт теплової потужності при споживанні 1 кВт електричної потужності. Це забезпечує значно вищу енергетичну ефективність порівняно з традиційними системами опалення та створює передумови для скорочення загального енергоспоживання в секторі теплопостачання. Екологічна актуальність теми пов'язана із необхідністю декарбонізації енергетики та виконання міжнародних зобов'язань України щодо скорочення викидів парникових газів на 65% до 2030 року. Теплові насоси, працюючи на відновлюваних джерелах енергії, дозволяють суттєво знизити викиди CO₂ та інших забруднюючих речовин у атмосферу. Економічна складова актуальності визначається потребою в технологіях, здатних забезпечити конкурентоспроможну вартість теплової енергії в

довгостроковій перспективі, незалежно від волатильності цін на традиційні енергоносії та геополітичних чинників.

Аналіз сучасних літературних джерел показує, що теплові насоси мають значний потенціал стати провідною технологією у майбутніх системах теплопостачання.

Метою даної бакалаврської кваліфікаційної роботи є розробка комплексу заходів для досягнення енергетичної та ресурсної ефективності промислово-опалювальної котельні. Передбачається підвищення техніко-економічних характеристик діючої теплової схеми промислово-опалювальної котельні шляхом інтеграції парокомпресійної теплонасосної установки (ТНУ), що використовує теплоту вторинних енергоресурсів та природних відновлюваних джерел.

Завдання дослідження

У рамках бакалаврської кваліфікаційної роботи передбачається вирішення наступних завдань:

1. Провести техніко-економічне обґрунтування доцільності впровадження ТНУ, що працює на теплоті вторинних енергоресурсів та відновлюваних природних джерел у складі теплової схеми котельні.
2. Здійснити комплексну оцінку ефективності функціонування ТНУ з використанням теплоти вторинних енергоресурсів та відновлюваних джерел у тепловій схемі котельні.
3. Обґрунтувати вибір оптимального обладнання для модернізованої теплової схеми котельні з інтегрованою ТНУ.
4. Розрахувати та проаналізувати техніко-економічні показники роботи котельні після впровадження ТНУ.

Об'єкт та предмет дослідження.

Об'єкт дослідження: енергоефективна парокомпресійна теплонасосна установка в схемі промислово-опалювальної котельні.

Предмет дослідження: процеси зниження ресурсних витрат при генеруванні теплової енергії та забезпечення економічної ефективності через впровадження

парокомпресійної ТНУ з використанням теплоти відновлюваних джерел енергії в тепловій схемі котельної.

Практична цінність роботи полягає у тому, що впровадження парокомпресійної теплонасосної установки в котельній забезпечить суттєве зниження енергетичної та ресурсної інтенсивності процесу виробництва теплової енергії, що призведе до підвищення загальної ефективності теплопостачання.

Методи дослідження. Дослідження базується на комплексному використанні наступних методів:

- термодинамічний аналіз для оцінки енергетичних показників;
- методи інвестиційного аналізу для економічного обґрунтування;
- математичне моделювання режимів роботи теплових насосів;
- порівняльний аналіз альтернативних технологій.

Результати роботи сприятимуть прискоренню впровадження енергоефективних та екологічно чистих технологій теплопостачання, що є важливим кроком на шляху до сталого енергетичного розвитку України.

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

1 ЗАСТОСУВАННЯ ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ В ПРОМИСЛОВОСТІ

Теплові насоси представляють собою енергоефективну технологію, яка знаходить все більше застосування в промислових процесах для підвищення енергетичної ефективності та зменшення викидів парникових газів.

Принцип роботи теплового насоса базується на фізичному явищі переносу тепла від менш нагрітого тіла до більш нагрітого за рахунок виконання роботи. Це досягається завдяки використанню термодинамічного циклу з фазовими переходами робочого тіла (холодоагента) [1].

Тепловий насос працює за оберненим циклом Ренкіна (холодильним циклом). Тепловий насос по суті є "тепловим підсилювачем" - він використовує невелику кількість високоякісної енергії (електричність) для переміщення великої кількості низькоякісної теплоти від холодного джерела до теплового споживача. Це робить його значно ефективнішим за прямі електричні нагрівачі або традиційні котли.

Промислові теплові насоси є ключовою технологією для декарбонізації промислового сектору, який споживає близько 37% світової енергії. Зростаючі вимоги до енергоефективності та екологічності виробничих процесів стимулюють розвиток та впровадження високотемпературних теплових насосів у промисловості [2].

Найпоширеніший тип промислових теплових насосів – компресійні теплові насоси. Сучасні компресорні теплові насоси можуть забезпечувати температури до 120-150°C, що робить їх придатними для широкого спектру промислових застосувань.

Абсорбційні теплові насоси використовують теплову енергію замість електричної для приводу циклу. Особливо ефективні вони при наявності низькопотенційної теплоти або відпрацьованої пари, можуть досягати температур до 180°C.

Теплові насоси з використанням природних холодоагентів (таких, як: CO₂ (R744), аміак (R717) та вуглеводні) стають альтернативою синтетичним холодоагентам завдяки низькому потенціалу глобального потепління.

Теплові насоси знаходять застосування в процесах дистиляції, сушіння та концентрації. Впровадження механічної рекомпресії пари дозволяє зменшити споживання енергії на 50-80% порівняно з традиційними методами.

Теплові насоси знайшли використання в процесах пастеризації, концентрації, сушіння та охолодження. Теплові насоси забезпечують одночасне нагрівання та охолодження, що особливо цінно для молочної та м'ясопереробної промисловості. У разі їх застосування для рекуперації теплоти з відпрацьованих потоків, підігріву води та повітря для сушіння, потенціал економії енергії становить 20-40% [3].

На рис. 1.1 показаний тепловий насос фірми GEA.

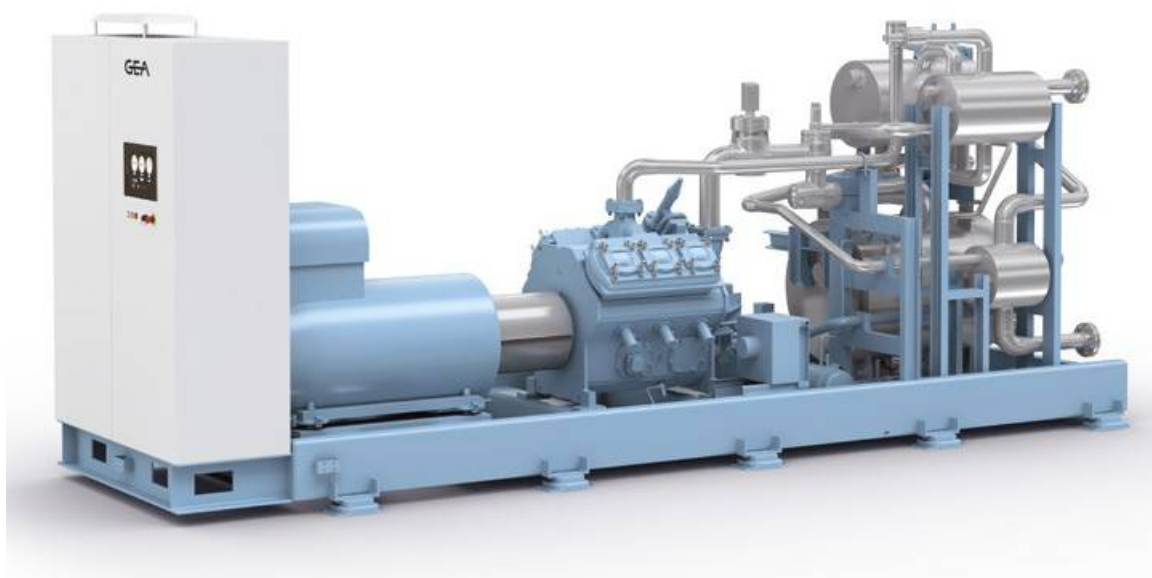


Рисунок 1.1 - Тепловий насос фірми GEA

В металургійній промисловості теплові насоси знайшли використання для утилізації відпрацьованої теплоти печей та інших високотемпературних процесів для підігріву повітря, води або технологічних рідин.

В текстильній промисловості теплові насоси знаходять застосування в процесах фарбування, сушіння та обробки тканин з можливістю рекуперації теплоти та пари.

Важливим показником ефективності теплового насоса є коефіцієнт перетворення COP. Сучасні промислові теплові насоси досягають COP від 3 до 6

залежно від температурних умов та типу застосування. Високотемпературні насоси мають нижчий COP (2-4), але все одно забезпечують значну економію енергії.

Температурні діапазони роботи теплових насосів [4]:

- низькотемпературні: до 80°C;
- середньотемпературні: 80-120°C;
- високотемпературні: 120-200°C.

Перетворення енергії в тепловому насосі показано на рис. 1.2.

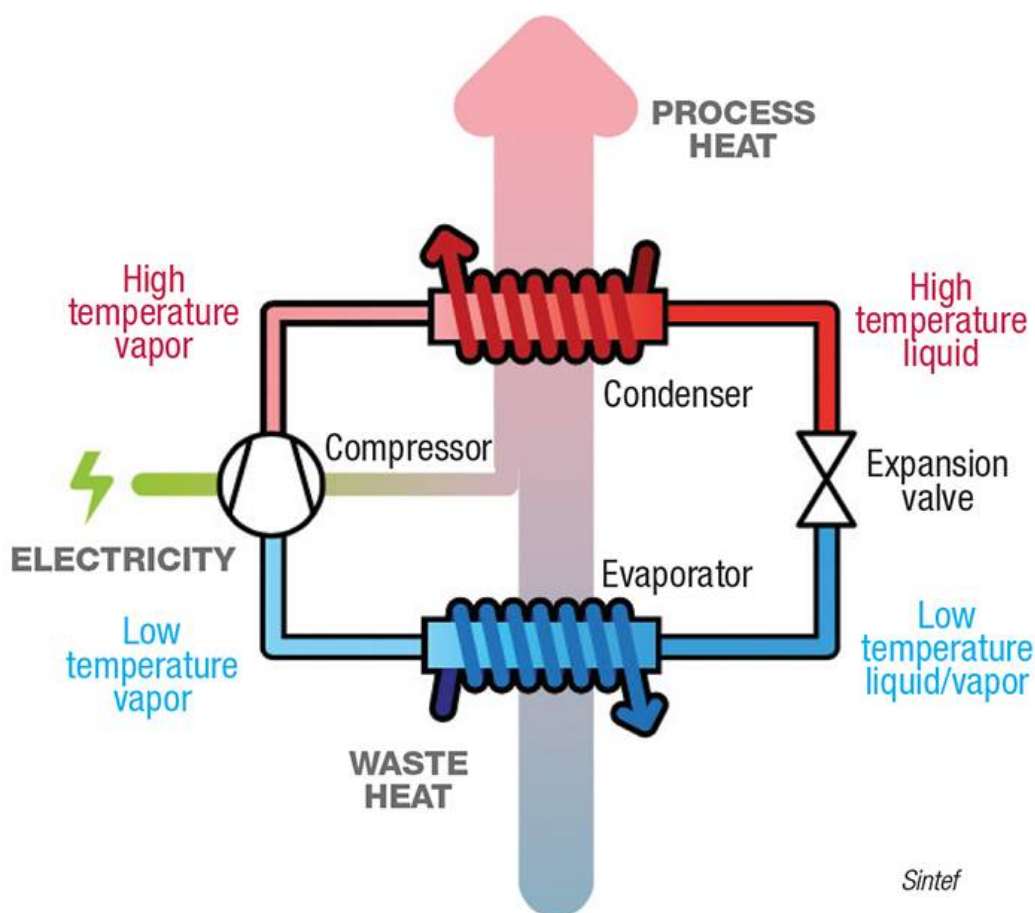


Рисунок 1.2 - Схема перетворення енергії в тепловому насосі

Вибір холодоагента для теплового насоса впливає на ефективність, безпеку та екологічність системи. Тенденція до використання природних холодоагентів зумовлена регулятивними вимогами та екологічними міркуваннями [5].

Вартість промислових теплових насосів коливається від 500 до 2000 євро за кВт встановленої потужності залежно від складності системи та температурних вимог. Типовий період окупності становить 2-7 років залежно від: вартості енергії, режиму роботи, наявності субсидій та стимулів, можливості продажу надлишкової теплоти [6].

В системах з тепловими насосами зниження операційних витрат на енергію становить 30-70% порівняно з традиційними системами опалення та охолодження.

Бар'єрами для впровадження теплових насосів є наступні чинники [7]:

- технічні виклики (обмежені температурні діапазони для певних застосувань, складність інтеграції в існуючі технологічні процеси, потреба в спеціалізованому обслуговуванні);
- економічні бар'єри (високі початкові інвестиції, невизначеність щодо довгострокових цін на енергію, конкуренція з дешевими викопними паливами);
- регулятивні та ринкові бар'єри (недостатня обізнаність про технологію, відсутність стандартизованих підходів до оцінки ефективності, обмежена кількість кваліфікованих постачальників та підрядників).

Перспективи розвитку теплонасосних технологій пов'язані з технологічними інноваціями (розробкою високотемпературних теплових насосів (до 300°C), покращенням ефективності компресорів, використанням нових холодоагентів та гібридних систем); цифровізацією та автоматизацією (впровадженням систем розумного управління, предиктивного обслуговування та оптимізації роботи за допомогою штучного інтелекту); інтеграцією з відновлюваними джерелами енергії (поєднання теплових насосів з сонячними панелями, вітровою енергією та системами акумулювання енергії для максимізації використання відновлюваних джерел) [8].

Для впровадження теплових насосів важливими чинниками є державна підтримка та політичні ініціативи. Багато країн запроваджують програми фінансової підтримки впровадження промислових теплових насосів через субсидії на капітальні

витрати, податкові пільги, низькопроцентні кредити, обов'язкові стандарти енергоефективності.

Висновки

Промислові теплові насоси представляють собою зрілу та економічно виправдану технологію для підвищення енергоефективності промислових процесів. Незважаючи на існуючі технічні та економічні виклики, розширення застосування цієї технології є критично важливим для досягнення цілей декарбонізації промисловості.

Ключові фактори успішного впровадження включають наступне:

- ретельний аналіз технологічних процесів та енергетичних потоків;
- правильний вибір типу та конфігурації теплового насоса;
- врахування можливостей інтеграції з існуючими системами;
- комплексна оцінка економічної ефективності.

Подальші дослідження повинні зосередитися на розробці високотемпературних рішень, покращенні економічної привабливості технології та створенні стандартизованих методологій оцінки ефективності.

Багатоваріантний аналіз показує, що теплові насоси мають значний потенціал для промислового застосування в Україні. Оптимальний вибір варіанту залежить від специфіки виробництва, економічних умов та технічних можливостей підприємства. Найбільш перспективними є гібридні системи, що поєднують теплові насоси з традиційними джерелами енергії, забезпечуючи надійність та економічну ефективність.

2 ВАРІАТИВНИЙ АНАЛІЗ ТА ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ

2.1 Характеристики функціонування теплової схеми водогрійної частини котельної

Водогрійна частина промислово-опалювальної котельні розроблена для централізованого забезпечення теплом споживачів, покриття потреб у опаленні та постачанні гарячої води (ГВП). Котельня обладнана чотирма котлоагрегатами типу КСВ-1,0 та ВК-22, при цьому один котел функціонує як резервний агрегат. Основним енергоносієм для роботи котельного обладнання служить природний газ.

Здійснено обчислення параметрів роботи теплової схеми опалювальної котельні згідно з методологією, викладеною в [9]. Отримані результати представлено в таблиці 1.1.

