

Вінницький національний технічний університет
Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії
Кафедра теплоенергетики

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

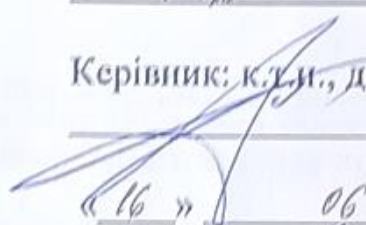
на тему:

«Модернізація водогрійної котельні в місті Могилів-Подільський»

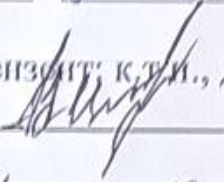
Виконав: студент 2 курсу групи ТЕ-23мс
спеціальності 144 - теплоенергетика

 Малай Д.О.

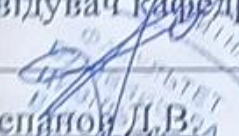
Керівник: к.т.н., доц., завідувач каф. ТЕ
Степанов Д.В.


« 16 » 06 2025 р.

Рецензент: к.т.н., доц., доцент каф. БМГА
Андрухов В.М.

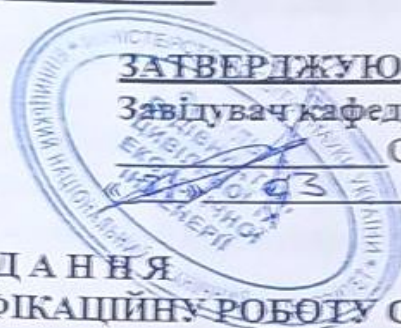

« 14 » 06 2025 р.

Допущено до захисту
Завідувач кафедри ТЕ


Степанов Д.В.

« 16 » 06 2025 р.

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

Степанов Д.В.

2025 року

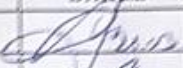
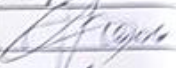
З А В Д А Н Н Я **НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Малаю Дмитру Олеговичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Модернізація водогрійної котельні в місті Могилів-Подільський.
керівник роботи Степанов Дмитро Вікторович, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом вищого навчального закладу від 20.03.2025 р. № 97
2. Термін подання студентом роботи 08.06.2025 р.
3. Вихідні дані до роботи: потужність системи опалення в максимальному режимі 12,8 МВт, максимальна потужність системи гарячого водопостачання 200 кВт, температурний графік води в системі опалення 95/70°C; в котельні встановлені п'ять котлів КВВ-3,15Гм.
4. Зміст текстової частини Аналіз та розрахунок теплової схеми водогрійної котельні. Багатоваріантний аналіз та техніко-економічне обґрунтування шляхів модернізації котельні. Розробка пластинчастого теплообмінника потужністю 200 кВт. Розробка технології монтажу теплообмінника потужністю 200 кВт. Охорона праці.
5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Схема котельні теплова принципова. План та розріз котельні. Теплообмінник пластинчастий. Схема монтажна аксонометрична.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1 - 4	Степанов Д.В., зав.каф. ТЕ		
5	Кобилянська І.М., доцент кафедри БЖДПБ		
Нормоконтроль	Боднар Л.А., доцент кафедри ТЕ		

7. Дата видачі завдання 21.03.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва та зміст етапу	Термін виконання		Примітка
		початок	закінчення	
1	Аналіз та розрахунок теплової схеми водогрійної котельні	21.03.2025	10.04.2025	всх
2	Багатоваріантний аналіз та техніко-економічне обґрунтування шляхів модернізації котельні	11.04.2025	15.04.2025	всх
3	Розробка пластинчастого теплообмінника потужністю 200 кВт	16.04.2025	28.04.2025	всх
4	Розробка технології монтажу теплообмінника потужністю 200 кВт	29.04.2025	22.05.2025	всх
5	Охорона праці	23.05.2025	30.05.2025	всх
6	Оформлення БКР	31.05.2025	08.06.2025	всх
7	Захист БКР	09.06.2025	19.06.2025	всх

Студент


(підпис)

Малай Д.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Степанов Д.В.

(прізвище та ініціали)

Анотація

УДК 621.1

Малай Д.О. Модернізація водогрійної котельні в місті Могилів-Подільський. Бакалаврська кваліфікаційна робота зі спеціальності 144 – теплоенергетика, освітня програма – теплоенергетика. Вінниця: ВНТУ, 2025. 69 с.

Бібліогр.: 52 назв; рис.: 1; табл. 6.

В даній бакалаврській кваліфікаційній роботі розглядаються питання підвищення надійності та енергоефективності водогрійної котельні для централізованого теплопостачання м. Могилів-Подільський шляхом встановлення когенераційної установки на базі газопоршневого двигуна.

В роботі проведено аналіз і розрахунків теплової схеми водогрійної котельні, визначені витрати палива в максимальному та середньому за опалювальний період режимах, а також розраховано електричні власні потреби котельні. Виконано багатоваріантний аналіз та техніко-економічне обґрунтування вибору шляху модернізації водогрійної котельні. Виконано розробку пластинчастого теплообмінника потужністю 200 кВт. Розроблено технологію монтажу пластинчастого теплообмінника потужністю 200 кВт. У розділі з охорони праці визначені умови праці в котельні та заходи з пожежної безпеки.

Графічна частина складається з 4 аркушів.

Ключові слова: водогрійна котельня, когенераційна установка, пластинчастий теплообмінник, газопоршневий двигун

Annotation

Malay D.O. Modernization of a hot water boiler house in the city of Mogilev-Podilskyi. Bachelor's qualification work in the specialty 144 - heat and power engineering, educational program - heat and power engineering. Vinnytsia: VNTU, 2025. 69 p.

Bibliography: 52 titles; fig.: 1; tab. 6.

This bachelor's qualification work considers the issues of increasing the reliability and energy efficiency of a hot water boiler house for centralized heating supply in the city of Mogilev-Podilskyi by installing a cogeneration plant based on a gas piston engine.

The work analyzes and calculates the thermal scheme of the hot water boiler room, determines fuel consumption in the maximum and average modes for the heating period, and also calculates the electric needs of the boiler room. A multivariate analysis and feasibility study of the choice of the modernization path of the hot water boiler room are performed. A plate heat exchanger with a capacity of 200 kWt has been developed. A technology for installing a plate heat exchanger with a capacity of 200 kW has been developed. The section on labor protection defines working conditions in the boiler room and fire safety measures.

The graphic part consists of 4 sheets.

Keywords: hot water boiler room, cogeneration plant, plate heat exchanger, gas piston engine

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 АНАЛІЗ ТА РОЗРАХУНОК ТЕПЛОВОЇ СХЕМИ ВОДОГРІЙНОЇ КОТЕЛЬНОЇ	8
1.1 Аналіз теплової схеми котельні	8
1.2 Розрахунок теплової схеми для максимального опалювального режиму	9
2 БАГАТОВАРІАНТНИЙ АНАЛІЗ ТА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ШЛЯХІВ МОДЕРНІЗАЦІЇ КОТЕЛЬНОЇ	19
2.1 Багатоваріантний аналіз шляхів модернізації котельні.....	19
2.2 Техніко-економічне обґрунтування вибору варіанта модернізації котельні	21
3 РОЗРОБКА ПЛАСТИНЧАСТОГО ТЕПЛООБМІННИКА ПОТУЖНІСТЮ 200 КВТ	32
3.1 Розробка математичної моделі пластинчастого теплообмінника	32
4 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ МОНТАЖУ ТЕПЛООБМІННИКА ПОТУЖНІСТЮ 200 КВТ	39
4.1 Розрахунок та комплектування основних та допоміжних матеріалів та виробів, складання відомостей.....	40
4.2 Визначення складу і об'ємів робіт	44
4.3 Підбір машин, механізмів, пристосувань	46
5 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	49
5.1 Технічні рішення щодо безпечної експлуатації об'єкта	49
5.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії.....	55
5.3 Технічні рішення з пожежної безпеки.....	58
ВИСНОВКИ	62
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	64
ДОДАТОК А (обов'язковий) Протокол перевірки кваліфікаційної роботи на наявність текстових запозичень	70
ДОДАТОК Б (обов'язковий) Технічне завдання.....	71
ДОДАТОК В (обов'язковий) ГРАФІЧНА ЧАСТИНА.....	76

ВСТУП

Актуальність теми.

До цього часу енергетичний комплекс України був зорієнтований на споживання первинних енергоресурсів (природного газу, нафти, вугілля), поклада яких обмежені і тарифи на які швидко ростуть. В цих умовах особливої актуальності набула проблема пошуку шляхів підвищення енергоефективності генерації енергії.

Спалювання природного газу в комунальних котельнях спричиняє великі шкідливі викиди в атмосферу в районах щільної міської забудови. ККД газових котлів старих котелень недостатньо високий, втрати електроенергії на власні потреби та втрати в теплових мережах значні. Таким чином, виробництво теплоти в умовах децентралізації з високою енергетичною, економічною та екологічною ефективністю стає першочерговою проблемою муніципальної енергетики.

Дефіцит електроенергії в Україні в опалювальний період вимагає пошуку ефективних шляхів вироблення електроенергії з максимальної енергетичною, економічною та екологічною ефективністю.

Використання когенераційної техніки на базі водогрійних котелень дозволяє не тільки покривати власні потреби котельні в електроенергії, але й дає можливість відпускати товарну електроенергію в мережу.

Наявність кваліфікованого персоналу котельні дозволить забезпечити якісну експлуатацію когенераційної обладнання.

Теплота, вироблена в когенераційній установці може бути використана в тепловій схемі опалювальної котельні, що дозволить зменшити собівартість вироблення електроенергії, а якщо виробляти електроенергію тільки для покриття власних потреб котельні, є можливість зменшити експлуатаційні витрати котельні та зменшити собівартість вироблення теплоти.

Метою роботи є підвищення надійності та енергоефективності роботи водогрійної котельні у м. Могилів-Подільський шляхом встановлення коге-

нераційної установки на базі газопоршневого двигуна.

Для досягнення даної мети були розв'язані такі **завдання**:

- аналіз та розрахунок теплової схеми водогрійної котельні;
- багатоваріантний аналіз та техніко-економічне обґрунтування шляхів модернізації котельні;
- розробка пластинчастого теплообмінника потужністю 200 кВт;
- розробка технології монтажу теплообмінника потужністю 200 кВт;
- розробка заходів з охорони праці.

Матеріали бакалаврської кваліфікаційної роботи прийшли апробацію на Всеукраїнській науково-технічній конференції ФБЦЕІ ВНТУ у 2025 році і опубліковані в тезах доповіді [1].

1 АНАЛІЗ ТА РОЗРАХУНОК ТЕПЛОВОЇ СХЕМИ ВОДОГРІЙНОЇ КОТЕЛЬНІ

1.1 Аналіз теплової схеми котельні

В даній бакалаврській кваліфікаційній роботі розглядається варіант водогрійної газової опалювальної котельні, що працює на закриту систему тепlopостачання. Котельня призначена для підготовки теплоносія для систем опалення та для вироблення теплоти на власні потреби гарячого водопостачання. В котельні встановлені п'ять сталевих водогрійних котлів потужністю по 3150 кВт, які працюють на спалювання природного газу.

Котельня забезпечує відпуск теплоносія з температурою 95°C для потреб системи опалення приміщень та з температурою 60°C для забезпечення гарячого водопостачання. Мережний насос перекачує зворотну мережну воду з тепломережі і спрямовує на нагрів в котли. Нагріта вода з котлів по подавальним трубопроводам подається споживачу.