Представлені в табл. 1.1 результати розрахунків теплової схеми котельної установки для трьох розрахункових режимів експлуатації використовуватимуться в наступних розділах БКР для оцінки ефективності різноманітних варіантів теплової схеми котельні з інтеграцією парокомпресійних теплонасосних установок (ТНУ).

Таблиця 1.1 – Результати розрахунку

Назва	Розрахункові режими		
	Максимальне теплове навантаження (МТН)	Номінальний опалувальний режим (НОР)	Режим ГВП
Теплове навантаження на опалення $Q_{оп}$, МВт	2	1,25	-
Теплове навантаження на гаряче водопостачання $Q_{гвп}$, МВт	1	1	1
Сумарна потужність теплоспоживачів Q_n , МВт	3	2,25	1
Температура подавальної мережної води на виході з котельні $t_{мв'}$, °С	115	100	70
Температура зворотної мережної води $t_{мв''}$, °С	70	49	45
Масова витрата мережної води через котли G_k , кг/с	16,416	12,169	5,448
Теплова потужність котельної установки Q_k , МВт	3,095	2,294	1,027
Витрата основного палива на котлоагрегат V_p , м³/с	0,096	0,071	0,032
Коефіцієнт корисної дії бруто котельні	0,882	0,892	0,88

2.2 Варіативний аналіз проектних рішень модернізації котельної

У даному підрозділі бакалаврської кваліфікаційної роботи здійснено варіативний аналіз ефективності трьох альтернативних проектних рішень модернізації теплової схеми водогрійної котельної, досліджено ключові параметри енергетичної ефективності теплової схеми та обладнання. Варіативний аналіз базувався на наукових досягненнях та розрахункових методиках з джерел [10-13].

Варіативний аналіз ефективності трьох альтернативних проектних рішень теплової схеми котельної з впровадженням ТНУ дозволяє здійснити оцінку

енергетичної ефективності множини варіантів модернізації теплової схеми за основними критеріями енергоефективності.

У процесі проведення варіативного аналізу ефективності варіантів модернізації теплової схеми з інсталяцією ТНУ були виконані розрахунки для трьох сценаріїв:

Варіант 1 – впровадження ТНУ з використанням теплоти вторинних енергоресурсів та відновлюваних природних джерел у тепловій схемі котельної для функціонування протягом двох періодів (опалювального та міжопалювального);

Варіант 2 – впровадження ТНУ з використанням теплоти вторинних енергоресурсів та відновлюваних природних джерел у тепловій схемі котельної для роботи в опалювальний період (номінальне навантаження);

Варіант 3 – впровадження ТНУ з використанням теплоти вторинних енергоресурсів та відновлюваних природних джерел у тепловій схемі котельної для експлуатації в міжопалювальний період (режим ГВП).

Результати варіативного аналізу ефективності варіантів модернізації теплової схеми з інсталяцією ТНУ на теплоті вторинних енергоресурсів та відновлюваних природних джерел представлені на рис. 2.1 – 2.6.

На рисунках 2.1 – 2.6 використано наступні позначення розрахункових режимів: МО – максимальне опалювальне навантаження, СО – середнє опалювальне навантаження, МіжОПАЛ – міжопалювальний режим (режим ГВП).

Згідно з даними рис. 2.2, показники теплової потужності конденсатора ТНУ різняться приблизно вдвічі між середнім опалювальним та міжопалювальним режимами. Таким чином, раціонально використовувати дві теплонасосні установки ідентичної потужності, які функціонуватимуть у цих двох режимах: у СО-режимі – дві установки, у МіжОПАЛ-режимі – одна установка, що усуває необхідність монтажу додаткового теплонасосного обладнання для експлуатації в альтернативному режимі.

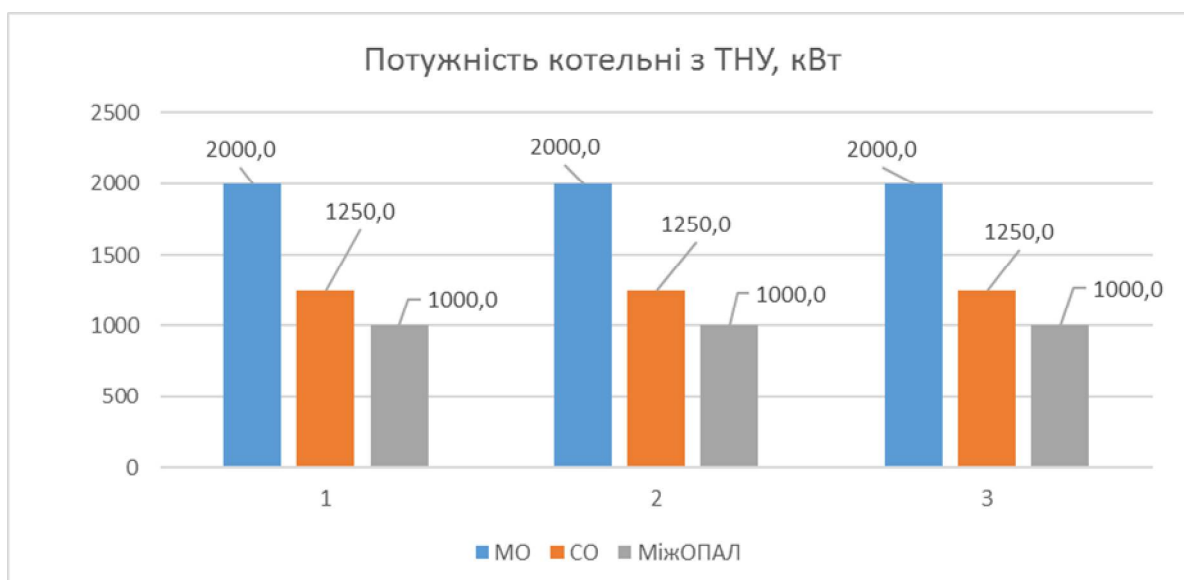


Рисунок 2.1 – Теплова потужність котельної з парокompресійною ТНУ

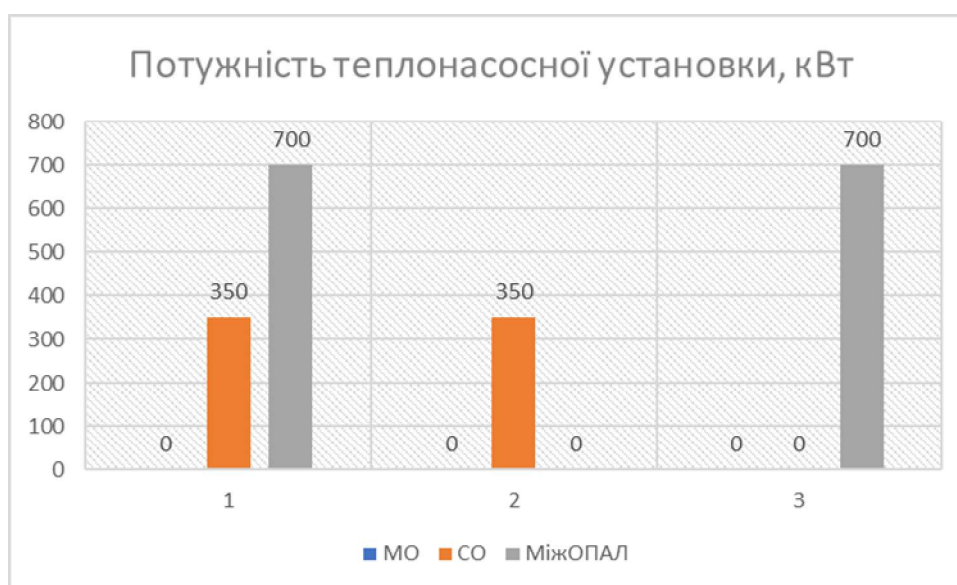


Рисунок 2.2 – Теплова потужність конденсатора ТНУ

Відповідно до рис. 2.3, показники споживаної електричної потужності компресора ТНУ у СО- та МіжОПАЛ-режимах свідчать про можливість використання єдиного приводного газопоршневого двигуна потужністю до 500 кВт.

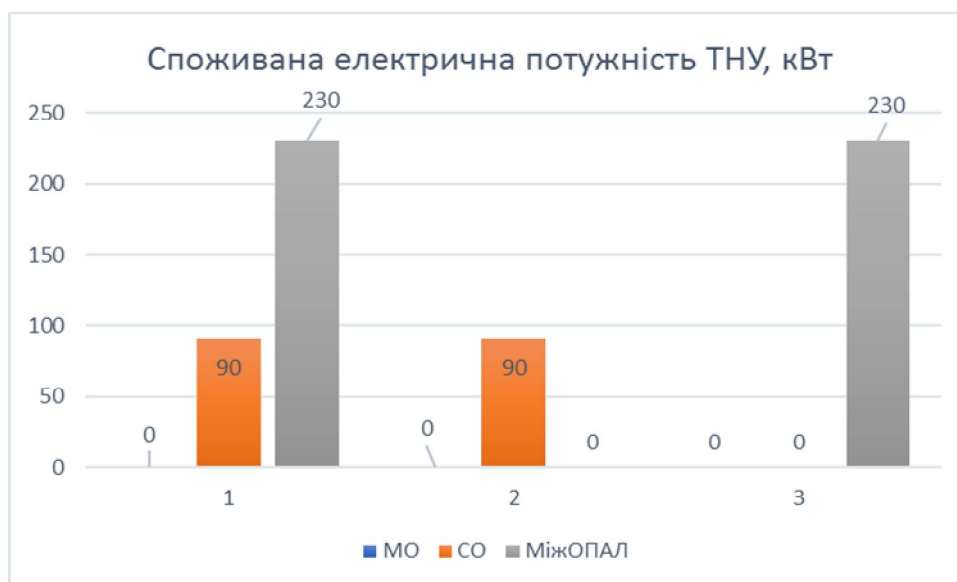


Рисунок 2.3 – Електрична потужність, що споживається компресором ТНУ

Отже, можна констатувати, що доцільно впроваджувати ТНУ з приводним газовим двигуном у СО- та МіжОПАЛ-режимах, що виключає потребу в установці додаткового теплонасосного та когенераційного обладнання для функціонування в альтернативному режимі.

Відповідно до рис. 2.4, застосування додаткової теплової потужності утилізаційного обладнання теплового приводу ТНУ дає змогу істотно підвищити значення загальної теплової потужності ТНУ, збільшити величину коефіцієнта перетворення ТНУ та частки заміщення потужності водогрійної котельної, яка функціонує менш ефективно у порівнянні з варіантом модернізації.

Таким чином, можна резюмувати, що раціонально використовувати ТНУ з приводним газовим двигуном у СО- та МіжОПАЛ-режимах, що усуває необхідність монтажу додаткового теплонасосного та когенераційного обладнання для експлуатації в альтернативному режимі.

Згідно з рис. 2.5 та 2.6, найвищі значення річної та сезонної економії основного палива від впровадження ТНУ відповідають першому варіанту застосування ТНУ з експлуатацією в СО- та МіжОПАЛ-режимах. Наступним за ефективністю слід вважати варіант №3 з використанням ТНУ в МіжОПАЛ-режимі.

Проте в цьому випадку відбуватиметься суттєве погіршення економічних та енергетичних показників застосування ТНУ.

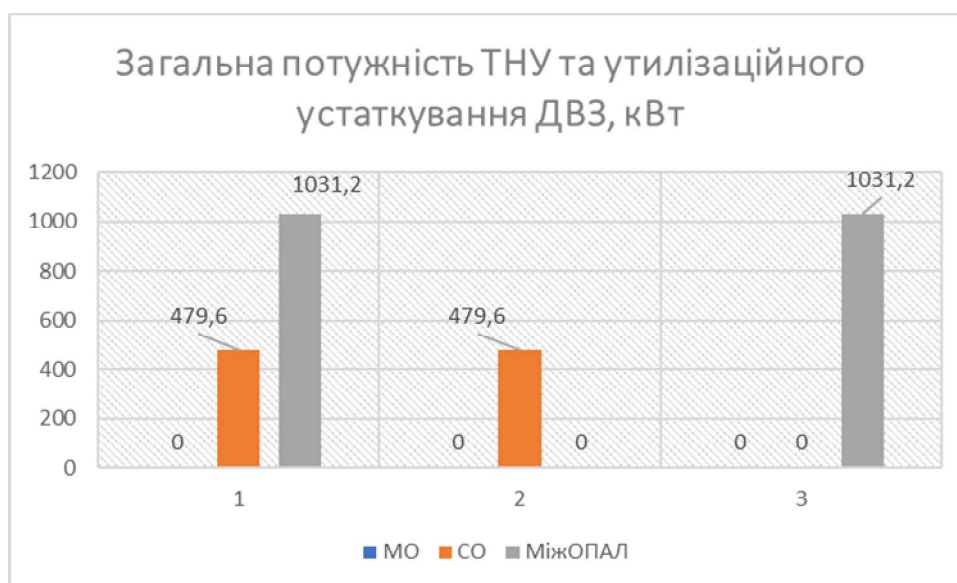


Рисунок 2.4 – Загальна теплова потужність ТНУ та утилізаторів приводного двигуна



Рисунок 2.5 – Показники відносної економії основного палива для варіантів застосування ТНУ, %

Відповідно, для проектування обрано перший варіант застосування ТНУ, для якого річна економія основного палива досягатиме 33,056%, а ТНУ функціонуватиме в СО- та МіжОПАЛ-режимах.



Рисунок 2.6 – Показники річної економії основного палива для варіантів застосування ТНУ, %

На підставі результатів проведеного варіативного аналізу множини проектних рішень модернізації теплової схеми водогрійної котельної з ТНУ, базуючись на аналізі комплексу енергетичних показників, був відібраний варіант використання вторинних енергоресурсів та відновлюваних джерел енергії в парокомпресійній ТНУ з приводом від газового двигуна на природному газі.

За сукупністю обраних енергетичних показників, значення яких представлено на рис. 2.1 – 2.6, зазначений варіант модернізації теплової схеми водогрійної опалювальної котельної з ТНУ був відібраний для проектування.

2.3 Економічне обґрунтування варіанту модернізації

У цьому підрозділі БКР здійснено оцінку параметрів техніко-економічної ефективності теплової схеми водогрійної частини котельної з парокомпресійною ТНУ, передбачено використання теплоти вторинних енергоресурсів котельної та відновлюваного природного джерела теплоти (річкова вода).

Ефективність досліджуваного варіанту зумовлена величинами показників техніко-економічної ефективності у співставленні з базовим варіантом теплопостачання (опалювальною водогрійною котельнею) [14-15].

На рис. 2.7 - 2.10 наведено основні техніко-економічні показники для базового та альтернативного варіантів теплової схеми котельної.

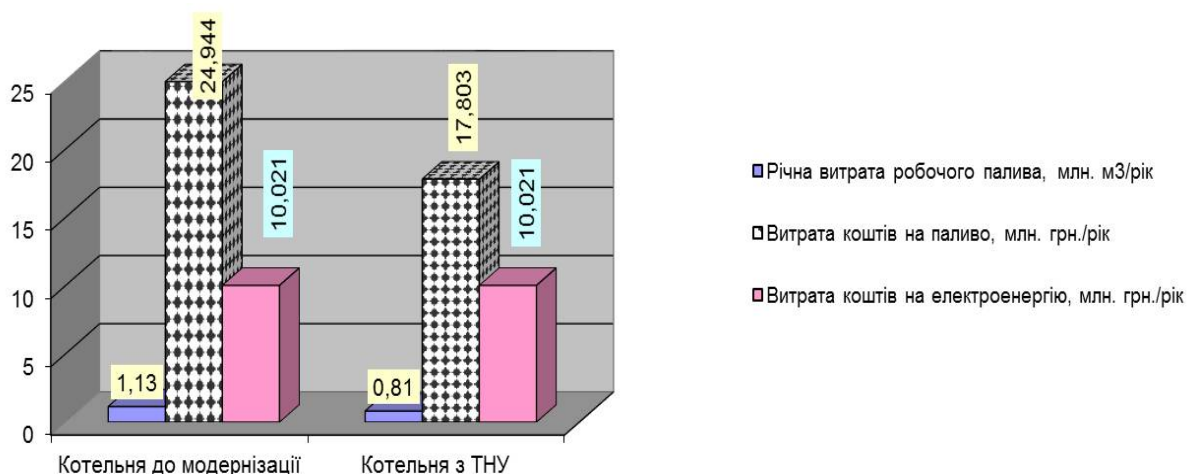


Рисунок 2.7 – Техніко-економічні параметри для базового та модернізованого варіантів теплової схеми котельної

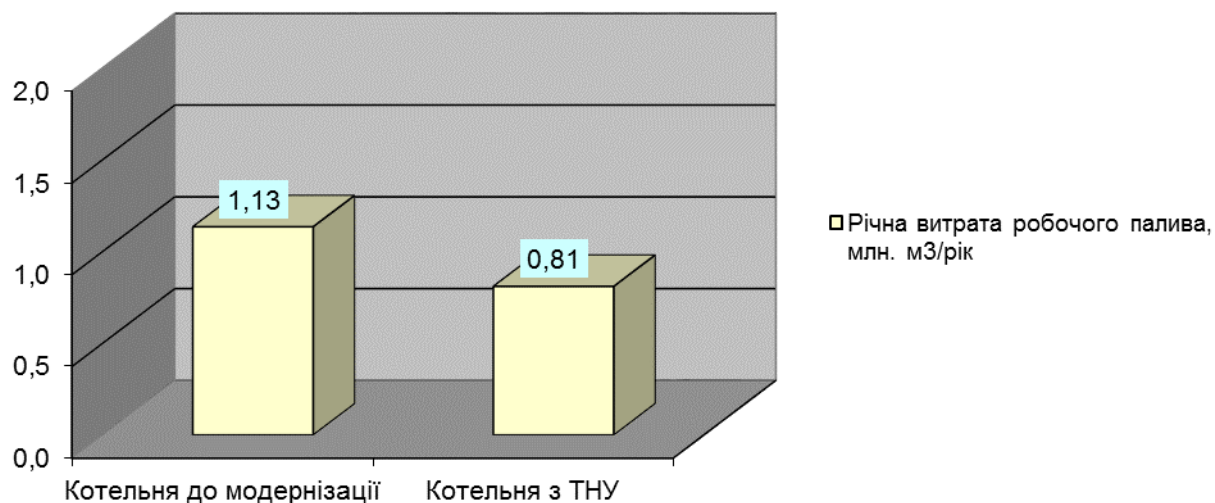


Рисунок 2.8 – Техніко-економічні показники для базового та альтернативного варіантів теплової схеми котельні

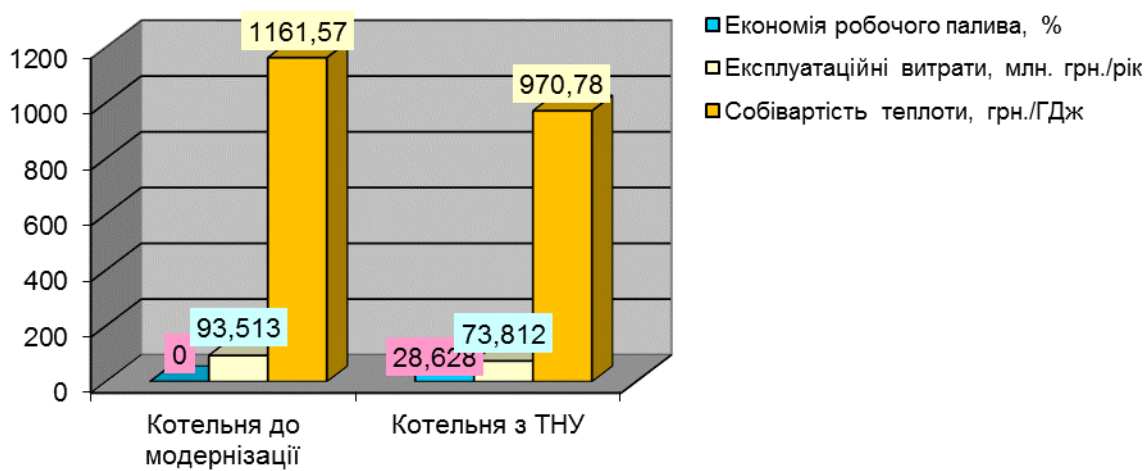


Рисунок 2.9 – Техніко-економічні показники для базового та альтернативного варіантів теплової схеми котельні

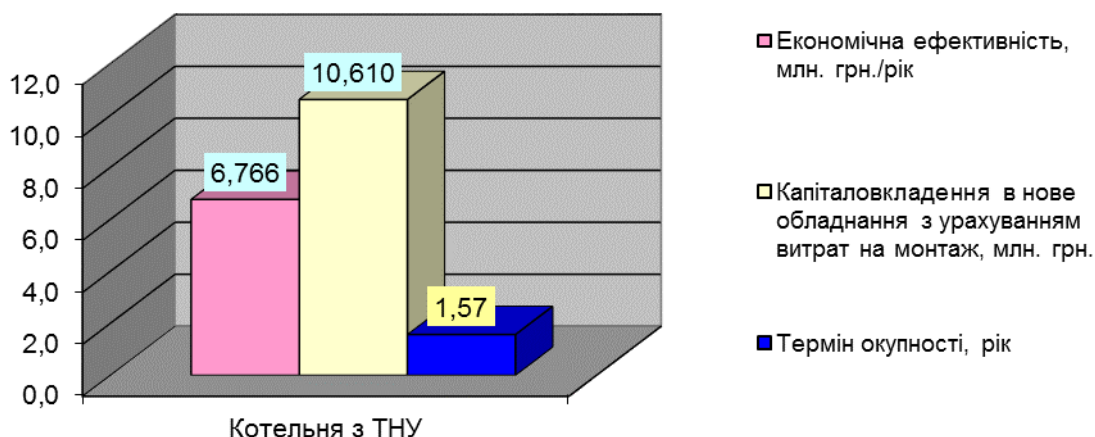


Рисунок 2.10 – Техніко-економічні характеристики для базового та альтернативного варіантів теплової схеми котельні

На основі проведеного у цьому розділі комплексного аналізу різних варіантів проектних рішень та економічного обґрунтування, здійсненого для вибраного способу впровадження теплового насоса (ТН) у теплову схему котельні, було встановлено наступне. Залучення теплоти побічних енергетичних ресурсів котельні та відновлюваних енергоджерел у схемі котельні з парокомпресійним ТН дозволить заощадити природний газ на 28,6%, скоротити операційні витрати на 6,76 млн. грн. щорічно та забезпечить зменшення собівартості отриманої теплової енергії (згідно з рис. 2.9). Інвестиції у нове устаткування для варіанту реконструкції схеми опалювальної котельні з ТН складатимуть 10,6 млн. грн., період повернення інвестицій становитиме 1,5 року.

2.4 Математичний інструментарій та програмні засоби для обчислення показників ефективності теплової схеми котельні

Обчислення показників ефективності різних варіантів використання парокомпресійного ТН у тепловій схемі опалювальної котельні виконувались шляхом математичного моделювання. Для моделювання застосовувалась

спеціалізована програма SOLKANE SoftWare 8.0 [16], яка активно використовується у європейських навчальних закладах у програмах підготовки студентів для моделювання функціонування ТН та обчислення циклів парокомпресійних ТН з різноманітними типами холодоагентів та схемними варіантами ТН. Вивчалась робота ТН з врахуванням режимних характеристик теплової схеми на високо- та низькотемпературних рівнях, які відповідають температурним параметрам теплоти побічних енергоресурсів котельні (продуктів згоряння) та природного низькотемпературного джерела теплоти (води з річки).

Результати моделювання роботи ТН у програмі SOLKANE SoftWare 8.0 для значень параметрів відповідно до характеристик теплової схеми представлені на рис. 2.11 – 2.15.

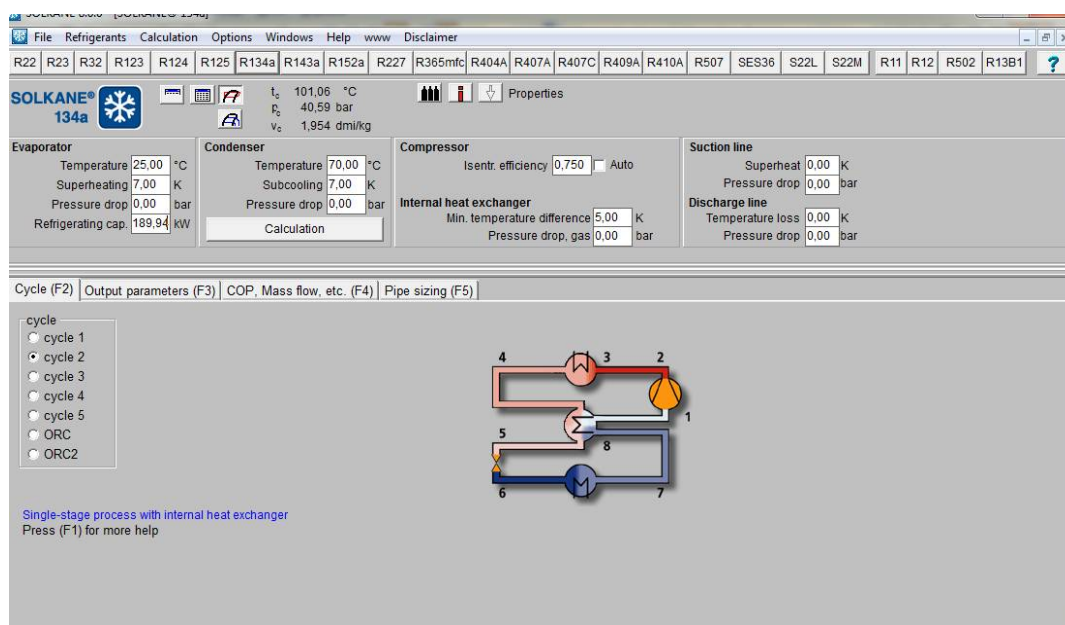


Рисунок 2.11 – Встановлення типу циклу ТН та введення вхідних параметрів у програмному забезпеченні SOLKANE SoftWare 8.0

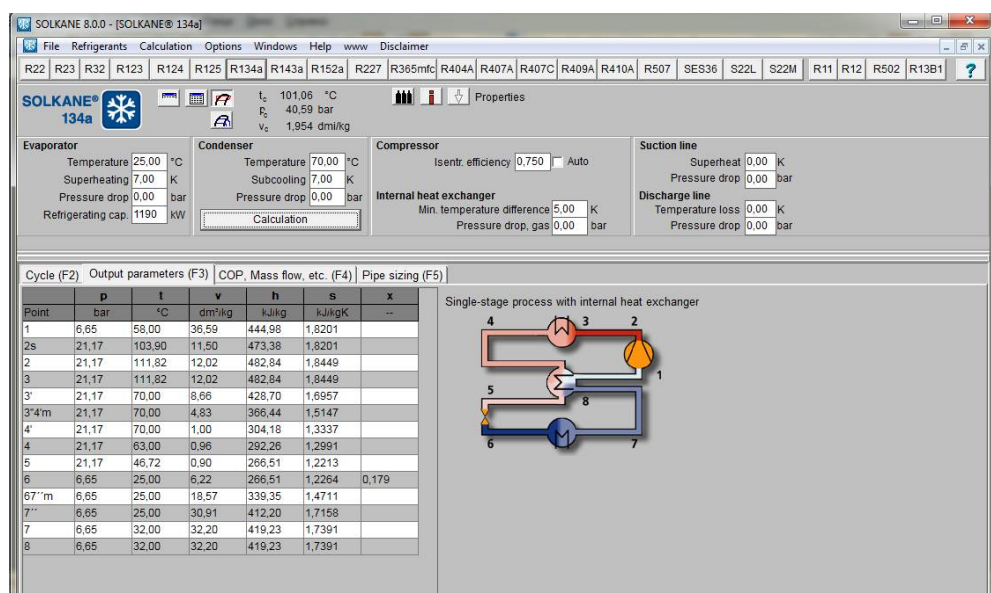


Рисунок 2.12 – Розрахунок характеристик робочої речовини в програмному забезпеченні SOLKANE SoftWare 8.0