Котельня обладнана лінією рециркуляції для зменшення низькотемпературної корозії або її уникнення. Температуру теплоносія на вході в котел необхідно подавати вище температури точки роси димових газів присаплюванні газу. Теплова схема передбачає регулювання визначеної тепловим режимом температури теплоносія в подавальній лінії і підтримання температури в зворотній лінії перед котлом не менше заданої (50°C). Така температура підтримується перепуском котлової води із подавального в зворотній трубопровід [2].

Для видалення повітря із водяного об'єму системи на трубопроводі встановлюються повітровипускні вентиля.

Водопостачання котельні здійснюється з центрального водопроводу. Гаряче водопостачання здійснюється за закритою системою постачання гарячої води. Вода на гаряче водопостачання береться безпосередньо із водо-

гону і нагрівається від котлової води в рекуперативному кожухотрубному теплообміннику застарілої конструкції [3].

1.2 Розрахунок теплової схеми для максимального опалювального режиму

Система опалення підключена від водогрійної котельні. Згідно завдання розрахункова теплова потужність системи опалення приміщень складає $Q_{оп} = 12\,800$ кВт, розрахункова потужність системи гарячого водопостачання складає $Q_{гвп} = 200$ кВт, система теплопостачання замкнута, графік мережної води з котельні $95/70^{\circ}\text{C}$, температура сирої води в котельні 5°C , температура води на гаряче водопостачання споживачів 60°C . Температура навколишнього середовища розрахункова -21°C . Охолодження води в мережних трубопроводах прийнято по 1°C .

Витрата мережної води на систему опалення [2]

$$G_{\text{тм}}^{\text{оп}} = \frac{Q_{\text{оп}}}{C_p(t_{\text{тм1}} - t_{\text{тм2}})}, \quad (1.1)$$

$$G_{\text{тм}}^{\text{оп}} = \frac{12800}{4,2(94 - 71)} = 132,5 \text{ (кг/с)}.$$

Витрата мережної води на теплообмінник системи підготовки гарячого водопостачання

$$G_{\text{тм}}^{\text{гвп}} = \frac{Q_{\text{гвп}}}{C_p(t_{\text{тм1}} - t_{\text{тм2}})}, \quad (1.2)$$

$$G_{\text{тм}}^{\text{гвп}} = \frac{200}{4,2 \cdot (95 - 70)} = 1,90 \text{ (кг/с)}.$$

Витрата мережної води на підігрівник сирої води потужністю 50 кВт

$$G_{\text{TM}}^{\text{ПСВ}} = \frac{Q_{\text{ПСВ}}}{C_p(t_{\text{TM1}} - t_{\text{TM2}})}, \quad (1.3)$$

$$G_{\text{TM}}^{\text{ПСВ}} = \frac{50}{4,2(95 - 70)} = 0,476 \text{ (кг/с)}.$$

Загальна витрата мережної води в котельні

$$G_{\text{TM}} = G_{\text{TM}}^{\text{ОП}} + G_{\text{TM}}^{\text{ГВП}} + G_{\text{TM}}^{\text{ПСВ}}, \quad (1.4)$$

$$G_{\text{TM}} = 132,5 + 1,90 + 0,476 = 134 \text{ (кг/с)}.$$

Витрата води, необхідна для підживлення теплової мережі

$$G_{\text{TM}}^{\text{ПЖ}} = G_{\text{TM}} \cdot \alpha_{\text{ВТР}}, \quad (1.5)$$

$$G_{\text{TM}}^{\text{ПЖ}} = 134 \cdot 0,005 = 0,67 \text{ (кг/с)}.$$

Температура теплоносія перед лінією рециркуляції котлів

$$t_{\text{МН}} = \frac{G_{\text{TM}}^{\text{ОП}} \cdot t_{\text{ЗВ}} + G_{\text{TM}}^{\text{ГВП}} \cdot t_{\text{ЗВ}} + G_{\text{TM}}^{\text{ПСВ}} \cdot t_{\text{ЗВ}} + G_{\text{TM}}^{\text{ПЖ}} \cdot t_{\text{ХВО}}}{G_{\text{TM}}}, \quad (1.6)$$

$$t_{\text{МН}} = \frac{132,5 \cdot 70 + 0,952 \cdot 70 + 0,476 \cdot 70 + 0,67 \cdot 20}{134} = 69,9 \text{ (°C)}.$$

Витрата теплоносія в лінії рециркуляції

$$G_{\text{рец}} = G_{\text{TM}} \frac{t'_{\text{КОТ}} - t_{\text{МН}}}{t''_{\text{КОТ}} - t'_{\text{КОТ}}}, \quad (1.7)$$

$$G_{\text{рец}} = 134 \frac{69,9 - 69,9}{95 - 69,9} = 0 \text{ (кг/с)}.$$

Витрата котлової води

$$G_k = G_{MH}, \quad (1.8)$$

$$G_k = 134 \text{ (кг/с)}.$$

Теплова потужність котельні

$$Q_{кот} = G_k \cdot C_p \cdot (t_{пр} - t_{зв}), \quad (1.9)$$

$$Q_{кот} = 134 \cdot 4,2 \cdot (95 - 69,9) = 14126 \text{ (кВт)}.$$

Розрахункова витрата газового палива

$$B_p = \frac{Q_{кот}}{Q_n^p \cdot \eta_{кот}}, \quad (1.10)$$

де Q_n^p – нижча робча теплота палива, яка для природного газу складає 34,2 МДж/м³;

$\eta_{кот}$ – ККД котла, який дорівнює 91%.

$$B_p = \frac{14126}{34200 \cdot 0,91} = 0,454 \text{ (м}^3\text{/с)}.$$

Витрата умовного палива [4]

$$B_y = \frac{Q_{кот}}{Q_{ny}^p \cdot \eta_{кот}}, \quad (1.11)$$

$$B_y = \frac{14126}{29,3 \cdot 0,91} = 0,530 \text{ (кг/с)}.$$

ККД котельні

$$\eta_{\text{кот}} = \frac{\Sigma Q_{\text{сп}}}{B_y \cdot Q_{\text{Hy}}^p}, \quad (1.12)$$

$$\eta = \frac{12800 + 200}{0,530 \cdot 29300} = 0,83.$$

Питома витрата умовного палива на виробництво теплоти

$$b_y = \frac{B_y}{Q_{\text{кот}}}, \quad (1.13)$$

$$b_y = \frac{0,530}{14126} = 37,5 \text{ (кг/ГДж)}..$$

1.3 Розрахунок теплової схеми для середньо-опалювального режиму

Розрахуємо температуру в подавальному і зворотному трубопроводі теплової мережі для центрального якісного регулювання [2] при середній розрахунковій температурі зовнішнього повітря за опалювальний період $t_3 = -0,9^\circ\text{C}$. Розрахункова температура навколишнього повітря для опалення $t_{3,0} = -21^\circ\text{C}$. Температурний графік мережної води $95/70^\circ\text{C}$. Розрахункова внутрішня температура повітря в опалювальних приміщеннях $t_{в,р} = 20^\circ\text{C}$.

Відносне теплове навантаження для опалення при t_3

$$\frac{Q'_o}{Q_o} = \frac{t_{в,р} - t_3}{t_{в,р} - t_{3,0}}, \quad (1.14)$$

$$\left(\frac{Q'_o}{Q_o} \right)_{\text{оп}} = \frac{20 + 0,9}{20 - (-21)} = 0,5.$$

Температурний напір опалювального приладу в розрахунковому режимі

$$\Delta t_o = \frac{t'' + t'}{2} - t_{\text{в.п}}, \quad (1.15)$$

$$\Delta t_0 = \frac{95 + 70}{2} - 20 = 62,5 \text{ (}^\circ\text{C)}.$$

Перепад температур мережної води для розрахункового режиму

$$\Delta \tau_o = t'' - t', \quad (1.16)$$

$$\Delta \tau_0 = 95 - 70 = 25 \text{ (}^\circ\text{C)}.$$

Перепад температур води в опалювальній системі для розрахункового режиму

$$\Theta_o = \Delta \tau_o = 20 \text{ (}^\circ\text{C)}.$$

Температура в подавальному трубопроводі при t_3

$$\tau_1 = t_{\text{в.п}} + \Delta t_o \cdot \left(\frac{Q'_o}{Q_o} \right)_{\text{оп}}^{0,8} + (\Delta \tau_o - 0,5 \cdot \Theta_o) \cdot \left(\frac{Q'_o}{Q_o} \right), \quad (1.17)$$

$$\tau_1 = 20 + 62,5 \cdot 0,5^{0,8} + (25 - 0,5 \cdot 20) \cdot 0,5 = 63 \text{ (}^\circ\text{C)}.$$

Температура в зворотному трубопроводі при t_3

$$\tau_2 = t_{\text{в.п}} + \Delta t_o \cdot \left(\frac{Q'_o}{Q_o} \right)_{\text{оп}}^{0,8} - 0,5 \cdot \Theta_o \cdot \left(\frac{Q'_o}{Q_o} \right), \quad (1.18)$$

$$\tau_2 = 20 + 62,5 \cdot 0,5^{0,8} - 0,5 \cdot 20 \cdot 0,5 = 50,9 \text{ (}^\circ\text{C)}.$$

Проведемо розрахунок теплової схеми при температурному графіку мережної води 65/50°C.

Витрата теплоносія в системі опалення

$$G^{\text{оп}} = \frac{Q_{\text{оп}} \cdot \left(\frac{Q'_0}{Q_0} \right)}{C_p (\tau_1 - \tau_2)}, \quad (1.19)$$

$$G_{\text{тм}}^{\text{оп}} = \frac{12800 \cdot 0,5}{4,2(64 - 51)} = 117,2 \text{ (кг/с)}.$$

Витрата мережної води спрямована на теплообмінник гарячого водопостачання за (1.2)

$$G_{\text{тм}}^{\text{гвп}} = \frac{200}{4,2 \cdot (65 - 50)} = 3,17 \text{ (кг/с)}.$$

Витрата мережної води, що подається на підігрівник сирої води за (1.3)

$$G_{\text{тм}}^{\text{псв}} = \frac{50}{4,2(65 - 50)} = 0,794 \text{ (кг/с)}.$$

Загальна витрата мережної води за (1.4)

$$G_{\text{тм}} = 117,2 + 3,17 + 0,794 = 119,6 \text{ (кг/с)}.$$

Витрата води для підживлення мережі за (1.5)

$$G_{\text{пж}} = 119,6 \cdot 0,005 = 0,598 \text{ (кг/с)}.$$

Температура води перед лініями рециркуляції за (1.6)

$$t_{\text{мн}} = \frac{117,2 \cdot 50 + 1,59 \cdot 50 + 0,794 \cdot 50 + 0,598 \cdot 20}{134} = 49,8 \text{ (}^{\circ}\text{C)}.$$

Витрата води в лініях рециркуляції за (1.7)

$$G_{\text{рец}} = 119,6 \frac{50 - 49,8}{65 - 49,8} = 1,58 \text{ (кг/с)}.$$

Витрата води через котли за (1.8)

$$G_{\text{кот}} = 120,2 + 1,58 = 121,8 \text{ (кг/с)}.$$

Теплова потужність котельні за (1.9)

$$Q_{\text{кот}} = 121,8 \cdot 4,2 \cdot (65 - 50) = 7673 \text{ (кВт)}.$$

Розрахункова витрата газового палива за (1.10)

$$B_p = \frac{7673}{34200 \cdot 0,91} = 0,247 \text{ (м}^3\text{/с)}.$$

Витрата умовного палива за (1.11)

$$B_y = \frac{7673}{29,3 \cdot 0,91} = 0,288 \text{ (кг/с)}.$$

ККД котельні за (1.12)

$$\eta = \frac{12800 \cdot 0,5 + 200}{0,288 \cdot 29300} = 0,77.$$

Питома витрата умовного палива на виробництво теплоти за (1.13)

$$b_y = \frac{0,288}{7673} = 37,5 \text{ (кг/ГДж)}.$$

1.4 Перевірка основного та допоміжного обладнання

Перевірка обладнання проводиться за результатами розрахунку теплової схеми котельні.

Перевірка котлоагрегатів

Вибір водогрійних котлів проводимо по розрахунковій продуктивності котельні для максимального режиму $Q_{\text{кот}} = 14176 \text{ кВт}$ або $14,1 \text{ МВт}$.

На котельні встановлено п'ять сталевих водогрійних котлів потужністю по $3,15 \text{ МВт}$. Таким чином, встановленого обладнання достатньо.

Перевірка насосів

В тепловій схемі даної водогрійної газової котельні встановлені насоси мережної води (2 шт), насос подавання сирової води (1 шт.) та підживлювальні насоси (2 шт), рециркуляційні насоси (2 шт).

Подача мережних насосів визначається за максимальною витратою мережної води. Згідно з Правилами Держтехнагляду забезпечується резервування насосного обладнання. В схемі встановлено два мережні насоси.

Подача мережних насосів

$$V_{\text{мн}} = \frac{1,1 \cdot G_{\text{тм}} \cdot 3600}{\rho_{\text{тм}}}, \quad (1.20)$$

де $G_{\text{тм}}$ – масова витрата води в максимальному режимі при потужності 14176 кВт та температурному графіку $95/70^\circ\text{C}$, кг/с ;

$\rho_{\text{к}}$ – густина мережної води на вході в насоси, яка дорівнює 980 кг/м^3 при температурі 70°C .

$$V_{\text{мн}} = \frac{1,1 \cdot 134 \cdot 3600}{980} = 541,5 \text{ (м}^3\text{/год)}.$$

На котельні встановлено два насоси Д 500-38, характеристики якого: подача $V = 500 \text{ м}^3/\text{год}$, напір $H = 38 \text{ м}$, потужність електродвигуна $N_{\text{кн1}} = 75 \text{ кВт}$ [4]. Робочий + резервний. Отже встановленого обладнання достатньо.

Подача підживлювальних насосів

$$V_{\text{пж}} = \frac{1,1 \cdot 2 \cdot 0,67 \cdot 3600}{990} = 5,32 \text{ (м}^3/\text{год)}.$$

На котельні встановлено два насоси марки К 45/55, характеристики якого: подача $V = 50 \text{ м}^3/\text{год}$, напір $H = 50 \text{ м}$, потужність електродвигуна $N_{\text{пж}} = 15 \text{ кВт}$ [4]. Один робочий, один резервний. Встановленого обладнання достатньо за умов аварійної ситуації.

Подача насоса сирої води

$$V_{\text{нсв}} = \frac{1,1 \cdot 0,67 \cdot 3600}{999,8} = 2,65 \text{ (м}^3/\text{год)}.$$

На котельні встановлено один насос сирої води К 20/30, характеристики якого: подача $V = 25 \text{ м}^3/\text{год}$, напір $H = 32 \text{ м}$, потужність електродвигуна $N_{\text{нсв}} = 2,2 \text{ кВт}$ [4]. Один робочий. Встановленого обладнання достатньо за умов аварійної ситуації.

Подача рециркуляційного насоса

$$V_{\text{рец}} = \frac{1,1 \cdot 1,58 \cdot 3600}{965} = 6,48 \text{ (м}^3/\text{год)}.$$

На котельні встановлено два рециркуляційних насоси К 45/30, характеристики якого: подача $V = 45 \text{ м}^3/\text{год}$, напір $H = 32 \text{ м}$, потужність електродвигуна $N_{\text{оп}} = 7,5 \text{ кВт}$ [4]. Один робочий, один резервний. Встановленого обладнання достатньо.

Розрахункова електрична потужність котельні

$$N_{\text{вп}} = N_{\text{мн}} \cdot n_{\text{мн}} + N_{\text{пж}} \cdot n_{\text{пж}} + N_{\text{нсв}} \cdot n_{\text{нсв}} + N_{\text{рец}} \cdot n_{\text{рец}} + \Sigma N_{\text{доп}}, \quad (1.21)$$

$$N_{\text{вп}}^{\text{макс}} = 75 \cdot 1 + 15 \cdot 1 + 2,2 \cdot 1 + 7,5 \cdot 1 + 5 = 104,7 \text{ (кВт)};$$

$$N_{\text{вп}}^{\text{сер}} = 75 \cdot 1 + 15 \cdot 1 + 2,2 \cdot 1 + 7,5 \cdot 1 + 3 = 102,7 \text{ (кВт)}.$$

Перевірка основних трубопроводів

Розрахунковий діаметр визначається для максимального режиму

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot G}{\pi \cdot w \cdot \rho}} \text{ (м)} \quad (1.22)$$

де G – витрата теплоносія, кг/с;

w – розрахункова швидкість теплоносія, м/с;

ρ – густина теплоносія при середній температурі, кг/м³.

Результати розрахунку діаметрів трубопроводів та співставлення з реальними діаметрами показано в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Розрахункові діаметри основних трубопроводів

№ п/п	Назва трубопроводу	Витрата, кг/с	Швидкість, м/с	Густина, кг/м ³	Розрахунковий діаметр, м	Існуючий діаметр
1	подавальний і зворотний мережні	132,5	1	975	0,416	2 лінії Ø273x5
2	підживлювальний	1,34	1	980	0,042	Ø89x3
4	подавальний та зворотний на теплообмінник ГВП	3,17	1	980	0,045	Ø57x3
5	подавальний та зворотний на теплообмінник сирої води	0,794	1	980	0,032	Ø89x3
6	сирої води	0,67	1	990	0,029	Ø57x3

Отже, як можна бачити з таблиці 1.1 основні трубопроводи, встановлені на котельні, відповідають витратам в розрахунковому режимі з запасом.

Дана котельня має значні витрати палива та електроенергії для теплопостачання споживачів. Постає проблема підвищення її енергоефективності та надійності роботи в сучасних умовах.

2 БАГАТОВАРІАНТНИЙ АНАЛІЗ ТА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ШЛЯХІВ МОДЕРНІЗАЦІЇ КОТЕЛЬНОЇ

2.1 Багатоваріантний аналіз шляхів модернізації котельні

На котельні в місті Могилів-Подільський встановлено п'ять водогрійних котлів потужністю по 3,15 МВт. В якості основного палива використовують природний газ.

Розрахункове навантаження на систему опалення приміщень складає 12 800 кВт, а на гаряче водопостачання споживачів 200 кВт.

Котельня працює тільки в опалювальний період. Власні потреби котельні в електричній енергії 104 кВт.

Виникла необхідність пошуку альтернативних варіантів модернізації котельні в зв'язку із високими експлуатаційними витратами.

З метою підвищення енергетичної, екологічної і економічної ефективності, а також надійності роботи котельні запропоновано такі варіанти модернізації [5-7].

1. Встановлення сонячних батарей для покриття власних потреб котельні в електричній енергії.
2. Заміна одного з водогрійних котлів на твердопаливний котел, що буде працювати на гранулах з біопалива.
3. Встановлення теплонасосної установки «повітря-вода».
4. Встановлення когенераційної установки для покриття власних потреб котельні в електроенергії.

Варіант встановлення сонячних батарей має такі плюси як:

- енергоефективність (споживання невичерпної енергії);
- екологічність (мінімізація шкідливих викидів).

Але недоліками такого технічного рішення є суттєва залежність від погодних умов, особливо в опалювальний період, а також високі капіталовкладення. Додатковим обмеженням використання сонячних панелей є необ-

хідність виділення значних просторів для встановлення панелей і з врахуванням низької ефективності в холодний період року площі даху котельні буде недостатньо.

Варіант заміни одного з газових котлів на твердопаливний котел на гранулах з бомаси є перспективним, оскільки має такі переваги як невисока вартість палива; доступність палива; екологічність через використання біомаси замість викопного палива; можливість підсилення місцевої індустрії виробництва палива з органічної сировини.

Водночас недоліками такого варіанту є необхідність впровадження високовартісних систем очищення викидів пилу та сажі, регулярного очищення поверхонь котла від відкладень; додаткові витрати електроенергії на подачу палива та видалення відходів; ускладнення із необхідністю надійного забезпечення постачання такого палива високої якості; необхідність постійного забезпечення мінімального запасу палива і, головне, сухого місця для його тимчасового зберігання [8].

Варіант заміни газового котла на твердопаливний котел, що працює на гранулах з біомаси, на нашу думку, має більш високі показники енергетичної та екологічної ефективності, ніж варіанти з котлами на деревинній трісці.

Такі котли мають кращу систему подавання палива, автоматизації роботи, більшу теплоту згорання палива і відповідно меншій обсяг сховища. При цьому забезпечується посилення місцевого агропромислового комплексу та виробників гранул.

Недоліками такого палива є стабільне зростання його ціни та більш високі первинні витрати на котельне устаткування.

Встановлення теплонасосної установки «повітря-вода» [9] дозволяє використовувати відновлюване джерело енергії, а саме теплоту атмосферного повітря, з високим коефіцієнтом перетворення. Крім того, для такого варіанта фактично відсутнє техногенне навантаження на наволишне середовище в місці його встановлення. Викиди звичайно присутні, але вони пов'язані із виробленням електроенергії, наприклад, на тепловій чи атомній електростанції.

Недоліком такого технічного рішення є високі інвестиції та пониження енергоефективності в холодний період року [10].

Варіант встановлення когенераційної установки на опалювальний котельні для забезпечення її потреб в електроенергії має ряд переваг, а саме підвищення надійності енергопостачання котельні, підвищення енергетичної та екологічної ефективності виробництва електроенергії, наявність досвідченого персоналу для обслуговування та ремонту, зменшення навантаження на енергосистему України в опалювальний період.

Недоліками цього варіанту є висока вартість обладнання, значний рівень шуму [11-13].

Для техніко-економічного обґрунтування шляхів підвищення енергоефективності котельні обрані варіанти заміни одного газового котла на твердопаливний водогрійний котел на гранулах з біомаси, теплонасосної установки «повітря-вода», когенераційної установки для покриття власних потреб котельні в електроенергії.