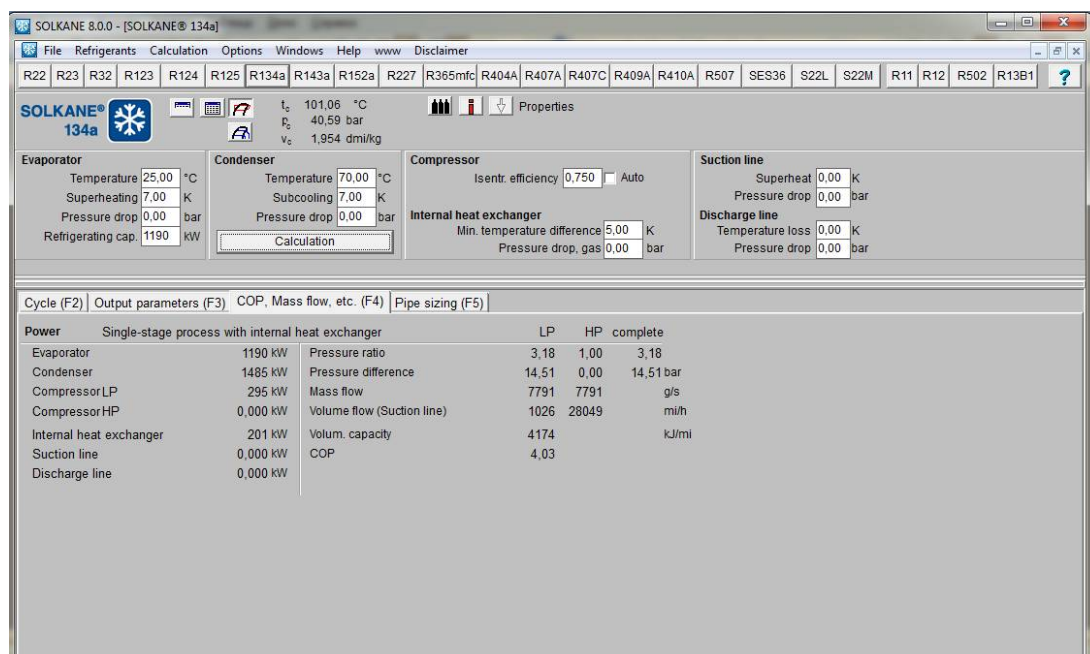


Рисунок 2.13 – Обчислення питомих характеристик циклу ТН

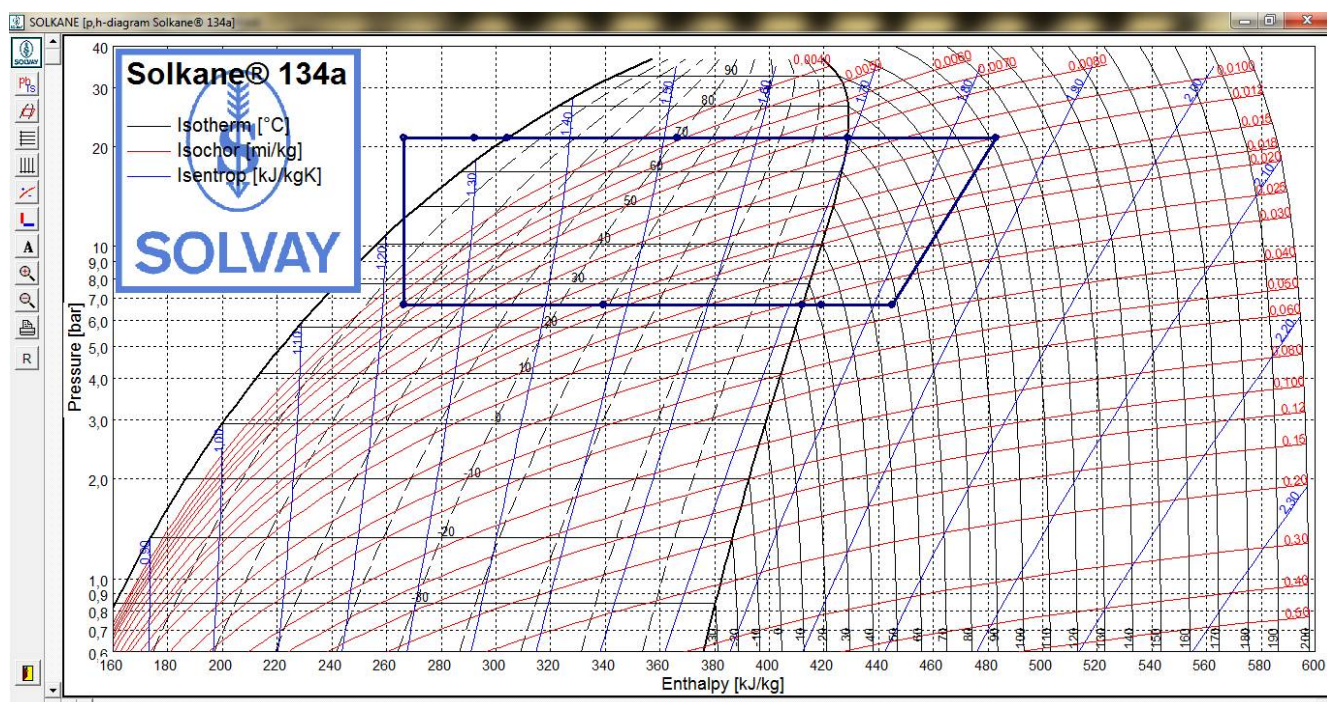


Рисунок 2.14 – Створення програмним забезпеченням SOLKANE SoftWare 8.0 термодинамічного циклу ТН на P-h діаграмі

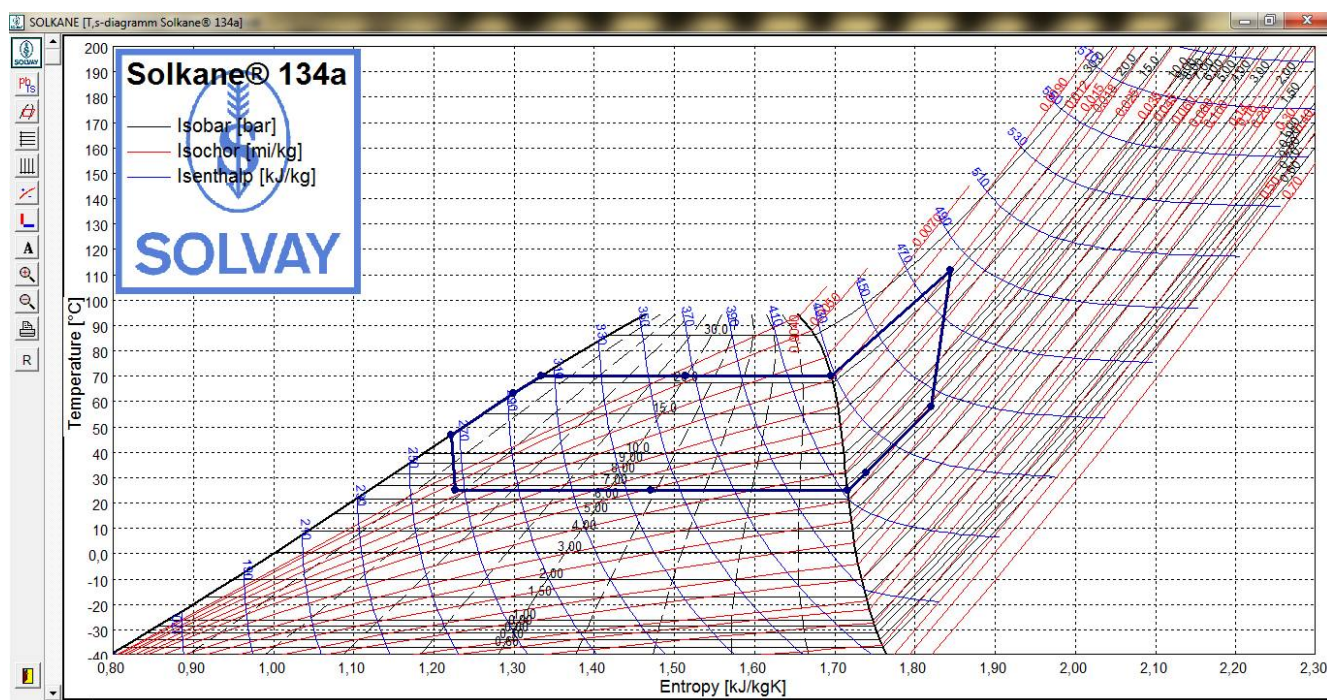


Рисунок 2.15 – Створення програмою SOLKANE термодинамічного циклу ТН на T-s діаграмі

У бакалаврській роботі виконано обчислення показників ефективності різних способів використання парокомпресійного ТН у тепловій схемі опалювальної котельні, які проводились за допомогою математичного моделювання. Для моделювання застосовувалось спеціалізоване програмне забезпечення SOLKANE SoftWare 8.0 [16], що активно використовується у європейських вищих навчальних закладах у освітніх програмах студентів для симуляції функціонування ТН та обчислення циклів парокомпресійних ТН з різноманітними типами робочих речовин та конструктивними варіантами ТН.

Отримані результати моделювання на підставі проведених досліджень схем ТН представлені на рис. 2.16 – 2.21.

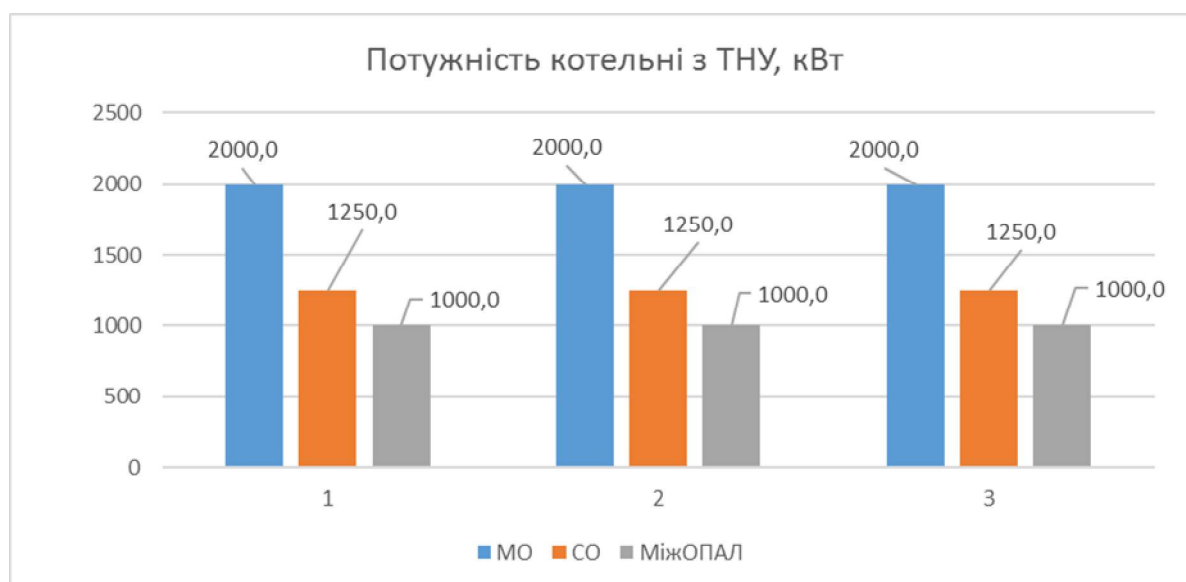


Рисунок 2.16 – Результати моделювання теплової потужності котельні

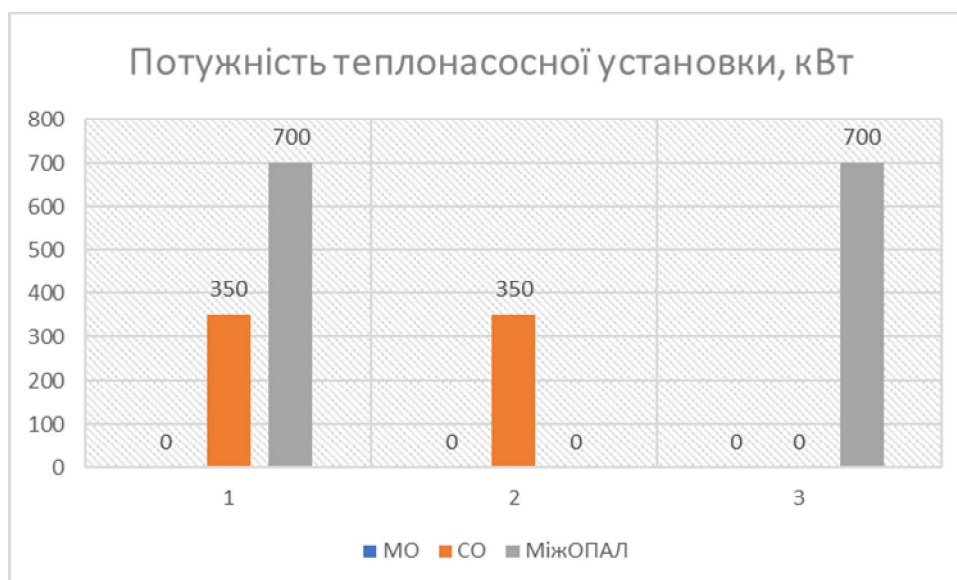


Рисунок 2.17 – Результати моделювання теплової потужності конденсатора ТНУ

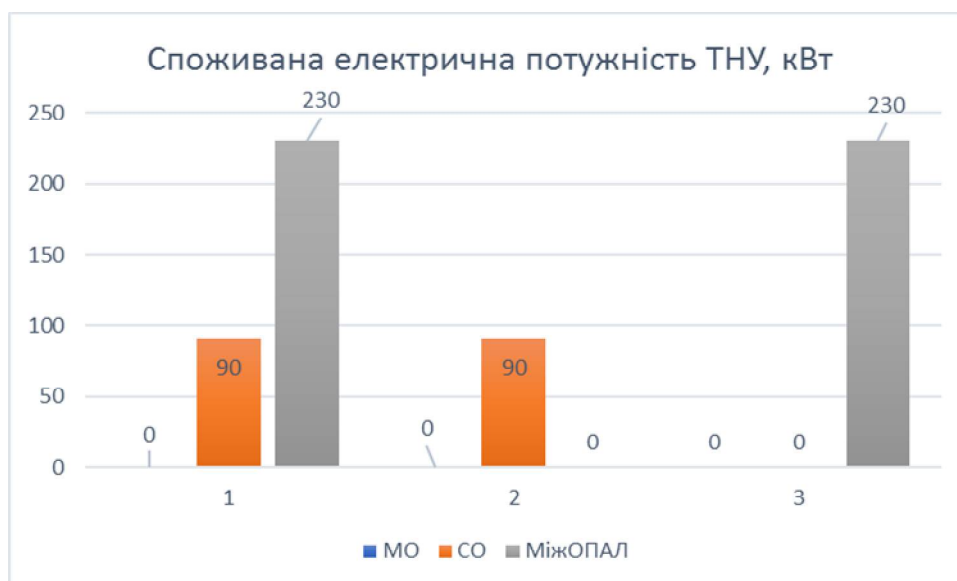


Рисунок 2.18 – Результати моделювання електричної потужності, що споживає компресор ТНУ

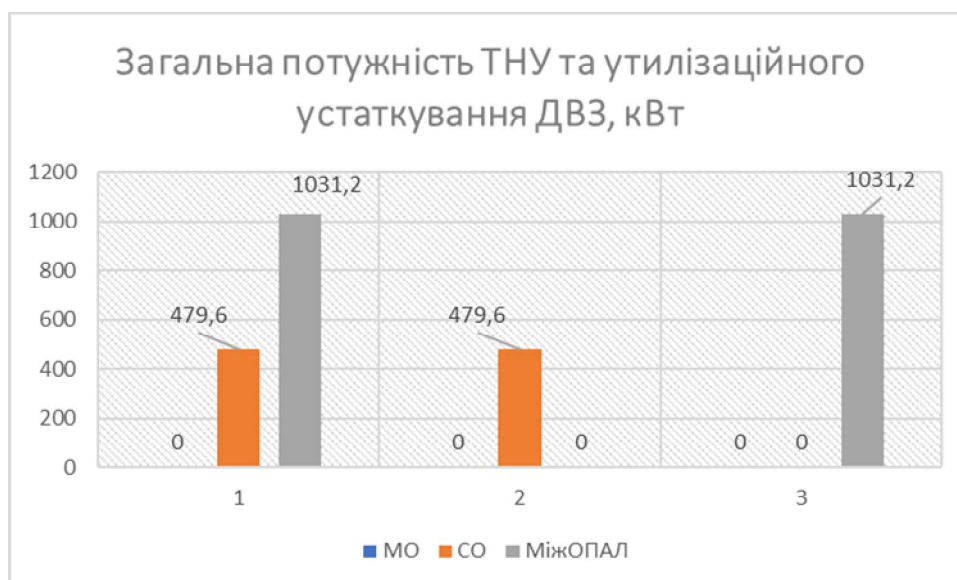


Рисунок 2.19 – Результати моделювання загальної теплової потужності ТНУ та утилізаторів від приводного двигуна

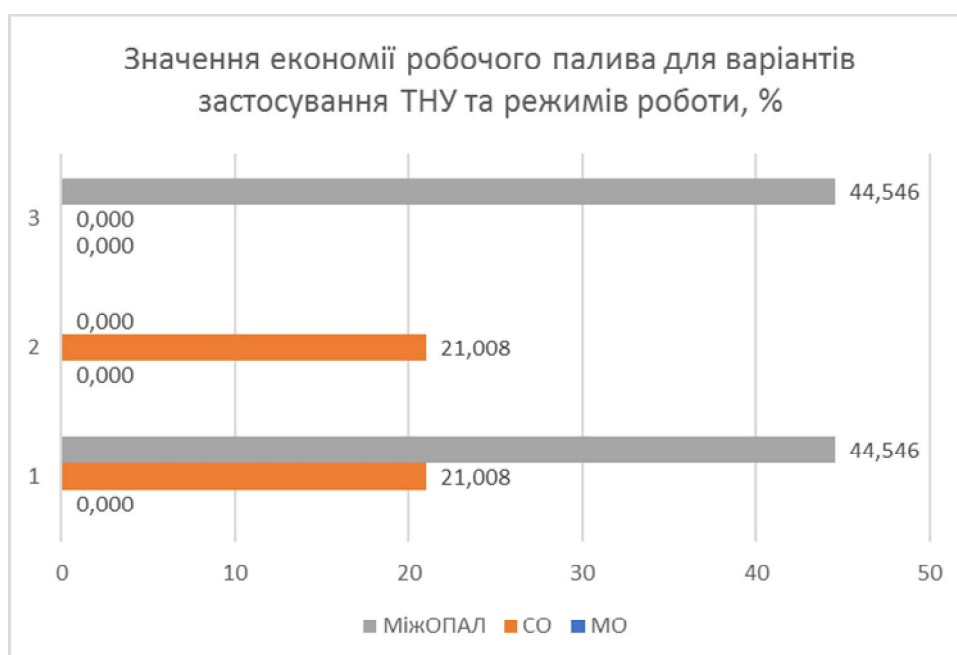


Рисунок 2.20 – Результати моделювання значень відносної економії робочого палива для варіантів застосування ТНУ, %

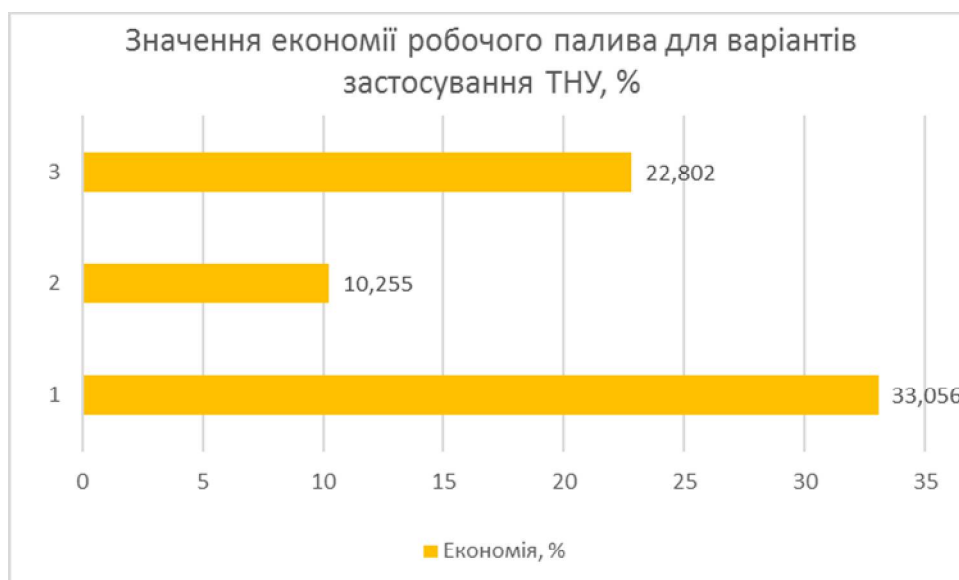


Рисунок 2.21 – Результати моделювання значень річної економії робочого палива для варіантів застосування ТНУ, %

Висновок

На підставі здійсненого у даному розділі комплексного аналізу альтернативних проектних варіантів та економічного обґрунтування, виконаного для вибраного способу впровадження ТН у теплову схему котельні, було встановлено наступне. Залучення теплоти побічних енергетичних ресурсів котельні та поновлюваних енергоджерел у схемі котельні з парокомпресійним ТН дозволить скоротити споживання природного газу на 28,6 %, зменшити операційні витрати на 6,76 млн. грн. щорічно та забезпечить зниження собівартості отриманої теплової енергії (згідно з рис. 2.9). Інвестиції у нове устаткування для варіанту реконструкції схеми опалювальної котельні з ТН складатимуть 10,6 млн. грн., період повернення вкладених коштів становитиме 1,5 року.

У бакалаврській кваліфікаційній роботі виконані обчислення показників ефективності різних способів використання парокомпресійного ТН у тепловій схемі опалювальної водогрійної котельні проводились шляхом математичного моделювання. Для моделювання застосовувалось спеціалізоване програмне

забезпечення SOLKANE SoftWare 8.0, що активно використовується у європейських вищих навчальних закладах у освітніх програмах студентів для симуляції функціонування ТН та обчислення циклів парокомпресійних ТН з різноманітними типами робочих речовин та конструктивними рішеннями ТН. Вивчалась робота ТН з врахуванням режимних характеристик теплової схеми на високо- та низькотемпературних рівнях, які відповідають температурним параметрам теплоти побічних енергоресурсів котельні (продуктів згоряння) та природного низькотемпературного джерела теплоти (води з річки).

3 РЕЗУЛЬТАТИ ОБЧИСЛЕНЬ ТЕПЛОВОЇ СХЕМИ КОТЕЛЬНОЇ З ПАРОКОМПРЕСІЙНИМ ТН

3.1 Обчислення потужностей контактного рекуператора

Результати обчислення режимних характеристик та теплових потужностей для контуру «контактний рекуператор – ТН» для часткової утилізації теплоти продуктів згоряння котельні в опалювальному режимі роботи, що був виконаний за методологією з [17], представлені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати обчислення для контуру «контактний рекуператор – ТН»

Показник	Позначення	Одиниця вимірювання	Формула	Значення
Споживання основного палива котельнею протягом опалювального періоду	V_p	$\text{м}^3/\text{с}$	Часткова утилізація	0,04
Сумарна потужність рекуператорів	$Q_{\text{заг. ут}}$	кВт	$Q_{\text{заг. ут}} = Q_{\text{ут}} + Q_{\text{оп}}$	234,82
Миттєва витрата води, що підігрівається у рекуператорі	$G_{\text{ут}}$	кг/с	$G_{\text{ут}} = Q_{\text{заг. ут}} \cdot 1000 / ((t_1 - t_2) \cdot 4,19)$	3,73
Теплова потужність пластинчастого теплообмінного апарата контуру «рекуператор теплоти димових газів-ТН»	$Q_{\text{то}}$	кМВт	$Q_{\text{заг. ут}}$	234,82

Результати обчислення потужностей контуру контактного рекуператора теплоти продуктів згоряння досліджуваної водогрійної опалювальної котельні в опалювальному режимі функціонування котельні наведені в табл. 3.1.

3.2 Обчислення теплонасосної системи для вибраного варіанту реконструкції теплової схеми

Результати обчислень основних характеристик ТН, що функціонує на робочій речовині R134a, які виконані в програмному забезпеченні SOLKANE SoftWare 8.0 з застосуванням методичних засад [18 – 20], представлені в таблиці 3.2

Таблиця 3.2 – Результати обчислення основних характеристик ТН

Показник	Позначення	Одиниця вимірювання	Формула	Періоди роботи ТНУ	
				СО	МіжОПАЛ
Питома теплота, що відбирається з конденсатора	q_k	кДж/кг	$q_k = h_2 - h_3$	143,33	143,33
Питома теплота, що підводиться до випарника	q_v	кДж/кг	$q_v = h_1 - h_4$	110	94
Теплова потужність ТН	Q_k	кВт	Задається	350	700
Масова витрата робочої речовини	$G_{ха}$	кг/с	$G_{ха} = \frac{Q_k}{q_k \cdot \eta_{то}}$	2,23	4,76
Коефіцієнт трансформації	φ		$\varphi = \frac{Q_k}{N_{км}}$	4,00	2,706
Потужність компресорного обладнання	$N_{км}$	кВт	$N_{км} = \frac{G_{ха} \cdot H_p}{\eta_{ем}}$	90	230
Потужність випарного апарата	Q_v	кВт	$Q_v = Q_k - N_{км}$	234,82	421,50
Масова витрата води у випарному апараті	G_v	кг/с	$G_v = \frac{Q_v}{C_p \cdot (t'_v - t''_v) \cdot \eta_{то}}$	3,812	6,843
Масова витрата води в конденсаторі	G_k	кг/с	$G_k = \frac{Q_k}{C_p \cdot (t_{тну} - t_{зв})}$	3,557	4,986

Результати обчислень ТН на робочій речовині R134a, що було виконано в програмному забезпеченні SOLKANE SoftWare 8, наведені в таблиці 3.2.

3.3 Обчислення рекуперативних потужностей від приводного мотора

Результати обчислення рекуперативних потужностей приводного мотора ТН, здійсненого за методологією з [18-20], представлені у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Результати обчислення рекуперативних потужностей приводного мотора ТН

Показник	Позначення	Одиниця вимірювання	Формула	CO	МіжОПАЛ
Електрична потужність мотора	$N_{\text{двз}}$	кВт	3 розрахунку ТНУ	90	230
Споживання природного газу	$V_p^{\text{д}}$	м ³ /с	$V_p^{\text{д}} = \frac{B_y^{\text{д}} \cdot Q_{\text{н}}^{\text{р}}}{Q_{\text{н}}^{\text{р}}}$	0,006	0,019
Масова витрата продуктів згоряння після мотора	$G_{\text{вг}}$	кг/с	$G_{\text{вг}} = B_p^{\text{д}} \cdot M_{\text{сум}}$	0,146	0,463
Потужність рекуператора теплоти продуктів згоряння	$Q_{\text{ут}}$	кВт	$Q_{\text{ут}} = G_{\text{вг}} \cdot C_{\text{р}} \cdot (t_{\text{д}} - t_{\text{ут}}) \cdot \eta_{\text{то}}$	54,07	170,82
Потужність системи охолодження мотора	$Q_{\text{ох}}$	кВт	$Q_{\text{ох}} = 0,2 \cdot B_p^{\text{д}} \cdot Q_{\text{н}}^{\text{р}} \cdot \eta_{\text{то}}$	40,16	126,88
Потужність теплорекуперативного обладнання	$\sum Q_{\text{ут}}$	кВт	$\sum Q_{\text{ут}} = Q_{\text{ут}} + Q_{\text{ох}}$	94,23	297,69
Витрата води в рекуператорі	$G_{\text{ут}}$	кг/с	$G_{\text{ут}} = \frac{Q_{\text{ут}}}{C_p \cdot (t_2 - t_1)}$	0,57	1,81

Результати обчислення рекуперативних потужностей приводного мотора ТН, здійсненого за методологією з [18-20], представлені у таблиці 3.3.

3.4 Підбір теплонасосного та додаткового устаткування. Розробка технології встановлення нового обладнання

Для вибраного варіанту використання ТН на теплоті побічних енергоресурсів та поновлюваного природного джерела в реконструйованій тепловій схемі здійснюємо підбір нового устаткування на основі [21-24].

У тепловій схемі планується встановлення теплового насоса виробництва фірми OCHSNER, серії IWWS660ER2, моделі W10/W35 з розрахунковою теплопродуктивністю 800 кВт, який функціонуватиме у двох режимах: опалювальному режимі (середнє навантаження) та міжопалювальному режимі (режим ГВП). Привід компресора теплового насоса буде забезпечений від газопоршневого двигуна–генератора Generac SG 400 номінальної потужності 400 кВт. Для генерування теплоти в контурі випарника ТН підібрано КТАН-рекуператор марки КТАН-0,8УГ (теплопродуктивність 0,1-1 МВт).

Розроблено технологію встановлення пластинчастого теплообмінного апарата для контуру випарника теплового насоса на основі літературних джерел [25 - 34], результати обчислень наведені в Додатку В.

Висновок

Для вибраного варіанту використання ТН на теплоті побічних енергоресурсів та поновлюваного природного джерела в реконструйованій тепловій схемі здійснено підбір нового устаткування.

Розроблено технологію встановлення пластинчастого теплообмінного апарата для контуру випарника теплового насоса на основі літературних джерел [25 - 34], результати обчислень наведені в Додатку В.

4 АНАЛІЗ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕПЛОВОЇ СХЕМИ КОТЕЛЬНІ З ТН

4.1 Аналіз енергетичної ефективності теплової схеми котельні з парокомпресійним ТН

Результати аналізу ефективності теплової схеми котельні з парокомпресійним ТН (згідно з методологією з [18-20]), представлені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Аналіз енергетичної ефективності теплової схеми котельні з
парокомпресійним ТН

Показник	Позначення	Одиниця вимірювання	Формула	Режим 1	Режим 2	Режим 3
Теплова потужність котельні	Q_k	кВт	$Q_k = G_k \cdot c_v \cdot (t_k'' - t_k') \cdot 10^{-3}$	3095	1868,4	0
Споживання основного палива котлом	B_{pk}	м ³ /с	$B_{pk} = Q_k / (Q_p \cdot \eta_k)$	0,0639	0,0264	0
Сумарна потужність ТН та рекуператорів ДВЗ	ΣQ	МВт	За попередніми розрахунками	0	425,59	1024,2
Споживання основного палива ДВЗ	B_{dvz}	м ³ /с	За попередніми Розрахунками	0	0,006	0,019
Загальне споживання палива котельнею	B_z	м ³ /с	$B_z = B_k + B_{dvz}$	0,0639	0,0323	0,019
Заощадження палива внаслідок модернізації	ΔB	%	$\Delta B = \frac{B_{icn} - B_z}{B_{icn}} \cdot 100\%$	0	18,966	40,447
Теплова потужність котельні	$\Delta B_{серед\ річ}$	%		29,9		

Результати аналізу ефективності теплової схеми котельні з парокомпресійним ТН (згідно з методологією з [18-20]), представлені в табл. 4.1.

4.2 Дослідження показників економічної ефективності теплової схеми котельні з ТН

Дослідження показників економічної ефективності теплової схеми котельні з ТН було здійснено згідно з методологією з літературних джерел [18-20, 35-37], результати наведені в табл. 4.2 та на рис. 4.1 – 4.4.

Таблиця 4.2 – Показники економічної ефективності теплової схеми котельні з ТН

Показник	Позначення	Одиниця вимірювання	Формула	Значення
Додаткові витрати до реконструкції	$C_{інші}$	грн/рік	$C_{інші} = 0,06 \cdot (C_{п} + C_{ел} + C_{в} + C_{з.п})$	2331815
Додаткові витрати після реконструкції	$C_{інші}^M$	грн/рік	$C_{інші}^M = 0,06 \cdot (C_{п}^M + C_{ел}^M + C_{в}^M + C_{ам} + C_{з.п.} + C_{пр})$	1948821
Операційні витрати до реконструкції	C_e	грн/рік	$C_e = C_{п} + C_{ел} + C_{в} + C_{з.п.} + C_{інші}$	41195404
Операційні витрати після реконструкції	C_e^M	грн/рік	$C_e^M = C_{п}^M + C_{ел}^M + C_{в}^M + C_{ам} + C_{з.п.} + C_{пр} + C_{інші}^M$	34429166
Скорочення операційних витрат	ΔC_e	грн/рік	$\Delta C_e = C_e - C_e^M$	6766238
Собівартість наданої теплової енергії	$CB_{негод.}$	грн/ГДж	$CB_{негод.} = C_e / Q_{річ}$	1161,56
Собівартість наданої теплової енергії після реконструкції	$CB_{год.}$	грн/ГДж	$CB_{год.} = C_e^M / Q_{річ}$	970,78
Економічна ефективність	$E_{ф}$	млн. грн/рік	$E_{ф} = (CB_{негод.} - CB_{год.}) \cdot Q_{річ.}$	6766238
Період повернення інвестицій	T	рік	$T = K_{н.о.} / E_{ф}$	1,5