2.2 Техніко-економічне обґрунтування вибору варіанта модернізації котельні

Існуючий варіант котельні з газовими котлами

Витрати палива за опалювальний період

$$B_{p,моп} = B_p \cdot \tau_{моп}, \quad (2.1)$$

$$B_{p,моп} = (0,470 \cdot 30 + 0,251 \cdot 4338) \cdot 3600 = 3,976 \text{ (млн. м}^3\text{/рік)}.$$

Виробництво теплоти за міжопалювальний період [2]

$$Q_{моп} = Q_{кот,моп} \cdot \tau_{моп}, \quad (2.2)$$

$$Q_{річ} = (12\,800 \cdot 30 + 6400 \cdot 4338) \cdot 3600 = 101\,329 \text{ (ГДж/рік)}.$$

Розрахунок витрат на паливо

$$S_{\text{пал}} = V_{\text{моп}} \cdot \Pi_{\text{пал}}, \quad (2.3)$$

де $\Pi_{\text{пал}}$ - ціна за 1 м³ природного газу

$$S_{\text{пал}} = 3,976 \cdot 16 = 63,62 \text{ (млн.грн/рік)}.$$

Загальні витрати води на підживлення

$$G_{\text{в}} = \frac{G_{\text{пж}} \cdot 24 \cdot 3600 \cdot 365}{1000}, \quad (2.4)$$

$$G_{\text{в}} = \frac{(0,664 \cdot 30 + 0,587 \cdot 4338) \cdot 1,2 \cdot 3600}{1000} = 11095 \text{ (м}^3\text{/рік)}.$$

Розрахунок витрат на воду для підживлення для водогрійних котлів

$$S_{\text{в}} = G_{\text{в}} \cdot \Pi_{\text{в}}, \quad (2.5)$$

$$S_{\text{в}} = 11095 \cdot 21 = 0,233 \text{ (млн. грн/рік)}.$$

Розрахунок витрат на електроенергію

$$S_{\text{еє}} = (N_{\text{нас}}^{\text{міжопал}} \cdot \tau_{\text{міжопал}}) \cdot \Pi_{\text{еє}}, \quad (2.6)$$

де Π – тариф за електроенергію, дорівнює 8,0 грн/кВт·год

$$S_{\text{еє}} = (104 \cdot 30 + 102 \cdot 4338) \cdot 8,0 = 3,565 \text{ (млн.грн/рік)}.$$

Розрахунок оплати праці працівникам котельні

$$S_{\text{зп}} = n \cdot 3\Pi \cdot k, \quad (2.7)$$

де ЗП – середня заробітна плата працівника 12000 грн/місяць

$$S_{\text{зп}} = 2,5 \cdot 14 \cdot 12000 \cdot 1,41 = 7,106 \text{ (млн.грн/рік)}.$$

Амортизаційні відрахування для обладнання

$$S_A = 6 - 8\% \cdot B_{\text{оф}} , \quad (2.8)$$

де $B_{\text{оф}}$ – вартість основних виробничих фондів на даному підприємстві, приймаємо 50 млн грн.

$$S_A = 0,075 \cdot 50 = 3,75 \text{ (млн.грн/рік)}.$$

Витрати на ремонт

$$S_p = 0,2 \cdot S_A , \quad (2.9)$$

$$S_p = 0,2 \cdot 3,75 = 0,75 \text{ (млн.грн/рік)}.$$

Інші витрати

$$S_I = 0,01 \cdot (S_{\text{пал}} + S_{\text{еє}} + S_B + S_A + S_p + S_{\text{зп}}) , \quad (2.10)$$

$$S_I = 0,01 \cdot (63,62 + 3,565 + 0,233 + 3,75 + 0,75 + 7,106) = 0,79 \text{ (млн.грн/рік)}.$$

Загальні експлуатаційні витрати

$$S = S_{\text{пал}} + S_B + S_{\text{еє}} + S_{\text{зп}} + S_A + S_p + S_I , \quad (2.11)$$

$$S = 63,62 + 3,565 + 0,233 + 3,75 + 0,75 + 7,106 + 0,79 = 79,81 \text{ (млн.грн/рік)}.$$

Собівартість виробництва теплової енергії за існуючою схемою

$$C_b = \frac{S}{Q_{\text{рік}}}, \quad (2.12)$$

$$C_b = \frac{79,81}{101329} = 787,7 \text{ (грн/ГДж)}.$$

Розрахунок варіанту заміни газового котла на твердопаливний котел

Твердопаливний котел заміщує потужність одного з котлів, тобто 3,15 МВт. Така потужність забезпечується спалюванням гранул з деревини витратою 833,8 кг/год або 3,617 тис. т/сезон. При цьому досягається зменшення витрати природного газу на 1,638 млн.м³/сезон.

Орієнтовні додаткові капіталовкладення в твердопаливний котел, димову трубу та зміну системи постачання теплоти $K = 28$ млн. грн.

Витрати газового палива за сезон

$$B_{\text{газ}} = 3,976 - 1,638 = 2,338 \text{ (млн.м}^3\text{/рік)}.$$

Витрати на паливо за (2.3)

$$S_{\text{пал}} = 2338 \cdot 16000 + 3617 \cdot 6000 = 59,11 \text{ (млн.грн/рік)}.$$

Річне виробництво теплової енергії, загальні витрати води на підживлення системи котельнею не змінюється в порівнянні з існуючою схемою котельні.

Перевитрата електроенергії в порівнянні з газовими котлами через функціонування твердопаливного котла (вентилятори, система паливоподавання) складає $\Delta N = 5$ кВт. Тоді перевитрати на електроенергію

$$\Delta S_{\text{еє}} = \Delta N \cdot \tau \cdot \Pi_{\text{еє}}, \quad (2.13)$$

де Ц – тариф за електроенергію, дорівнює 8 грн/(кВт·год).

$$\Delta S_{\text{еє}} = 5 \cdot 4338 \cdot 8 = 0,173 \text{ (млн.грн/рік)}.$$

Додаткові амортизаційні відрахування за (2.8)

$$\Delta S_A = 0,075 \cdot 28 = 2,1 \text{ (млн.грн/рік)}.$$

Додаткові витрати на ремонт за (2.9)

$$\Delta S_p = 0,2 \cdot 2,1 = 0,42 \text{ (млн.грн/рік)}.$$

Інші витрати за (2.10)

$$\Delta S_I = 0,1 \cdot (0,173 + 2,1 + 0,42) = 0,269 \text{ (млн.грн/рік)}.$$

Зміна експлуатаційних витрат

$$\Delta S = \Delta S_{\text{пал}} - (\Delta S_{\text{еє}} + \Delta S_A + \Delta S_p + \Delta S_I) , \quad (2.14)$$

$$\Delta S = (63,62 - 59,11) - (0,173 + 2,1 + 0,42 + 0,269) = 1,547 \text{ (млн.грн/рік)}.$$

Протий термін окупності додаткових капіталовкладень

$$T_{\text{ок}} = \frac{28}{1,547} = 18,1 \text{ (років)}.$$

Собівартість виробництва теплоти за (2.12)

$$C_b = \frac{79,81 - 1,547}{101329} = 772,4 \text{ (грн/ГДж)}, \text{ на } 15,3 \text{ грн/ГДж менше базового варіанта.}$$

Розрахунок варіанту встановлення теплового насосу «повітря-вода»

Орієнтовно можна прийняти, що при середній температурі зовнішнього повітря для опалювального періоду $+2^{\circ}\text{C}$ та температури теплоносія на виході з теплового насосу 65°C коефіцієнт перетворення теплового насосу складає 2,25 [9].

Орієнтовні додаткові капіталовкладення в теплонасосну установку «повітря-вода» потужністю 3 150 кВт приймаємо $K = 53$ млн. грн.

Витрати електроенергії на роботу теплового насосу за опалювальний період

$$EE_{\text{ТН.моп}} = N_{\text{ТН}} \cdot \tau_{\text{моп}}, \quad (2.15)$$

$$EE_{\text{моп.}} = 3150 / 2,25 \cdot 4338 = 6073 \text{ (МВт} \cdot \text{год)}.$$

Витрати коштів на електроенергію для теплового насосу

$$S_{\text{е}} = 6073 \cdot 10^3 \cdot 8,0 = 48,59 \text{ (млн.грн/рік)}.$$

Витрати на газове паливо

$$S_{\text{пал}} = 2,338 \cdot 10^3 \cdot 16000 = 37,4 \text{ (млн.грн/рік)}.$$

Витрати на оплату праці працівників, підживлення системи та електроенергію на допоміжне обладнання не змінюються.

Додаткові амортизаційні відрахування за (2.8)

$$\Delta S_A = 0,075 \cdot 53 = 3,97 \text{ (млн.грн/рік)}.$$

Додаткові витрати на ремонт за (2.9)

$$\Delta S_p = 0,2 \cdot 3,97 = 0,794 \text{ (млн.грн/рік)}.$$

Додаткові інші витрати за (2.12)

$$\Delta S_I = 0,1 \cdot (3,97 + 0,794) = 0,476 \text{ (млн.грн/рік)}.$$

Зміна експлуатаційних витрат за (2.14)

$$\Delta S = (63,62 - (37,4 + 48,59)) - (3,97 + 0,794 + 0,476) = -27,6 \text{ (млн.грн/рік)}.$$

Протий термін окупності додаткових капіталовкладень

$$T_{\text{ок}} = \frac{53}{-27,6}, \text{ таке технічне рішення не окуповується.}$$

Як бачимо такий варіант не окуповується, оскільки значно зростають експлуатаційні витрати через витрати на електроенергію для компресора теплового насосу.

Собівартість виробництва теплоти за (2.12)

$$C_v = \frac{79,81 + 29,7}{101329} = 1060,1 \text{ (грн/ГДж)}.$$

Розрахунок варіанту встановлення когенераційної установки для покриття власних потреб котельні в електричній енергії

Оскільки власні потреби в електроенергії даної котельні складають 104 кВт приймаємо до встановлення когенераційну установку GenTec KE-MNG140 есо [11] на базі газопоршневого двигуна: електрична потужність 140 кВт, електричний ККД 36,4%, тепла потужність 204 кВт, тепловий ККД 53%.

Орієнтовні додаткові капіталовкладення в когенераційну установку потужністю 140 кВт приймаємо $K = 8,4$ млн. грн.

Витрати газу на когенераційну установку [13]

$$\Delta B_{\text{пал.кгу}} = N_{\text{кгу}} / (\eta_{\text{кгу}} \cdot Q_{\text{н}}^{\text{p}}) \cdot \tau_{\text{оп}}, \quad (2.16)$$

$$\Delta B_{\text{пал.кгу}} = 140 / (0,364 \cdot 34000) \cdot 3600 \cdot 4338 = 0,178 \text{ (млн.м}^3\text{/рік)}$$

Витрати на додаткове паливо на КГУ

$$\Delta S_{\text{палкгу}} = 0,178 \cdot 16,0 = 2,84 \text{ (млн.грн/рік)}.$$

Економія палива на котельню

$$\Delta B_{\text{пал.кот}} = Q_{\text{кгу}} / Q_{\text{н}}^{\text{p}} \cdot \tau_{\text{оп}}, \quad (2.17)$$

$$\Delta B_{\text{пал.кот}} = 204 / 34000 \cdot 3600 \cdot 4338 \cdot 10^{-6} = 0,105 \text{ (млн.м}^3\text{/рік)}$$

Зменшення витрат на газ для котельні

$$S_{\text{пал}} = 0,105 \cdot 10^3 \cdot 16000 = 1,675 \text{ (млн.грн/рік)}.$$

Витрати на оплату праці, підживлення не змінюються. Витрати на електроенергію покриваються власною електроенергією [14].