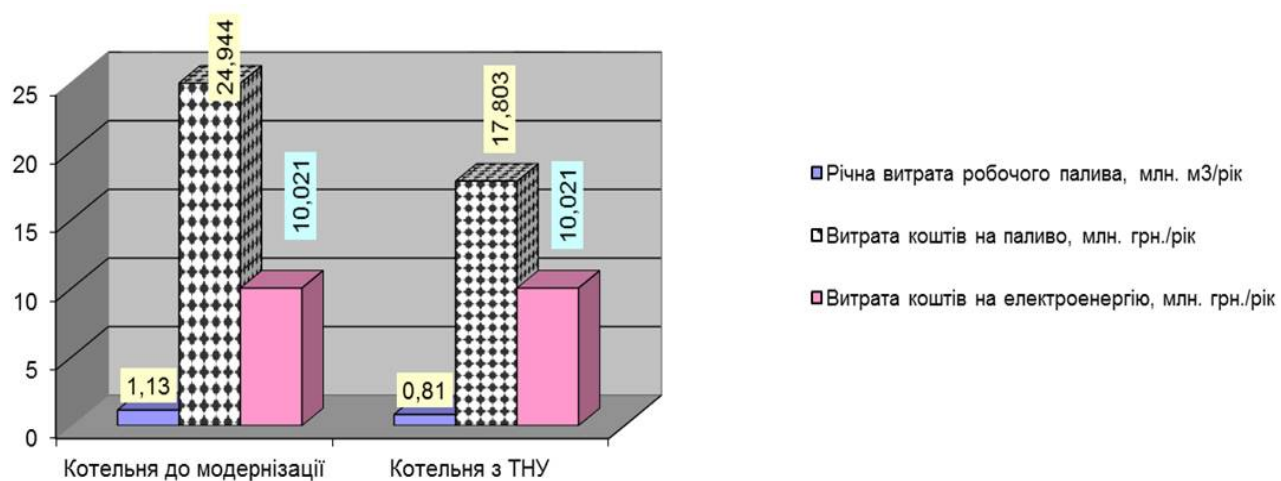


Рисунок 4.1 – Техніко-економічні показники

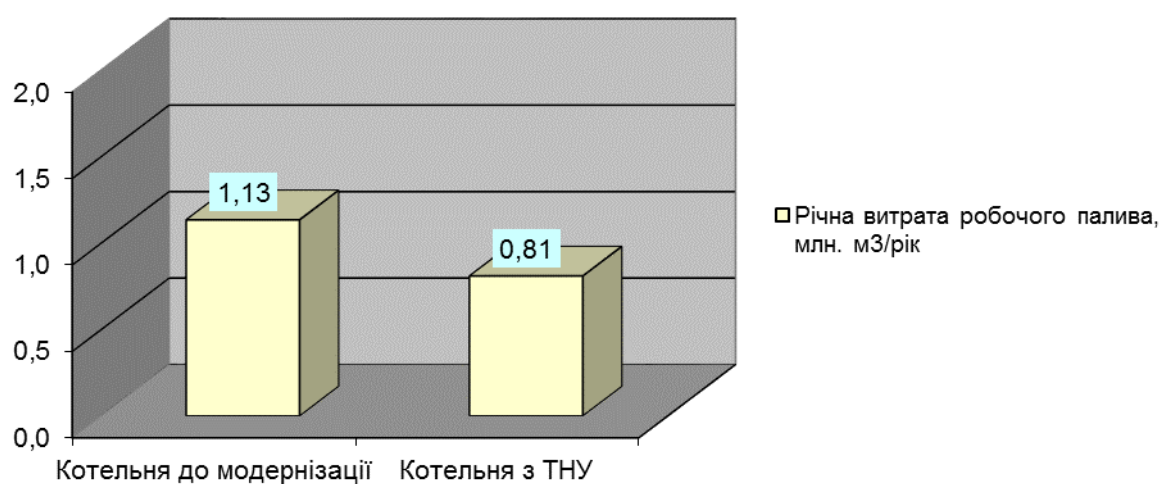


Рисунок 4.2 – Техніко-економічні показники

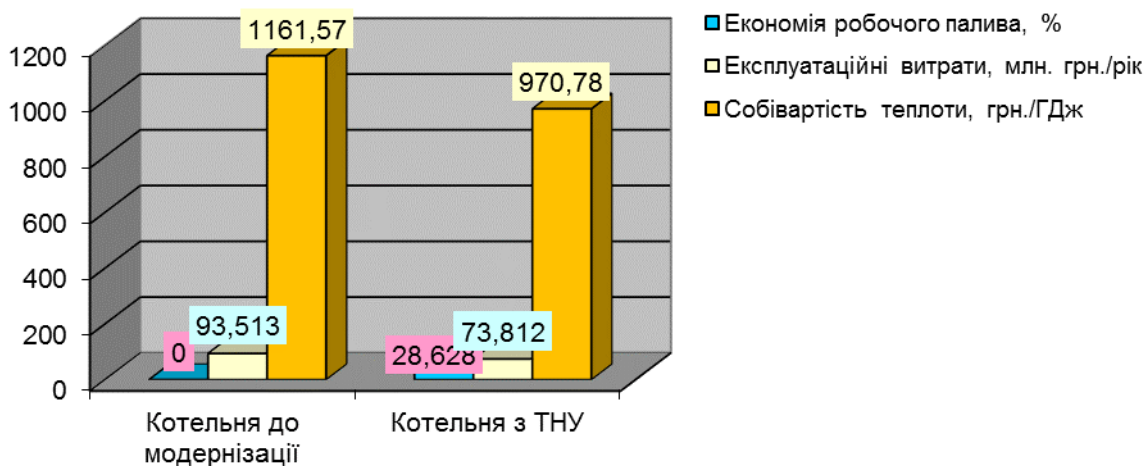


Рисунок 4.3 – Техніко-економічні показники

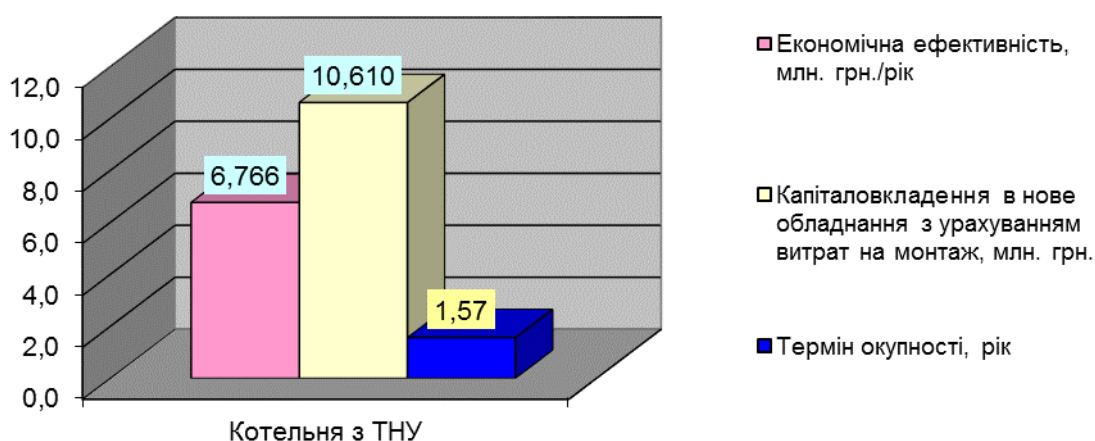


Рисунок 4.4 – Техніко-економічні показники

Висновки

На підставі здійсненого у даному розділі економічного дослідження, виконаного для вибраного способу впровадження ТН у теплову схему котельні, було встановлено наступне. Залучення теплоти побічних енергетичних ресурсів котельні та поновлюваних енергоджерел у схемі котельні з парокомпресійним ТН дозволить заощадити природний газ на 28,6%, скоротити операційні витрати на 6,76

млн. грн. щорічно та забезпечить зменшення собівартості отриманої теплової енергії. Інвестиції у нове устаткування для варіанту реконструкції схеми опалювальної котельні з ТН складатимуть 10,6 млн. грн., період повернення вкладених коштів становитиме 1,5 року.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

У цьому розділі бакалаврської роботи розроблені заходи з охорони праці під час виконання робіт з монтажу обладнання теплової схеми водогрійної котельні. На будівельно-монтажний персонал, який здійснює монтажні та налагоджувальні роботи з монтажу цієї системи, впливають такі шкідливі виробничі фактори [38, 39]:

фізичні фактори: мікроклімат (температура, вологість, швидкість руху повітря); виробничий шум, інфразвук; вібрація (локальна, загальна); освітлення: природне (недостатність), штучне (недостатня освітленість, прямий і відбитий сліпучий відблиск тощо);

хімічні фактори: речовини хімічного походження, в основному аерозолі фіброгенної дії (нетоксичний пил, оксид вуглецю);

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

Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкту.

Під час монтажу інженерного обладнання теплової схеми (прокладання трубопроводів, монтаж сантехнічного, опалювального, вентиляційного та газового обладнання), з метою запобігання впливу на працівників цих небезпечних і шкідливих виробничих факторів, потрібно дотримуватися вимог [40], а саме:

під час виконання робіт на висоті робочі місця повинні бути обладнані вентиляцією, засобами пожежогасіння;

додержанням заходів безпеки під час виконання робіт у траншеях і колодязях;

додержанням спеціальних заходів безпеки під час травлення і знежирення трубопроводів.

Заготівлю та припасування труб необхідно виконувати в заготівельних майстернях. Виконання цих робіт на риштуваннях, призначених для монтажу трубопроводів, забороняється.

Ліквідацію недоліків, виявлених під час випробувань змонтованої системи і обладнання, необхідно виконувати на підставі розроблених і затверджених замовником і генеральним підрядником разом із субпідрядними організаціями заходів щодо безпеки виконання цих робіт. Встановлення та зняття перемичок (зв'язків) між змонтованим і діючим устаткуванням, а також підключення тимчасових установок до діючих систем (електричних, парових, технічних тощо) без письмового дозволу генерального підрядника і замовника не допускається.

Монтаж трубопроводів і повітроводів на естакадах необхідно виконувати з інвентарного риштування, обладнаного сходами для піднімання і спускання працівників. Піднімання і спускання конструкціями естакад не допускається. Забороняється перебування людей під обладнанням, що встановлюється, монтажними вузлами обладнання і трубопроводів до їх остаточного закріплення. Опускати труби у закріплену траншею необхідно так, щоб не порушувати кріплення траншеї. Не дозволяється скочувати труби в траншею за допомогою ломів і ваг, а також використовувати розпірки кріплення траншей як опори для труб.

Всі електроустановки повинні бути в пожежо- вибухобезпечному виконанні. Монтаж обладнання, трубопроводів і повітропроводів поблизу електричних мереж (у межах відстані, яка дорівнює найбільшій довжині вузла чи ланки трубопроводу, що монтується) виконується при знятій напрузі.

Під час продування труб стисненим повітрям забороняється перебувати в камерах і колодязях, де встановлено засувки, вентиля, крани тощо. Під час продування трубопроводів необхідно встановлювати на кінцях труб щити для захисту очей від окалини та піску. Персоналу забороняється перебувати проти чи поблизу кінців труб, що продуваються.

Під час монтажу трубопроводів і обладнання стикування та з'єднання отворів і перевіряння їх збігу в деталях, що монтуються, необхідно виконувати за допомогою спеціального інструменту (конусних оправок, складальних пробок тощо). Перевіряти збіг отворів у деталях, що монтуються, пальцями рук не допускається.

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

Безпека випробувань обладнання та трубопроводів повинна бути забезпечена відповідно до вимог [40], заходів з безпеки праці, зазначених у проектно-технологічній документації (ПОБ, ПВР тощо), а також відповідно до опрацювання та дотримання: плану випробувань; вимог безпеки під час виконання робіт у траншеях, колодязях і на висоті; заходів безпеки під час пневматичних випробувань обладнання та трубопроводів, випробування обладнання під навантаженням.

Випробування обладнання та трубопроводів необхідно виконувати під безпосереднім керівництвом спеціально призначеної особи з числа фахівців монтажної організації. Випробування змонтованого обладнання потрібно виконувати відповідно до вимог [40], правил та інструкцій, затверджених органами Держпраці, а також інструкцій заводу-виробника з експлуатації даного обладнання.

Перед випробуванням обладнання необхідно: керівнику робіт ознайомити персонал, який бере участь у випробуваннях, з порядком проведення робіт і заходами їх безпечного виконання; попередити працюючих на суміжних ділянках про час проведення випробувань; забезпечити візуальну, а за необхідності, за допомогою приладів, перевірку кріплення устаткування, стану ізоляції та заземлення електричної частини, наявності та справності арматури, пускових і гальмівних пристроїв, контрольно-вимірювальних приладів і заглушок; огородити і позначити відповідними знаками зону випробувань; за необхідності улаштувати аварійну сигналізацію; забезпечити можливість аварійного вимкнення обладнання, що випробовується; перевірити відсутність усередині і ззовні обладнання сторонніх предметів; означити попереджувальними знаками тимчасові заглушки, люки та

фланцеві з'єднання; обладнати пости з розрахунку один пост у межах видимості іншого, але не рідше ніж через кожних 200 м один від одного для попередження про небезпечну зону; визначити місця й умови безпечного перебування осіб, зайнятих випробуванням; забезпечити готовність засобів пожежогасіння й обслуговуючого персоналу, який може бути задіяний для ліквідації пожежі; забезпечити освітленість робочих місць не менше ніж 50 лк; призначити осіб, відповідальних за виконання заходів безпеки, передбачених програмою випробувань.

Усунення недоробок на обладнанні, виявлених під час випробувань, необхідно виконувати після його відключення і повної зупинки.

Одночасні гідравлічні випробування декількох трубопроводів, змонтованих на одних опорних конструкціях чи естакаді, допускаються у разі, якщо опорні конструкції чи естакади розраховані на відповідні навантаження. У разі розташування трубопроводів поблизу житлових чи таких, що експлуатуються громадських або промислових будинків, їх пневматичні випробування можна проводити за умови, що віконні та дверні прорізи цих будинків, які знаходяться у межах небезпечної зони, повинні бути закриті захисними огорожами (щитами, ґратами).

Починати випробування обладнання дозволяється тільки після своєчасного попередження осіб, що перебувають у зоні випробувань, і одержання дозволу керівника випробувань. Під час випробувань обладнання не дозволяється: знімати захисні огорожі; відкривати люки, огорожі, чистити та змазувати обладнання, доторкатися до його частин, що рухаються; перевіряти та усувати дефекти в електричних колах електроустаткування та приладів автоматики.

Електробезпека

Живлення силового будівельного обладнання та систем освітлення здійснюється від чотирьохпровідної трифазної мережі 380 х 220В (фазна напруга (фаза – "0") – 220В, а міжфазна лінійна (фаза – фаза) – 380В), з'єднаної з силовим трансформатором. Проектування та експлуатація електричних мереж і установок повинна здійснюватися за умови дотримання вимог з їхньої електробезпеки [41, 42]. Категорія умов за небезпекою електротравматизму – підвищеної небезпеки, у

зв'язку з наявністю на об'єктах, що будуються та реконструюються, струмопровідної підлоги.

Технічні рішення щодо запобігання електротравмам [41, 42]: для запобігання електротравм від контакту з нормально-струмопровідними елементами електроустаткування, необхідно: розмішувати неізолювані 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; персонал, який обслуговує електроустановки, повинен бути забезпечений випробуваними основними та допоміжними електрозахисними засобами. Основні (до 1000В): ізолювальні штанги; ізолювальні та струмовимірювальні кліщі; покажчики напруги; діелектричні рукавиці; слюсарно-монтажний інструмент з ізолюваними ручками; додаткові (до 1000 В): діелектричні калоші; діелектричні килимки; переносні заземлення; ізолювальні накладки і підставки; захисні пристрої; плакати і знаки безпеки.

Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

Мікроклімат

Для забезпечення нормального мікроклімату в робочій зоні [43] встановлені нормовані параметри, значення яких наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Нормовані параметри мікроклімату в робочій зоні з категорією робіт Па.

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

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату проектом передбачено [44]: температура внутрішніх поверхонь будівельних

конструкцій робочої зони і зовнішніх поверхонь обладнання при забезпеченні допустимих параметрів мікроклімату не повинна перевищувати 2°C; якщо температура поверхонь вище або нижче допустимої температури повітря, то робочі місця повинні бути віддалені від них на відстань не менше 1 м; для забезпечення нормованих значень швидкості руху повітря проектом передбачається витяжна та припливна вентиляційні системи.

Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується граничнодопустимими концентраціями (ГДК) в мг/м³ [43]. Нормовані параметри забруднення повітря в робочій зоні наведено в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Можливі забруднювачі повітря можуть і їх ГДК

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

Для нормалізації складу повітря робочої зони потрібно здійснювати щоденне прибирання робочого місця [44]. Потрібно підкреслити, що будь-яке нагромадження пилу може привести до загоряння. Чим дрібніше пил (менша зернистість), тим вище небезпека.

Виробниче освітлення

Характеристика зорових робіт – середньої точності.

Відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 розряд зорової роботи IV, підрозряд «в» [45]. Допустимі рівні виробничого освітлення наведені в таблиці 5.3.

Для забезпечення достатнього освітлення здійснюють систематичне очищення скла та світильників від пилу (не рідше двох разів на рік), використовують жалюзі. В разі нестачі природного освітлення, використовують загальне штучне освітленням, що створюється за допомогою світлодіодних ламп E27 LED 15W NW

A60 "SG". Висота підвісу світильників над робочою поверхнею 2,5 метра. Світильники з світлодіодними лампами розміщують рядами; що дозволяє здійснювати їх послідовне включення (відключення) в залежності від величини природної освітленості.

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	малий середній великий	світлий середній темний	400	200	4	2,4

Виробничий шум

Нормовані параметри виробничого шуму в робочій зоні за ССБТ. Шум Загальні вимоги безпеки [46] наведені в таблиці 5.4.

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
Постійні робочі місця в промислових приміщеннях	107	95	87	82	78	75	73	71	69

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».

Для зниження шуму в приміщенні, необхідно: безпосередньо біля джерел шуму використовувати звукопоглинаючі матеріали для покриття стелі, стін, застосовувати підвісні звукопоглиначі; для боротьби з вентиляційним шумом потрібно застосовувати мало шумові вентилятори.

Виробнича вібрація

На робочих місцях монтажників присутня вібрація типу За [47]. Нормовані параметри виробничої вібрації в робочій зоні наведено в таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 – Допустимі рівні вібрації на постійних робочих місцях

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

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

Для зменшення дії вібрацій на працюючих проектом передбачено: динамічне погашення вібрації – приєднання до захисного об'єкту системи, реакції якої зменшують розмах вібрації об'єкта в точках приєднання системи; зміна конструктивних елементів машин; застосування засобів індивідуального захисту, а саме рукавиці, вкладиші і прокладки, віброзахисне взуття з пружнодемпферуючим низом.

Пожежна безпека

Пожежну безпеку промислових і інших об'єктів регламентують Правила пожежної безпеки в Україні [48, 49]. Пожежо- вибухонебезпечність речовин і матеріалів визначається за ДСТУ 8829: 2019 [50], за якою визначається категорія

приміщень за вибуховою та пожежною безпекою [51].

Отже, приміщення, де встановлене нагрівальне обладнання системи опалення, за вибухонебезпекою та пожежонебезпекою відноситься до категорії Г – негорючі речовини і/або матеріали у гарячому стані; горючі гази, рідини і/або тверді речовини, що спалюються або утилізуються як паливо з зонами П-Іа, де є тверді горючі речовини чи матеріали.

Будівля, в якій розташовані ці приміщення, характеризується II ступенем вогнестійкості. До II ступеня вогнестійкості відносяться будинки з несучими та огорожувальними конструкціями з природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону, залізобетону із застосуванням листових і плитних негорючих матеріалів. Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвилинах) та максимальні межі поширення вогню по них (см) за ДБН В.1.1.7-2016 [52] наведено в таблиці 5.6.

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

Ступінь вогнестійкості і 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	пере-криття 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, настили, прого-ни	балки, ферми, арки, рами
II	REI 120 M0	REI 60 M0	E 15 M0	E1 15 M0	R 120 M0	R 60 M0	REI 45 M0	RE 15 M0	R 30 M0

Протипожежні перешкоди і мінімальні межі їх вогнестійкості за ДБН В.1.1.7-2016 [52] наведено в таблиці 5.7.

Таблиця 5.7 – Протипожежні перешкоди та мінімальні межі їх вогнестійкості

Протипожежні перешкоди	Типи протипожежних перешкод або їх елементів	Мінімальна межа вогнестійкості протипожежної перешкоди (у хвиликах)	Тип заповнення прорізів, не нижче	Тип протипожежного тамбуршлюзу, не нижче
Стіни	3	REI 45	2	2
Перегородки	2	EI 15	3	2
Перекриття	3	REI 45	2	1

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 5.8 – 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
I, II	6/9	8/9	10/12

На території будівництва котельної встановлено 6 вогнегасників ВВП-8 (ВП-5) [53].

ВИСНОВКИ

У даній бакалаврській кваліфікаційній роботі розроблено комплекс технічних рішень для підвищення енергоефективності та економії ресурсів у котельній установці. Основну увагу приділено оптимізації технічно-економічних параметрів функціонування існуючої теплової схеми водогрійної опалювальної котельні через впровадження парокомпресійної теплонасосної установки (ТНУ), яка використовує вторинні енергетичні ресурси та відновлювані природні джерела енергії. Реалізація запропонованих заходів дозволить суттєво зменшити енергетичні та ресурсні витрати на виробництво теплової енергії.

На основі комплексного багатоваріантного дослідження різноманітних технічних рішень щодо модернізації теплової схеми водогрійної котельні із застосуванням ТНУ та детального аналізу енергетичних характеристик був відібраний оптимальний варіант. Найкращим рішенням визнано використання вторинних енергоресурсів та відновлюваних джерел енергії в парокомпресійній ТНУ з газовим двигуном як привідним механізмом. Цей варіант модернізації теплової схеми водогрійної опалювальної котельні з ТНУ продемонстрував найвищі показники за всіма обраними енергетичними критеріями.

Результати проведеного багатоваріантного дослідження проектних рішень та техніко-економічного обґрунтування для обраного варіанту інтеграції ТНУ в теплову схему котельні показали значні переваги запропонованого рішення. Впровадження системи утилізації теплоти вторинних енергоресурсів котельні та використання відновлюваних джерел енергії в схемі з парокомпресійною ТНУ дозволить досягти економії природного газу на рівні 28,6%, скоротити експлуатаційні витрати на 6,76 млн. грн. щорічно та зменшити собівартість виробленої теплової енергії. Необхідні інвестиції в нове обладнання для модернізації схеми опалювальної котельні з ТНУ складуть 10,6 млн. грн., при цьому період повернення інвестицій становитиме 1,5 роки.

Розрахунки показників ефективності різних варіантів застосування парокомпресійної ТНУ в тепловій схемі опалювальної водогрійної котельні

виконувались за допомогою методу математичного моделювання. Для моделювання використовувалась спеціалізована програма SOLKANE SoftWare 8.0, яка є стандартним інструментом у європейських вищих навчальних закладах для підготовки фахівців з моделювання роботи ТНУ та розрахунків циклів парокомпресійних теплових насосів з різними типами холодоагентів та схемними рішеннями. Дослідження роботи ТНУ проводилось з урахуванням режимних параметрів теплової схеми на високо- та низькотемпературному рівнях, які відповідають температурним характеристикам вторинних енергоресурсів котельні (димові гази) та природного низькотемпературного джерела теплоти (річкова вода).

Проектом передбачається встановлення теплового насосу виробництва компанії OCHSNER серії IWWS660ER2 марки W10/W35 з розрахунковою тепловою потужністю 800 кВт. Обладнання функціонуватиме в двох основних режимах: опалювальному (середнє навантаження) та міжопалювальному (режим гарячого водопостачання). Привід компресора теплового насосу забезпечуватиметься газопоршневим двигуном-генератором Generac SG 400 номінальною потужністю 400 кВт. Для генерування теплоти в контурі випарника ТНУ підібрано котел-утилізатор марки КТАН-0,8УГ з тепловою потужністю 0,1-1 МВт.

Розроблено технологічний процес монтажу пластинчастого теплообмінника для контуру випарника теплового насосу.

Економічний аналіз обраного варіанту застосування ТНУ в тепловій схемі котельні підтвердив високу ефективність запропонованого рішення. Використання теплоти вторинних енергоресурсів котельні та відновлюваних джерел енергії в схемі з парокомпресійною ТНУ забезпечить скорочення споживання природного газу на 28,6%, зниження експлуатаційних витрат на 6,76 млн. грн. на рік та зменшення собівартості виробленої теплової енергії. Капітальні вкладення в нове обладнання для модернізації схеми опалювальної котельні з ТНУ становлять 10,6 млн. грн., а термін окупності інвестицій складає 1,5 роки.

Проведено аналіз заходів з охорони праці та безпеки виробництва.

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. 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).
3. 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).
4. 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).
5. 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).
6. Додаток 47: Теплові насоси в системах централізованого опалення та охолодження. URL: <https://heatpumpingtechnologies.org/publications/annex-47-heat-pumps-in-district-heating-and-cooling-systems/> (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-0,8УГ. 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
(обов'язковий)

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: Теплонасосна установка в тепловій схемі промислово-опалювальної котельні

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

Підрозділ ФБЦЕІ, кафедра ТЕ, група ТЕ-23мс
(кафедра, факультет, навчальна група)

Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі системою StrikePlagiarism 32,41 %

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

(підпис)

Остапенко О.П.
(прізвище, ініціали, посада)

Здобувач

(підпис)

Рожко М.Д.
(прізвище, ініціали)

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



"23" "____" 2025 р.

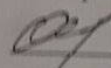
ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ
до бакалаврської кваліфікаційної роботи
ТЕПЛОНАСОСНА УСТАНОВКА В ТЕПЛОВІЙ СХЕМІ
ПРОМИСЛОВО-ОПАЛЮВАЛЬНОЇ КОТЕЛЬНОЇ

за спеціальністю

144 – теплоенергетика

08-15.БКР.011.00.00.000 ТЗ

Керівник бакалаврської
кваліфікаційної роботи

 к.т.н., доц. Остапенко О. П.

"25" березня 2025 р.

Розробив студент гр. ТЕ-23мс

 Рожко М. Д.

"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: відпуск теплоти на опалення $Q_{оп}=2$ МВт; відпуск теплоти на ГВП $Q_{гвп}=1$ МВт; температура прямої мережної води на виході із котельні $t_{мв}^I=115$ °С; температура зворотної мережної води $t_{мв}^{II}=70$ °С, паливо – природний газ; теплота згорання палива 34 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	Застосування теплових насосів в промисловості	25.03.25...27.03.25	
2	Варіативний аналіз та економічне обґрунтування технічних рішень	28.03.25...05.04.25	
3	Результати обчислень теплової схеми котельні з парокомпресійним ТН	06.04.25...18.04.25	
4	Аналіз енергетичної ефективності теплової схеми котельні з ТН	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 .

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.

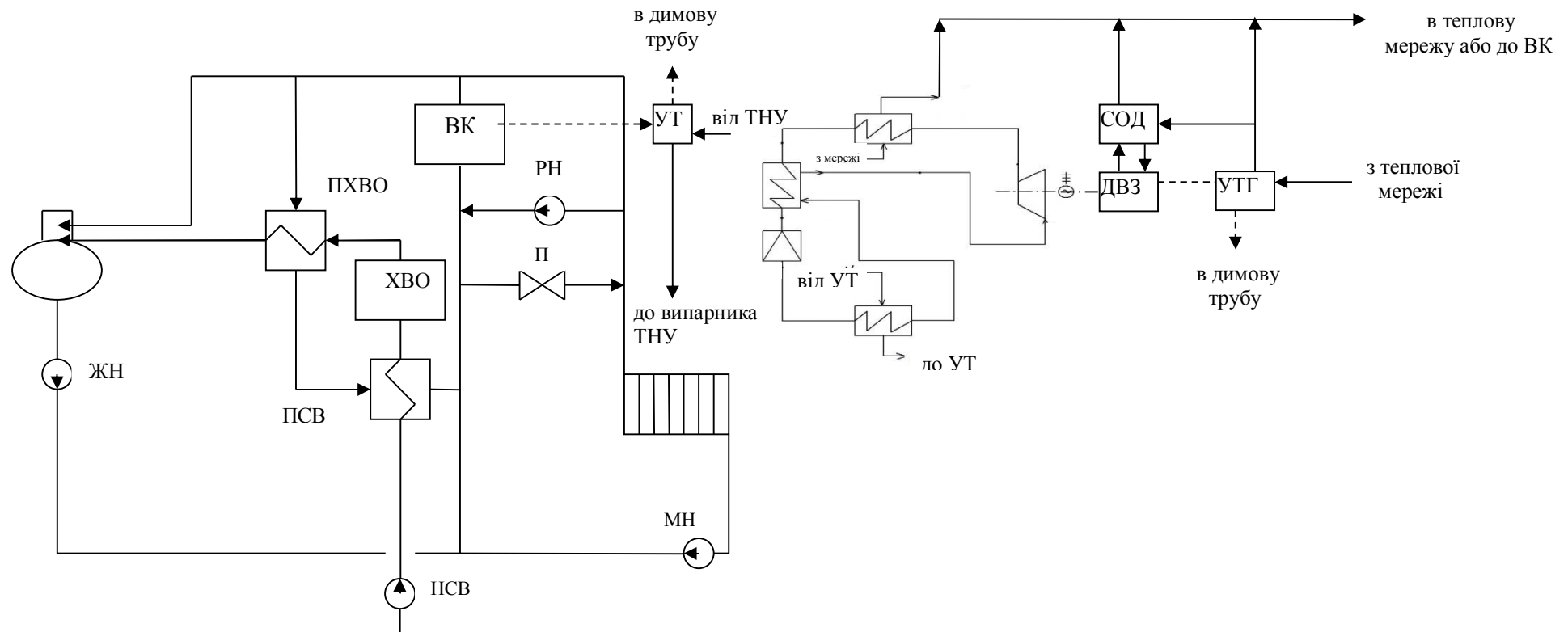


Рисунок В.1 – Теплова схема водогрійної котельні з ТНУ та ДВЗ

ЖН – живильний насос; МН – мережний насос; ПСВ – підігрівник сирової води; ПХВО – підігрівник хімоочищеної 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 утилізації теплоти низькотемпературного теплоносія, для подальшого використання цієї теплоти у випарнику ТНУ.

Технічні вимоги.

Теплова потужність $Q = 0,35$ (МВт).

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).

Середній температурний напір протитоку

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_6 - \Delta t_m}{\ln \frac{\Delta t_6}{\Delta t_m}}, \quad (B.1)$$

де $\Delta t_6, \Delta t_m$ – відповідно більша і менша різниця температур.

Зобразимо протитечійну схему руху теплоносіїв на рис. В.2.

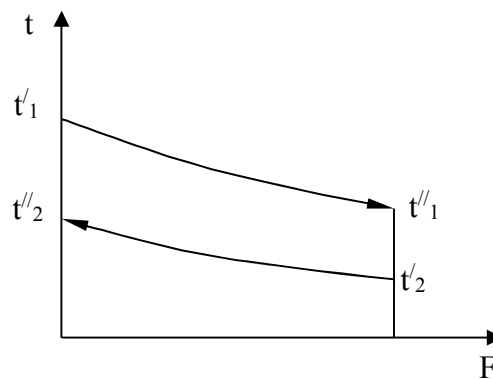


Рисунок В.2 – Протитечійна схема руху теплоносіїв.

Більша і менша різниці температур:

$$\Delta t_{\delta} = t_1'' - t_2'; \quad (\text{B.2})$$

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

$$\Delta t_{\text{м}} = t_1' - t_2''; \quad (\text{B.3})$$

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

Отже середній температурний напір протитоку

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

Площа поверхні теплообміну апарата

$$F_a = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{\text{cp}}}, \quad (\text{B.4})$$

$$F_a = \frac{350 \cdot 10^3}{1435,3 \cdot 5,94} = 41,05 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Висновок: за даними параметрами обираємо теплообмінник THERMAKS PTA(GX)-26, потужністю 350 кВт.