Додаткові амортизаційні відрахування за (2.8)

$$\Delta S_{\text{А}} = 0,075 \cdot 8,4 = 0,63 \text{ (млн.грн/рік)}.$$

Додаткові витрати на ремонт за (2.9)

$$\Delta S_{\text{р}} = 0,2 \cdot 0,63 = 0,126 \text{ (млн.грн/рік)}.$$

Додаткові інші витрати за (2.12)

$$\Delta S_{\text{І}} = 0,1 \cdot (0,63 + 0,126) = 0,0756 \text{ (млн.грн/рік)}.$$

Зміна експлуатаційних витрат за (2.14)

$$\Delta S = (1,675 - 2,84) - (3,565 + 0,63 + 0,126 + 0,0756) = 1,56 \text{ (млн.грн/рік)}.$$

Протий термін окупності додаткових капіталовкладень

$$T_{\text{ок}} = \frac{8,4}{1,56} = 5,38 \text{ (років)}.$$

Як бачимо такий варіант окупується за 5,38 років. Встановлення газопоршневої когенераційної установки в опалювальній котельні м. Могилів-Подільський є доцільним.

Собівартість виробництва теплоти за (2.12)

$$C_{\text{в}} = \frac{79,81 - 1,56}{101329} = 772,2 \text{ (грн/ГДж)}.$$

Узагальнення результатів обґрунтування модернізації котельні

Під час техніко-економічного обґрунтування було розраховано показники існуючого варіанту котельні з газовими котлами потужністю 3 150 кВт та обрані три варіанти модернізації котельні, а саме.

Варіант 1. Заміна одного газового котла на твердопаливний котел на гранулах з біомаси.

Варіант 2. Заміна одного газового котла теплонасосною установкою «повітря-вода».

Варіант 3. Встановлення когенераційної установки потужністю 140 кВт для забезпечення власних потреб котельні електричною енергією.

Результати обґрунтування представлені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Узагальнення розрахункових техніко-економічних показників різних варіантів модернізації котельні в м. Могилів-Подільський

Найменування величини	Природний газ (базовий)	Котел на гранулах деревини	Теплонасосна установка	Когенераційна установка
Наявна теплота палива	34 МДж/м ³	16 МДж/кг	---	34 МДж/м ³
ККД або коефіцієнт перетворення	91%	85%	2,25	36,4%
Річна витрата палива	3,976 млн.м ³	2,338 млн.м ³ + 3,617 тис.т/год	2,338 млн.м ³	4,04 млн.м ³
Витрати електроенергії, МВт-год	0,446	123,7	6074	45,2
Капіталовкладення, млн грн.	---	28	53	8,4
Собівартість теплоти, грн/ГДж	787,7	772,4	1060,1	772,2
Простий термін окупності модернізації	---	18,1 років	не окуповується	5,38 років

З таблиці 2.1 видно, що найкращий показник собівартості теплоти має варіант з встановленням когенераційної установки або твердопаливного котла. Але необхідність встановлення додаткової димової труби та ускладнене очищення продуктів згорання від викидів золи і сажі не дозволяє пропонувати таке рішення для місць з щільною забудовою.

Встановлення теплонасосної установки має значно вищу собівартість теплоти, ніж базовий варіант з газовими котлами, хоча й екологічні показники теплонасосного обладнання набагато кращі.

Встановлення когенераційної установки для забезпечення власних потреб котельні в електричній енергії дає можливість досягти такі ефекти [13]:

- підвищується надійність електропостачання центральної котельні;

- зростає надійність роботи централізованої системи теплопостачання міста;
- зменшується пікове навантаження на електроенергетичну систему міста в холодну пору року;
- скорочуються операційні витрати, пов'язані із можливими відключеннями енергопостачання котельні;
- з'являється можливість відпускати не менше 40 кВт товарної електроенергії для найбільш вразливих споживачів поруч з котельнею;
- зменшується витрата умовного палива на вироблення енергії в порівнянні з роздільною схемою енерговиробництва;
- зменшуються валові викиди парникових газів та інше техногенне навантаження на навколишнє середовище в з показниками роботи вугільної енергогенерації.

3 РОЗРОБКА ПЛАСТИНЧАСТОГО ТЕПЛООБМІННИКА ПОТУЖНІСТЮ 200 КВТ

3.1 Розробка математичної моделі пластинчастого теплообмінника

На основі наведених нижче математичного опису розроблена математична модель пластинчастого теплообмінника, яка складається з 33 лінійних та нелінійних рівняння. Модель детермінована, структурна, оптимізаційна.

Математичний опис моделі [15-19]

Температура нагрівної води на виході

$$t_2'' = t_2' + Q_T / (C_{p2} \cdot G_2) [^{\circ}\text{C}]. \quad (3.1)$$

Середня температура нагрівної води

$$t_2 = \frac{t_2' + t_2''}{2} [^{\circ}\text{C}], \quad (3.2)$$

де t_2' t_2'' – температура води на вході та виході з підігрівника відповідно $^{\circ}\text{C}$.

Середня температура грійної води

$$t_1 = \frac{t_1' + t_1''}{2} [^{\circ}\text{C}]. \quad (3.3)$$

Більша різниця температур між теплоносіями

$$\Delta t_B = t_1' - t_2'' [^{\circ}\text{C}]. \quad (3.4)$$

Менша різниця температур між теплоносіями

$$\Delta t_M = t_1' - t_2' [^{\circ}\text{C}]. \quad (3.5)$$

Середньологарифмічний температурний напір

$$\Delta t_{cp} = (\Delta t_B - \Delta t_M) / \ln \left(\frac{\Delta t_B}{\Delta t_M} \right) [^{\circ}\text{C}]. \quad (3.6)$$

Витрата грійної води

$$G_1 = Q_T / (Cp_1 \cdot (t'_1 - t''_1)) \text{ [кг/с]}. \quad (3.7)$$

Об'ємна витрата грійної води

$$V_1 = \frac{G_1}{\rho_1} \text{ [м}^3\text{/с]}. \quad (3.8)$$

Об'ємна витрата нагрівної води

$$V_2 = \frac{G_2}{\rho_2} \text{ [м}^3\text{/с]}. \quad (3.9)$$

Число Рейнольдса для нагрівної води

$$Re_2 = \frac{w_2 \cdot d_e}{\nu_2}. \quad (3.10)$$

Критерій Нусельта для нагрівної води

$$Nu_2 = 0,135 \cdot Re_2^{0,73} \cdot Pr_2^{0,43} \cdot (Pr_2 / Pr_{ст})^{0,25}. \quad (3.11)$$

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки до нагрівної води

$$\alpha_2 = \frac{Nu_2 \cdot \lambda_2}{d_e} \text{ [Вт/(м}^2\text{·К)]}. \quad (3.12)$$

Швидкість грійної води в каналах

$$w_1 = w_2 \frac{n_1}{n_2} \frac{V_1}{V_2} \text{ [м/с]}. \quad (3.13)$$

Число Рейнольдса для грієної води

$$Re_1 = \frac{w_1 \cdot d_e}{\nu_1} . \quad (3.14)$$

Критерій Нусельта для грієної води

$$Nu_1 = 0,135 \cdot Re_1^{0,73} \cdot Pr_1^{0,43} \cdot (Pr_1 / Pr_{ст})^{0,25} . \quad (2.15)$$

Коефіцієнт тепловіддачі від грієної води до стінки

$$\alpha_1 = \frac{Nu_1 \cdot \lambda_1}{d_e} \text{ [Вт/(м}^2 \cdot \text{К)]}. \quad (3.16)$$

Коефіцієнт теплопередачі теплообмінника

$$K = \frac{0,85}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{\alpha_2}} \text{ [Вт/(м}^2 \cdot \text{К)]}. \quad (3.17)$$

Питомий тепловий потік

$$q = K \cdot \Delta t_{cp} \text{ [Вт/м}^2 \text{]}. \quad (3.18)$$

Розрахункова температура холодної і гарячої сторін пластини

$$t_{ст2} = t_2 + \frac{q}{\alpha_2} \quad t_{ст1} = t_1 - \frac{q}{\alpha_1} \text{ [}^\circ\text{C]}, \quad (3.19)$$

Необхідна площа поверхні теплообміну

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{cp}} [M^2]. \quad (3.20)$$

Площа поперечного перерізу пакета

$$f_{\text{пакета1}} = \frac{V_1}{w_1 \cdot n_1} [M^2], \quad (3.21)$$

$$f_{\text{пакета2}} = \frac{V_2}{w_2} [M^2]. \quad (3.22)$$

Число паралельних каналів в одному пакеті

$$n_{k1} = \frac{f_{\text{пакета1}}}{f_{\text{каналу}}}, \quad (3.23)$$

$$n_{k2} = \frac{f_{\text{пакета2}}}{f_{\text{каналу}}}. \quad (3.24)$$

Число пластин в теплообміннику

$$n = n_1 \cdot n_{k1} + n_2 \cdot n_{k2}. \quad (3.25)$$

Площа теплообміну пластин

$$F_{\text{пакета}} = n \cdot f_1 [M^2]. \quad (3.26)$$

Запас поверхні нагріву

$$\varepsilon = \frac{F_{\text{пакету}} - F}{F_{\text{пакету}}} 100\%. \quad (3.27)$$

Коефіцієнти загального гідравлічного опору одиниці довжини каналу

$$\xi_1 = \frac{5,8}{Re_1^{0,25}}, \quad (3.28)$$

$$\xi_2 = \frac{5,8}{\text{Re}_2^{0,25}}. \quad (3.29)$$

Гідравлічний опір пакетів пластин

$$\Delta P_1 = \frac{\xi_1 \cdot L_{\text{пр}} \cdot \rho_1 \cdot w_1^2 \cdot n_1}{d_e \cdot 2}, \quad (3.30)$$

$$\Delta P_2 = \frac{\xi_2 \cdot L_{\text{пр}} \cdot \rho_2 \cdot w_2^2 \cdot n_2}{d_e \cdot 2}, \quad (3.31)$$

Потужність, необхідна для подолання гідравлічних опорів при протіканні

$$N_1 = \frac{V_1 \cdot \Delta P_1}{\eta_{\text{насоса}}}, \quad (3.32)$$

$$N_2 = \frac{V_2 \cdot \Delta P_2}{\eta_{\text{насоса}}}, \quad (3.33)$$

За допомогою даної моделі виконано дослідження впливу товщини відстані між пластинами на показники роботи теплообмінника. Вартість металу теплообмінника прийнята 200 грн/кг, а вартість електроенергії на прокачування теплоносія прийнята 8 грн/кВт·год.

Результати моделювання представлені на рис. 3.1.