Площа однієї пластини 1,67 м². Тоді кількість пластин

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

де f – площа однієї пластини.

$$n = (41,05 + 2 \cdot 1,67) / 1,67 = 24,58.$$

Приймаємо $n=25$ (шт).

Товщина пластини $\delta=0,3$ мм.

Площа теплообмінника

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

$$F_a = 25 \cdot 1,67 = 41,75 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Маса теплообмінного апарату $M=1120$ (кг), діаметр штуцерів $D=100$ (мм).

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	Од. вимір ю- ванн- я	Кіль- кість	Маса один- иці, кг	Маса, кг
1	2	3	4	5	6
Потреба в основних матеріалах					
1	Теплобмінник пластинчастий THERMAKS РТА(GX)-26 , F= 41,05 м ²	шт	1	1120	1120
2	Насос циркуляційний GHE 75/80	шт	1	70	70
3	Насос циркуляційний GHE 55/80	шт	1	62	62
4	Трубопроводи зі сталевих труб □ 108 □□4 ДСТУ 10704-91	м	5,085	10,2	51,86
5	Трубопроводи зі сталевих труб □ 89 □□3,5 ДСТУ 10704-91	м	11,545	7,3	84,27
6	Трубопроводи зі сталевих труб □ 57 □□3 ДСТУ 10704-91	м	34,065	4	136,3
7	Засувка чавунна Ду 100 ГОСТ 9544	шт	8	38	304
8	Засувка чавунна Ду 80 ГОСТ 9544	шт	4	28	112
9	Засувка чавунна Ду 50 ГОСТ 9544	шт	3	18	54
10	Фільтр грубої очистки Ду 100	шт	1	25	25
11	Фільтр грубої очистки Ду80	шт	1	23	23
12	Клапан зворотній сталевий Ду100	шт	1	51	51
13	Клапан зворотній сталевий Ду80	шт	1	36	36
Потреба у допоміжних матеріалах					
Для монтажу теплообмінника					
1	Асбестовий картон загального призначення [КАОН - 1], товщина 2мм	т	1	0,0018	1,8

Продовження таблиці В.1

1	2	3	4	5	6
2	Електроди, діаметр 4 мм, марка Э42	т	1	0,0126	12,6
3	Олифа натуральна	кг	1	0,012	12
4	Болти з гайками і шайбами, діаметр 16 мм	т	1	0,0063	6,3
5	Болти з гайками і шайбами, діаметр 20 - 22 мм	т	1	0,024	24
6	Вода	м ³	1	3,94	3940
7	Прядиво лляне	т	1	0,00008	0,008
8	Пароніт	т	1	0,0008	0,8
9	Сурик свинцевий	т	1	0,00016	0,16
Для монтажу насоса GHE 75/80					
1	Електроди, діаметр 4 мм, марка Э42	т	1	0,00039	0,39
2	Прокладка гумова	кг	1	0,07	0,07
3	Анкерні деталі з прямих чи гнутих круглих стержнів	т	1	0,0022	2,2
4	Болти з гайками і шайбами, діаметр 16 мм	т	1	0,00127	1,27
5	Фланці плоскі приварні із сталі ВСт3сп2, діаметром 100 мм ДСТУ 12820-80	шт	2	3,96	7,92
Для монтажу насоса GHE 55/80					
1	Електроди, діаметр 4 мм, марка Э42	т	1	0,00039	0,39
2	Прокладка гумова	кг	1	0,07	0,07
3	Анкерні деталі з прямих чи гнутих круглих стержнів	т	1	0,0022	2,2
4	Болти з гайками і шайбами, діаметр 16 мм	т	1	0,00127	1,27
5	Фланці плоскі приварні із сталі ВСт3сп2, діаметром 80 мм ДСТУ 12820-80	шт	2	3,19	6,38
Для монтажу засувки Ду 100					
1	Електроди, діаметр 4 мм, марка Э42	т	0,08	0,054	4,32
2	Болти з гайками і шайбами, діаметр 16 мм	т	0,08	0,207	16,56
3	Пароніт	т	0,08	0,016	1,28

Продовження таблиці В.1

1	2	3	4	5	6
4	Фланці сталеві ДСТУ 12820-80	шт	16	3,96	63,36
Для монтажу засувки Ду 80					
1	Електроди, діаметр 4 мм, марка Э42	т	0,04	0,054	2,16
2	Болти з гайками і шайбами, діаметр 16 мм	т	0,04	0,207	8,28
3	Пароніт	т	0,04	0,016	0,64
4	Фланці сталеві ДСТУ 12820-80	шт	8	3,19	25,52
Для монтажу засувки Ду 50					
1	Електроди, діаметр 4 мм, марка Э42	т	0,03	0,037	1,11
2	Болти з гайками і шайбами, діаметр 16 мм	т	0,03	0,11	3,3
3	Пароніт	т	0,03	0,01	0,3
4	Фланці сталеві ДСТУ 12820-80	шт	6	2,06	12,36
Для монтажу зворотніх клапанів Ду 100					
1	Електроди, діаметр 4 мм, марка Э42	т	0,01	0,054	0,54
2	Болти з гайками і шайбами, діаметр 16 мм	т	0,01	0,207	2,07
3	Пароніт	т	0,01	0,016	1,6
4	Фланці сталеві ДСТУ 12820-80	шт	2	3,96	7,92
Для монтажу зворотніх клапанів Ду 80					
1	Електроди, діаметр 4 мм, марка Э42	т	0,01	0,054	0,54
2	Болти з гайками і шайбами, діаметр 16мм	т	0,01	0,207	2,07
3	Пароніт	т	0,01	0,016	1,6
4	Фланці сталеві ДСТУ 12820-80	шт	2	3,19	6,38
Монтаж фільтрів грубої очистки Ду 100					
1	Електроди, діаметр 5 мм, марка Э42 А	т	1	0,00028	0,28
Монтаж фільтрів грубої очистки Ду 80					
1	Електроди, діаметр 5 мм, марка Э42 А	т	1	0,00019	0,19
Для монтажу трубопроводу Ду 100					

Продовження таблиці В.1

1	2	3	4	5	6
1	Електроди, діаметр 4 мм, марка Э55	т	0,05186	0,005	0,259
2	Круги армовані абразивні зачисні, діаметр180х6	шт	0,020	0,45	*
3	Пароніт	т	0,05186	0,003	1,55
Для монтажу трубопроводу Ду 80					
1	Електроди, діаметр 4 мм, марка Э55	т	0,08427	0,005	0,42
2	Круги армовані абразивні зачисні, діаметр180х6	шт	0,053	0,45	*
3	Пароніт	т	0,08427	0,003	0,25
Для монтажу трубопроводу Ду 50					
1	Електроди, діаметр 4 мм, марка Э55	т	0,1287	0,006	0,772
2	Круги армовані абразивні зачисні, діаметр180х6	шт	0,104	0,45	0,45
3	Пароніт	т	0,1287	0,007	0,9

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

$$\Sigma_{\text{заг.}} = \Sigma_{\text{осн.обл}} + \Sigma_{\text{доп.обл}} = 2376,3 \text{ (кг)}. \quad (\text{В.7})$$

Додаток Г
(обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

08-15 БКР.011.01.00.000.ТЗ

Подаючий теплоносій
Зворотній теплоносій
Гаряча вода
Холодна вода

Швидкісний водопідігрівач

Бак

Регулятор
температури

ДСА

Бак

ПХВО

ХВО

ХВО

ХВО

Солерозчинник

ПХВ

Котел
паровий №1

Котел
водогрійний №2

Котел
водогрійний №3

Котел
водогрійний №4

в димову трубу
від ТНУ
до ТНУ

Система
охолодження
двигуна

Утилізатор
відхідних газів
в димову трубу

до КУ від КУ

ХВ1

Т1

08-15 БКР.011.01.00.000.ТЗ

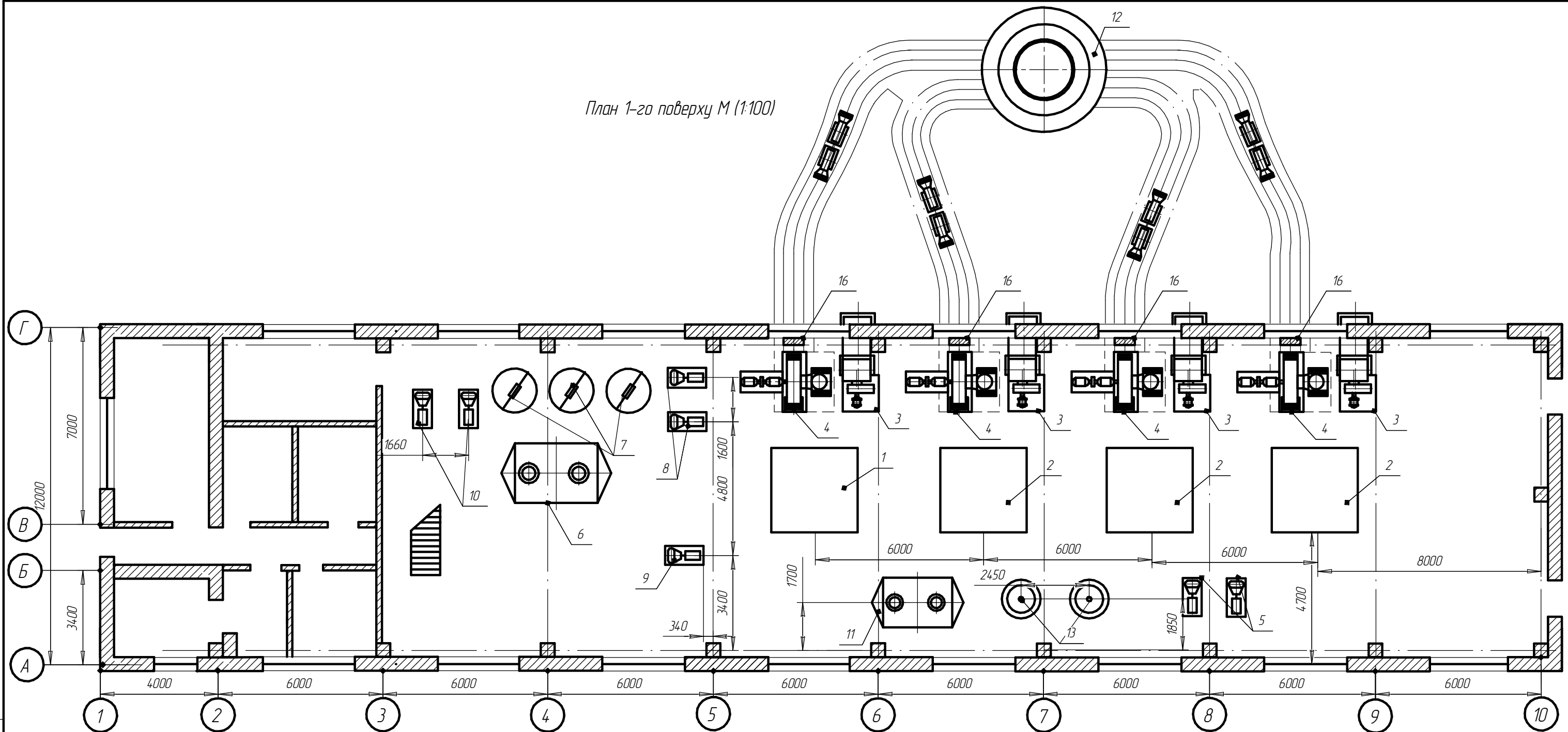
Теплонасосна установка
в тепловій схемі
промислово-опалювальної котельні

Модернізована теплова схема

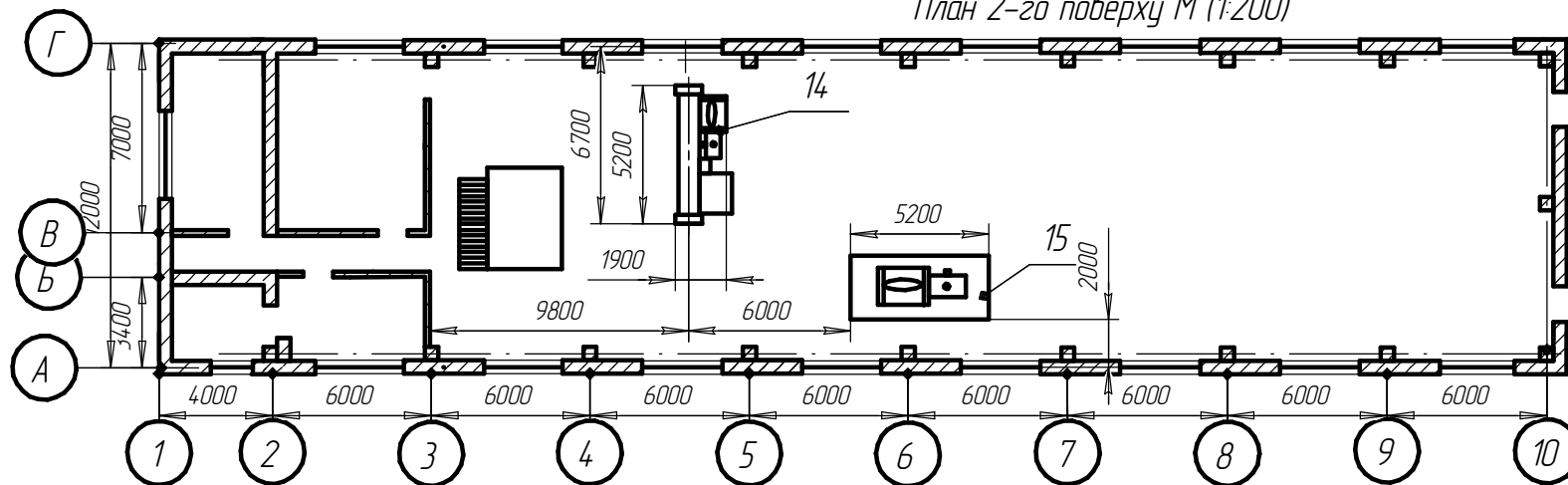
Лист.	Маса	Масштаб
Лист	Листів	1
ВНТУ, зр. ТЕ-23мс		

Формат А3

План 1-го поверху М (1:100)



План 2-го поверху М (1:200,



<i>N</i>	<i>Назва</i>	<i>Кількість</i>	<i>Примітка</i>
1	Котел паровий	1	існуючий
2	Котел водогрійний	3	існуючий
3	Насоси мережні	2	існуючий
4	Вентилятор	4	існуючий
5	Димосос	4	існуючий
6	Бак	1	існуючий
7	Фільтри хво	3	існуючий
8	Насоси підживлювальні	2	існуючий
9	Насос сирої води	1	існуючий

10	Насоси рециркуляційні	2	існуючий
11	Деаератор	1	існуючий
12	Димова труба	1	існуючий
13	Підігрівники	2	існуючий
14	Тепловий насос	1	проект
15	Двигун внутрішнього згорання	1	проект
16	Утилізатор	1	проект

						08-15 БКР.011.02.00.000 АР			
						м. Вінниця			
ЗМ	Місія	Лист	Відп.	Підп.	Дата				
Розроб.	Рожко М. Д.					Теплонасосна установка в тепловій схемі		Стандія	Лист
Перев.	Остапенко ОЛ					промислово-опалювальної котельні			Листів
Т.контр.									1
Рецензент	Андрухов В. М					План модернізованої котельні		ВНТУ, гр. ТЕ-23мс	
Н.контр.	Боднар Л. А.								
Затверд.	Степанов Д. В								

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ