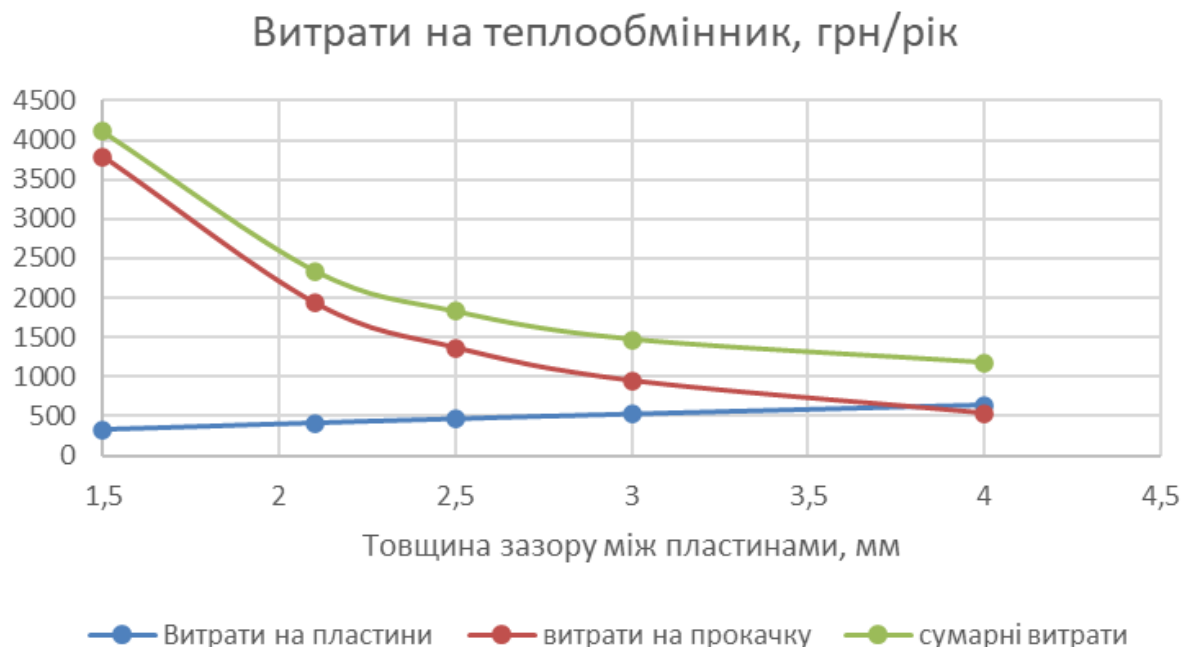


Рисунок 3.1 – Залежність суми витрат на метал та на електроенергію, грн/рік, від товщини зазору між пластинами теплообмінника, мм

Як видно з рис. 3.1, сума витрат пов'язаних із теплообмінником мало змінюється в широкому діапазоні товщин зазору, але достатньо невеликий запас потужності теплообмінника з такими пластинами відповідає товщині зазору 2,1 мм.

Вихідні дані для проектування [19-23].

Грійне та нагріване середовище – вода.

Потужність теплообмінника $Q_T = 200$ кВт.

Температура нагрівної води на вході в теплообмінник $t'_2 = 10^\circ\text{C}$.

Витрата нагрівної води в теплообміннику $G_2 = 1,05$ кг/с.

Температура грійної води $t'_1 = 95^\circ\text{C}$, $t''_1 = 70^\circ\text{C}$.

Геометричні розміри пластин і типи каналів:

- площа теплообміну одної пластини $f_1 = 0,025$ м²;
- ширина пластини 0,145 м;
- довжина пластини 0,35 м;
- товщина міжпластинного каналу $e = 0,0021$ м;

площа поперечного перерізу одного каналу $f_{\text{каналу}}=0,29 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$.

В результаті моделювання отримано, що площа теплообміну складає $0,892 \text{ м}^2$, швидкості теплоносіїв $0,4$ та $0,37 \text{ м/с}$, коефіцієнт теплопередачі $4549 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}$, теплообмінник складається з 39 пластин площею $0,025 \text{ м}^2$, при цьому запас поверхні $8,5\%$. Втрати тиску грійного теплоносія $4,47 \text{ кПа}$, а нагрівного $1,26 \text{ кПа}$. Потужність, необхідна для прокачки гарячого теплоносія складає $13,5 \text{ Вт}$, а холодного – $2,06 \text{ Вт}$. Розрахункова товщина теплової ізоляції апарату розрахована 65 мм .

4 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ МОНТАЖУ ТЕПЛООБМІННИКА ПОТУЖНІСТЮ 200 КВТ

У роботі розробляється варіант встановлення теплообмінника для підігріву сирової води у водогрійній котельні в місті Могилів-Подільському. З метою підвищення ефективності і підготовки гарячої води у роботі пропонується встановити на пластинчастий теплообмінник типу ТПР 4 – PN16/1[24].

Теплообмінник ТПР 4 – PN16/1 складається з тридцятидев'яти проточних пластин, що профільно стискаються, з прокладками. Поверхню теплообміну теплообмінника можна збільшити за потреби за рахунок додавання необхідної кількості пластин. Максимальна кількість пластин у теплообміннику даного типорозміру складає 60 штук. Максимальна площа теплообміну – 2,8 м².

Прокладки приклеєні на пластинах. Під час стиснення пластин прокладки забезпечують щільність пакета, а також перешкоджають змішуванню рідин і їх витіканню у навколишнє середовище. Кожна друга пластина у пакеті повертається на 180°, завдяки цьому прокладки навколо кутових отворів блокують вхід у кожен другий міжпластинний простір. Пакет утворює систему паралельних проточних каналів, вздовж яких грієна і нагрівана рідини позмінно протікають протитоком.

Теплообмінні пластини ТПР 4 – PN16/1 виготовлені із пластинами з нержавіючої сталі AISI 316 L, та оснащені прокладками клеєними з EPDM. З'єднання на стороні охолодження (F1, F4) і на стороні нагрівання (F2, F3) виконується за допомогою різьби R 5/4" (32) .

Маса теплообмінного апарату складає 29,25 кг.

Напір для забезпечення циркуляції грієного теплоносія через теплообмінник створюють мережні насоси Д 500-38, що не входять в монтажну схему теплообмінників і, відповідно, їх монтаж в цій роботі не виконується.

Необхідний напір для циркуляції нагріваного теплоносія у теплообміннику забезпечується насосом сирової води К 20/30, характеристики якого: подача $V = 25 \text{ м}^3/\text{год}$, напір $H = 32 \text{ м вод. ст.}$, потужність електродвигуна $N = 2,2 \text{ кВт}$

[25]. Приєднання насоса до мережі – фланцеве. Розміри приєднувальних фланців: напірного патрубку $D_n = 40$ мм, всмоктувального патрубку $D_v = 50$ мм.

Температура та тиск води в обох контурах контролюється за допомогою біметалевих трубчатих термометрів і манометрів.

Для забезпечення змоги ремонту теплообмінників передбачені засувки типу «Баттерфляй».

4.1 Розрахунок та комплектування основних та допоміжних матеріалів та виробів, складання відомостей

Розрахункові результати комплектування основних та допоміжних матеріалів та виробів наведені у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Відомість витрат матеріалів

№ п\п	Найменування робіт та витрат, одиниця вимірювання	Одиниці вимірювання	Кількість	Вага	
				Одиниця	Всього
1	2	3	4	5	6
Основні матеріали					
1	Водоводяний пластинчастий теплообмінник ТПР 4 – PN16/1	шт	1	29,25	29,25
2	Насос сирі води К 20/30	шт	1	77	77
3	Засувка типу «Баттерфляй» Vitech Dy40	шт.	2	2,6	5,2
4	Засувка типу «Баттерфляй» Vitech Dy50	шт	4	3,0	12
5	Клапан зворотний фланцевий пружинний Walver Dy50	шт	1	4,8	4,8
6	Манометр технічний	шт	6	0,27	1,62
7	Термометр біметалевий трубчастий	шт	4	0,13	0,52
8	Труба сталева електрозварна ДСТУ 8943:2019, Ду 40	м	9,3	2,6	24,18

Продовження табл. 4.1

1	2	3	4	5	6
9	Труба сталева електрозварна ДСТУ 8943:2019, Ду 50	м	17,3	4,0	69,2
10	Труба сталева електрозварна ДСТУ 8943:2019, Ду 80	м	4,6	7,3	33,58
11	Перехід концентричний 50/32, $\delta = 2,9$ мм	шт	2	0,31	0,62
12	Перехід концентричний 80/50, $\delta = 3,6$ мм	шт	1	0,6	0,6
13	Перехід концентричний 40/32, $\delta = 2,6$ мм	шт	2	0,19	0,38
14	Перехід концентричний 50/40, $\delta = 2,9$ мм	шт	1	0,31	0,31
15	Скорлупа теплоізоляційна фольго- вана діаметр 45 мм товщина 30 мм	1 м	9,3	0,565	5,25
16	Скорлупа теплоізоляційна фольго- вана діаметр 57 мм товщина 30 мм	1 м	17,3	0,656	11,35
17	Скорлупа теплоізоляційна фольго- вана діаметр 89 мм товщина 50 мм	1 м	4,6	1,746	8,03
Потреба у допоміжних матеріалах для монтажу теплообмінника [26]					
18	Азбестовий картон загального призначення (КАОН-1), товщина 2 мм	т	1	0,0027	2,7
19	Електроди , діаметр 4 мм, марка Е42	т	1	0,00051	0,51
20	Оліфа натуральна	кг	1	0,02	0,02
21	Прокладки гумові (пластина техні- чна пресована)	кг	1	0,01	0,01
22	Болти з гайками та шайбами, діа- метр 16 мм	т	1	0,00254	2,54
23	Згін роз'ємний В-3 (американка) 1 $\frac{1}{4}$ "	шт	4	0,424	1,696

Продовження табл. 4.1

1	2	3	4	5	6
24	Пароніт	т	1	0,00022	0,22
25	Фарба земляна густотерта олійна, мумія, сурик залізний	т	1	0,00008	0,08
26	Вода	м ³	1	0,26	260
для монтажу засувок типу «Баттерфляй», зворотного клапану [27]					
27	Болти з гайками з шестигранною головкою діаметром 12 (14) мм	т	0,5 0,2	0,017 0,017	11,9
28	Пластина гумова рулонна вулканізована	кг	0,5 0,2	0,8 0,6	0,52
29	Фланці плоскі приварні із сталі ВСт3сп2, ВСт3сп3, тиск 1,0 МПа, діаметр 50 мм	шт	10	2,06	20,6
30	Фланці плоскі приварні із сталі ВСт3сп2, ВСт3сп3, тиск 1,0 МПа, діаметр 40 мм	шт	4	1,71	6,84
для монтажу трубопроводів [27] 80,50,40					
31	Круги армовані абразивні зачисні ø 180 x 6 мм	шт	0,034*0,635 0,069*0,812 8 0,024*1,32	0,36	0,36
32	Пароніт	т	0,034 0,069 0,024	0,003 0,007 0,008	0,777
33	Дріт зварний легований , діаметр 2 мм	т	0,024	0,0023	0,055
34	Електроди, діаметр 4 мм, марка Э55	т	0,034 0,069	0,005 0,006	0,17
Для монтажу насосів [26]					
35	Електроди марки Е42, діаметр 4 мм,	т	1	0,00039	0,39
36	Прокладки гумові (пластина гумова технічна пресована)	кг	1	0,07	0,07
37	Болти з гайками та шайбами, діаметр 16 мм	т	1	0,00127	1,27
38	Анкерні деталі із прямих або гнутих круглих стрижнів з різьбою (у комплекті із шайбами і гаками)	т	1	0,0022	2,2

Продовження табл. 4.1

1	2	3	4	5	6
39	Фланці плоскі приварні із сталі ВСт3сп2, ВСт3сп3, тиск 1 МПа [10 кгс/см ²], діаметр 40 мм	шт	1	1,71	1,71
40	Фланці плоскі приварні із сталі ВСт3сп2, ВСт3сп3, тиск 1 МПа [10 кгс/см ²], діаметр 50мм	шт	1	2,06	2,06
для монтажу теплової ізоляції трубопроводів [28] дл/10 (80, 50, 40)					
42	Стрічка сталева пакувальна, м'яка, нормальної точності 0,7 мм х (20 мм – 50 мм)	т	0,46 1,73 0,93	0,00267 0,00233 0,00177	6,905
43	Пряжки	кг	0,46 1,73 0,93	0,09 0,09 0,09	0,281
для гідравлічного випробування трубопроводів [29] дл/100 (80, 50+40)					
44	Білила густо терті цинкові МА-011-1	т	0,046 0,266	0,00005 0,00005	0,016
45	Оліфа натуральна	кг	0,046 0,266	0,02 0,02	0,006
46	Очіс льняний	т	0,046 0,266	0,00002 0,00002	0,006
47	Вода	м ³	0,046 0,266	3,8 1	440,8
для монтажу термометрів [26]					
48	Масло індустріальне И-20А	т	4	0,00011	0,44
49	Оліфа натуральна	кг	4	0,01	0,04
50	Прядиво лляне	т	4	0,00001	0,04
51	Сурик свинцевий	т	4	0,00001	0,04
для монтажу манометрів [26]					
52	Пароніт	т	6	0,00004	0,24
53	Оліфа натуральна	кг	6	0,01	0,06
54	Прядиво лляне	т	6	0,00001	0,06
55	Сурик свинцевий	т	6	0,00001	0,06
56	Болти з гайками та шайбами, діаметр 12 мм	т	6	0,00016	0,96

Маса основного обладнання і матеріалів – 283,89 кг.

Маса допоміжних матеріалів (без води) – 65,85 кг.

Необхідна кількість води – 0,725 т.

Маса матеріалів для доставки 504 кг.

4.2 Визначення складу і об'ємів робіт

Склад робіт:

1. Транспортування основних, допоміжних матеріалів та допоміжного обладнання до місць монтажу та їх зберігання.
2. Розмітка місць прокладання трубопроводів.
3. Монтаж теплообмінника ТПР 4 – PN16/1.
4. Монтаж насоса сирі води К 20/30.
5. Прокладка сталевих електрозварних трубопроводів діаметром 89×3,5 мм.
6. Прокладання сталевих електрозварних трубопроводів діаметром 57×3,0 мм [27].
7. Встановлення засувки типу «Баттерфляй», зворотного клапану Ду 50.
8. Прокладання сталевих електрозварних трубопроводів діаметром 45×2,5 мм;
9. Встановлення засувки типу «Баттерфляй» Ду 40.
10. Монтаж термометрів.
11. Монтаж манометрів.
12. Гідравлічне випробування трубопроводів.
13. Ізоляція трубопроводів скорлупами теплоізоляційними фольгованими діаметром 89 мм товщиною 50 мм.
14. Ізоляція трубопроводів скорлупами теплоізоляційними фольгованими діаметром 57 мм товщиною 30 мм [28].
15. Ізоляція трубопроводів скорлупами теплоізоляційними фольгованими діаметром 45 мм товщиною 30 мм.
16. Повернення допоміжного обладнання на склад.

Об'єми робіт

1. Доставка деталей та допоміжного обладнання до місця монтажу. Одиниці вимірювання в тонах. Загальна вага усіх деталей 504 кг (0,5 т). Приймаємо об'єм $V=0,5$.
2. Розмітка місць прокладання трубопроводів. Одиниці вимірювання 100 м. Довжина всієї мережі трубопроводів обв'язки теплообмінника складає $L=270$ м. Приймаємо $V=2,7$.
3. Монтаж теплообмінника. Одиниці вимірювання в штуках. До монтажу подається 1 теплообмінник, поверхнею нагріву до 0,4 м². Отже, приймаємо $V=1$.
4. Монтаж насоса сирої води К 20/30. Одиниці вимірювання в штуках. В роботі виконуємо монтаж одного насоса масою 77 кг. Отже, приймаємо $V=1$.
5. Прокладання сталевих електрозварних трубопроводів діаметром 89×3,5 мм. Одиниці вимірювання в тонах. Вага труб з діаметром 89×3,5 мм складає 33,58 кг, отже, приймаємо $V=0,034$.
6. Прокладання сталевих електрозварних трубопроводів діаметром 57×3,0мм. Одиниці вимірювання в тонах. Вага труб з діаметром 57×3,0 мм складає 69,2 кг, отже, приймаємо $V=0,069$ [29].
7. Встановлення засувки типу «Баттерфляй», зворотного клапану Ду 50. Одиниці вимірювання в 10 штуках. У монтажній схемі встановлюється 4 засувки типу «Баттерфляй» та 1 зворотний клапан. Отже, приймаємо $V=0,5$.
8. Прокладання сталевих електрозварних трубопроводів діаметром 45×2,5 мм. Одиниці вимірювання в тонах. Вага труб з діаметром 45×2,5 мм складає 24,18 кг, отже, приймаємо $V=0,024$.
9. Встановлення засувки типу «Баттерфляй», зворотного клапану Ду 40. Одиниці вимірювання в 10 штуках. У монтажній схемі встановлюється 2 засувки типу «Баттерфляй». Отже, приймаємо $V=0,2$.
10. Монтаж термометрів; Одиниці вимірювання в штуках. У монтажній схемі передбачено 4 термометри. Отже, приймаємо $V=4$.

11. Монтаж манометрів. Одиниці вимірювання в штуках. У монтажній схемі передбачено 6 манометрів. Отже, приймаємо $V=6$.

12. Гідравлічне випробування трубопроводів. Одиниці вимірювання 100 м. Загальна довжина трубопроводів обв'язки теплообмінника становить 270 м, отже, приймаємо $V=2,7$.

13. Ізоляція трубопроводів скорлупами теплоізоляційними фольгованими діаметром 89 мм товщиною 50 мм. Одиниці вимірювання в 10 м. Довжина трубопроводу вказаного типорозміру складає 50 м. Отже, приймаємо $V=0,5$.

14. Ізоляція трубопроводів скорлупами теплоізоляційними фольгованими діаметром 57 мм товщиною 30 мм. Одиниці вимірювання в 10 м. Довжина трубопроводу вказаного типорозміру складає 70 м. Отже, приймаємо $V=0,7$.

15. Ізоляція трубопроводів скорлупами теплоізоляційними фольгованими діаметром 45 мм товщиною 30 мм. Одиниці вимірювання в 10 м. Довжина трубопроводу вказаного типорозміру складає 40 м. Отже, приймаємо $V=0,4$.

16. Повернення допоміжного обладнання на склад. Одиниці вимірювання в тонах. Загальна вага допоміжного обладнання для монтажу складає 154,25 кг. Приймаємо об'єм $V=0,154$.

4.3 Підбір машин, механізмів, пристосувань

Труби, деталі, конструкції та обладнання завозяться централізовано автомашиною Mercedes Sprinter 313 CDI. Технічні характеристики автомашини наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Технічні характеристики " Mercedes Sprinter " [30]

Найменування	Одиниця виміру	Значення
Вантажопідйомність	кг	до 3500
Кількість осей: всього ведучих	шт	2
	шт	1
Вантажна висота	мм	2300
Найбільша швидкість	км/год	160
Радіус повороту	м	6,4
Колія колес: передні задні	мм	1800
	мм	1750
Витрата палива	л/100 км	9,5
Габарити: Довжина Ширина Висота		6590
		1933
		2570
Маса	кг	2125

Для приварювання фланців та монтажу трубопроводів використовується зварювальний напівавтомат Vitals Professional MIG 2000 Digital LCD [31]. Його технічна характеристика: споживана потужність, кВт – 5,5; зварювальний струм, А – 30-200; діаметр електрода, мм – 1,6 – 5; маса – 13,2 кг.

Для монтажу трубопроводів і виготовлення вузлів застосовується кутова шліфмашина Vitals Master Ls1818HLs [32], що має наступні технічні характеристики: діаметр круга 180 мм; напруга живлення 230 В; потужність 1800 Вт; частота обертання 8500 об/хв; маса 4,3 кг.

Для випробування трубопроводів на міцність та щільність використовуємо електричний насос для опресування моделі НОЕ 100-3, його характеристика в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Технічні характеристики електричного насоса для опресування моделі НОЕ 100-3 [33]

Найменування	Одиниця виміру	Значення
Потужність	Вт	320
Продуктивність	л/хв	3
Максимальний тиск	бар	100
Напруга живлення	В	220
Приєднання до трубопроводу		R 1/2"
Маса	кг	15

Для переміщення вантажу використовуємо візок гідравлічний ручний спеціальний Niuli AC 2.5T 2000MM. Його характеристики вказані в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 –Візок гідравлічний ручний спеціальний Модель DFZ [34, 35]

Найменування	Одиниця виміру	Значення
Вантажопідйомність	кг	2000
Довжина вил	мм	2000
Ширина вил	мм	550
Маса	кг	110

Загальна маса допоміжного обладнання складає 154,25 кг.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

У цьому розділі розглянуто питання охорони праці, що стосуються забезпечення працівників під час модернізації водогрійної котельні в місті Могилів-Подільський. Аварії на будівельних майданчиках, а також невиконання правил по безпечній експлуатації будівельної техніки призводять до серйозної загрози життю та здоров'ю людей через небезпеку падінь з висоти, поранень, опіків, уражень електричним струмом тощо [36]. Отже, на будівельно-монтажний персонал, що здійснює розбирання будівель і споруд та їхню модернізацію чи знесення, впливають такі шкідливі виробничі фактори: фізичні, хімічні та трудового процесу [37, 38].

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

Хімічні фактори: речовини хімічного походження, аерозолі фіброгенної дії (пил).

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

5.1 Технічні рішення щодо безпечної експлуатації об'єкта

5.1.1 Технічні рішення щодо безпечної організації робочих місць

Живлення силового будівельного обладнання та системи освітлення

здійснюється від п/ст 10/0,4 кВ кабельними лініями, що прокладені в траншеях. Для живлення використовується трифазна чотирьохпровідна мережа із заземленою нейтраллю напругою 380/220 В. Відповідно з ГОСТ ПБЕ [39, 40] умови праці за ступенем небезпеки ураження працівників електричним струмом є умовами з підвищеною небезпекою, тому що підлога у приміщеннях, що будуються, є струмопровідною.

Перед розбиранням, реконструкцією та капітальним ремонтом необхідно обстежити загальний стан будівлі (споруди), а також фундаменту, стін, колон, склепін та інших конструкцій, а для надбудов також стан основ. За результатами обстежень складається акт, на підставі якого розробляється проект організації будівництва (ПОБ) і проект виконання робіт (ПВР). Усі необхідні узгодження з проведення підготовчих заходів повинні бути виконані на стадії розроблення ПОБ. Для розроблення ПОБ і ПВР замовник повинен додатково надати проектній організації такі вихідні дані: склад відокремлених технологічних ділянок підприємства, можлива послідовність і тривалість їх зупинки на реконструкцію; послідовність розбирання і перекладання інженерних мереж, місця підключення тимчасових мереж, перелік виробничих і санітарно-побутових приміщень, що надаються будівельним організаціям на період виконання робіт з розбирання, реконструкції, відомості про зони з високими температурами, загазованістю, вибухо- і пожежонебезпечними речовинами, з обмеженими умовами робіт; обмеження на виконання спеціальних видів робіт (забивання паль, газозварювальних, безтраншейного прокладання труб тощо); місця розташування споруд, пошкодження яких під час виконання будівельно-монтажних робіт може призвести до важких наслідків та людських жертв (склади паливно-мастильних матеріалів, газопроводи, електромережі тощо).

У проектно-технологічній документації необхідно зазначити такі заходи: вибір методу розбирання, демонтажу та монтажу, надбудови будівлі (споруди); визначення послідовності та безпеки виконання робіт; визначення небезпечних зон, застосування захисних огорож; тимчасове чи пос-

тійне закріплення або підсилення конструкцій будівлі, що розбирається, з метою запобігання випадковому обваленню конструкцій або частини будівлі; пилоосідання; безпека праці під час виконання робіт на висоті; визначення схеми стропування під час демонтажу конструкцій і технологічного обладнання.

Крім того, повинні бути зазначені вимоги безпеки праці, що забезпечуються під час: виконання робіт без зупинки основного виробництва або з частковою зупинкою; виконання робіт під час демонтажу або реконструкції внутрішніх інженерних мереж; виконання транспортних робіт в умовах обмеженого виробничого простору; складування та утилізації матеріалів і конструкцій, одержаних під час розбирання або реконструкції споруд.

Відповідальність за підготовку та виконання заходів, що забезпечують безпеку праці всіх працюючих на об'єкті відповідно до вимог НПА ОП 45.2-2.01, несуть керівники будівельно-монтажних організацій.

До початку проведення робіт з розбирання будівель необхідно виконати підготовчі заходи, пов'язані з відселенням мешканців житлових будинків, переміщенням розміщених там організацій, відключенням інженерного обладнання від мереж водо-, тепло-, газо- і електропостачання, каналізації, технологічних продуктопроводів. Під час розбирання будівель, виконання робіт в межах міської забудови, що склалася, доступ у зону виконання робіт сторонніх осіб, які не беруть участі у виконанні цих робіт, заборонено. Дільниці, де виконуються роботи, необхідно огородити згідно з ГОСТ 23407.

Розбирання будівель, демонтаж, підсилення або вилучення конструкцій, а також в особливо відповідальних випадках (під час піднімання конструкцій із застосуванням складного такелажу, методом повороту, під час насування конструкцій, піднімання їх більше ніж одним механізмом тощо) проводяться під безпосереднім керівництвом виконавця робіт або майстра і в денний час.

Перед початком демонтажних робіт оформлюють наряд-допуск на їх

виконання із зазначенням заходів, що забезпечують безпечні і нешкідливі умови праці монтажників. Члени бригади повинні пройти цільовий інструктаж із безпечних методів виконання робіт, маршруту руху по цеху на робоче місце, в санітарно-побутові приміщення, ознайомитися з технологічною картою та з заходами, передбаченими в ПВР, про що вони ставлять підпис у журналі реєстрації інструктажів з охорони праці. З машиністами мостових кранів необхідно проводити інструктаж про порядок демонтажу конструкцій.

Прохід людей у приміщення під час розбирання або демонтажу та монтажу елементів будівель і споруд повинен бути закритим. З боку вулиць, проходів і проїздів на огорожі через кожні 5–10 м вивішують попереджувальні написи «Небезпечна зона» та необхідні дорожні знаки. Якщо немає можливості дотримуватися необхідних відстаней для встановлення огорож небезпечних зон (у разі неглибокого залягання підземних комунікацій, близького розташування проїздів, сусідніх будівель, ліній електропередачі тощо), допускається зменшення меж небезпечних зон з одночасним збільшенням висоти огорож або розмірів захисного козирка для захисту людей, унеможливлення травмування падінням матеріалів і конструкцій з висоти. Конструкцію суцільних захисних споруд необхідно зазначити у ПВР.

Під час розбирання, повалення стін будівель механізованим способом необхідно визначити небезпечні зони, а машини (механізми) розмістити ззовні зони можливого обвалення конструкцій. Кабіна машиніста (кранівника) повинна бути захищена від можливого потрапляння уламків, які відкололись, а робітники повинні бути забезпечені захисними касками, окулярами, бронесклом та/або сіткою.

Під час розбирання будівель, а також прибирання відходів, сміття необхідно вжити заходів для зменшення пилоутворення. Робітники, що працюють в умовах запиленості, повинні бути забезпечені засобами захисту органів дихання від пилу та мікроорганізмів (цвілі, грибків, спор), які мо-

жуть бути у повітрі робочої зони. Перед допуском працівників на робочі місця з можливою появою газу або шкідливих речовин робочі місця необхідно провентилувати, робітників забезпечити засобами індивідуального захисту (протигазами). У разі несподіваної появи газу, інших шкідливих речовин роботи необхідно припинити, працівників вивести з небезпечної зони.

Під час розбирання будівель проходи до робочих місць повинні бути завширшки не менше ніж 0,8 м. Під час розбирання покрівлі та зовнішніх стін робітники повинні застосовувати запобіжні пояси, місця закріплень яких зазначаються у ПВР. Розбирання будівель (демонтаж конструкцій) необхідно здійснювати послідовно зверху вниз. Забороняється розбирання будівель одночасно в декількох ярусах по одній вертикалі. Видалення нестійких конструкцій під час розбирання будівель і споруд необхідно виконувати у присутності керівника робіт.

Пошкоджені будівлі та споруди розбирають за принципом полегшення несучих конструкцій. Видалення однієї частини будівлі або конструктивного елемента не повинно призводити до обвалення інших частин будівлі або елементів. Будь-який сумнів стосовно стійкості конструкції є сигналом до припинення робіт та отримання вказівок від керівника про їх продовження. Конструкції, що знаходяться під загрозою обвалення, необхідно укріпити або видалити до початку розбирання об'єкта.

Виконання робіт під час туману і дощу, що значно погіршує видимість у межах фронту робіт, ожеледі, грози, вітру зі швидкістю 15 м/с і більше не допускається. До розбирання будівель, пов'язаного з верхолазними роботами, допускаються особи, що пройшли медичний огляд, навчені правилам безпеки праці та мають відповідне посвідчення. Перед початком кожної зміни працівники повинні проходити інструктаж про порядок виконання роботи і заходи з безпеки праці.

Послідовне розбирання стін (зверху вниз по цеглині) допускається за незначного обсягу робіт. Для цього необхідно використовувати ручний ін-

струмент: ломи, клини з кувалдою, кирки, відбійні молотки тощо. Під час організації роботи на висоті робітники повинні бути забезпечені запобіжними поясами, місця закріплення яких зазначаються у ПВР.

Під час розбирання вертикальних залізобетонних елементів необхідно заздалегідь розрізати основну арматуру біля точки перекидання в зоні, протилежній напрямку обвалення. Матеріали, отримані внаслідок розбирання будівель, а також будівельне сміття необхідно опускати по закритих жолобах або у закритих ящиках чи контейнерах за допомогою вантажопідіймальних кранів. Відходи бетонів, цегли, утеплювачів, полімерних матеріалів, асфальту тощо необхідно розділяти по видах, утилізувати після дроблення і фракціонування. Під час складування і перероблення відходів необхідно дотримувати вимог безпеки.

5.1.2 Електробезпека

Загальні вимоги безпеки до виробничого обладнання встановлені згідно з ГОСТ 12.2.003, в якому визначені вимоги до основних елементів конструкції, органів управління і засобів захисту, які входять в конструкцію виробничого обладнання любого виду і призначення. Електропривід насосів, вентиляторів, іншого обладнання повинний бути виконаний відповідно до Правил устрою електричних установок.

Обов'язкова установка захисного заземлення та захисного відключення. При роботі з електроустаткуванням використовуються основні і додаткові електрозахисні засоби. До основних відносяться: ізолюючі штанги; ізолюючі і струмовимірювальні кліщі; слюсарно-монтажні інструменти з ізолюючим руків'ям. До додаткових відносяться: діелектричні рукавички; переносне заземлення; огорожуючі пристосування; плакати та знаки безпеки.

В процесі роботи із застосуванням електрозахисних засобів (ізолювальні штанги та кліщі, електровимірювальні кліщі, покажчики напруги) допускається наближення працівника до струмопровідних частин на відстань,

яка визначається довжиною ізолювальної частини цих засобів. Без застосування електрозахисних засобів забороняється торкатися ізоляторів електроустановки, що перебуває під напругою.

В електроустановках забороняється працювати у зігнутому стані, якщо в разі випрямлення відстань до струмопровідних частин буде меншою від допустимих. В процесі виконання робіт біля необгороджених струмопровідних частин забороняється розташовуватися таким чином, щоб ці частини знаходилися позаду чи з двох боків.

5.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

5.2.1 Мікроклімат

Параметри мікроклімату в приміщенні центру теплохолодопостачання для категорії робіт Пб, до якої належать данні будівельно-монтажні роботи згідно з [42] наведено в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Нормування параметрів мікроклімату на непостійних робочих місцях

Період року	Категорія робіт	Температура, °C	Відносна вологість	Швидкість руху
Теплий	Пб	15-29	70 при 25°C	0,2-0,5
Холодний	Пб	13-23	не більш 75	не більш 0,4

Для забезпечення потрібних за нормативами параметрів мікроклімату проектом передбачено: утеплення фасаду будівлі; температура внутрішніх поверхонь будівельних конструкцій робочої зони і зовнішніх поверхонь обладнання при забезпеченні оптимальних параметрів мікроклімату не повинні бути більше ніж на 2°C за діапазон норм; якщо температура поверхонь вище або нижче оптимальної температури повітря, то робочі місця повинні бути віддалені від них; встановлено вентиляцію приміщень при проведенні робі всередині.

5.2.2 Склад повітря робочої зони

В умовах, що розглядаються в роботі, можливим забруднювачем повітря може бути пил нетоксичний. Характерні забруднюючі речовини для виробничого приміщення наведені в табл. 5.2.

Таблиця 5.2 - Характерні забруднюючі речовини для виробничого приміщення

Найменування речовини	ГДК, мг/м ³		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньодобова	
пил нетоксичний	0,5	0,15	4

Для забезпечення складу повітря робочої зони в роботі передбачені такі рішення відповідно до [43]: робочі місця, де можливе виділення пилу та, обладнані вентиляційними пристроями, які повинні бути постійно готовими до роботи; будь-які порушення у системі вентиляції відображаються попереджувальними сигнальними пристроями; установки для кондиціювання повітря або механічні вентиляційні установки під час їх роботи не створюють для працівників протягів.

5.2.3 Виробниче освітлення

Штучне освітлення в будівлі запроектоване загальне, освітлення, за якого світильники розміщуються рівномірно у верхній зоні приміщення (загальне рівномірне освітлення). Нормовані значення виробничого освітлення наведені в табл. 5.3.

Характеристика зорових робіт – середньої точності. Відповідно до [44] розряд зорової роботи IV, підрозряд «г». Для забезпечення нормованого значення освітлення у проєкті передбачено: використання природного та штучного освітлення; штучне освітлення повинне бути рівномірне та достатньо інтенсивне; світло не повинне створює різких тіней на місцях роботи, значних контрастів між освітленим робочим місцем і навколишньою обстановкою; штучне світло не створює зайвих відблисків у полі зору працівника.

Таблиця 5.3 – Вимоги до освітлення приміщень виробничих підприємств

Х-ка зорової роботи	Найменший або еквівалентний розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Під-розряд зорової роботи	Контраст об'єкта з фоном	Х-ка фону	Штучне присис-темі комбінованого освітлення		При-родне Ен пр	Суміс-не Е сум
						всього	у т. ч. від загального		
Середньої точності	Від 0,5 до 1,0 включно	IV	г	середній великий великий	світлий світлий середній	-	200	4	2,4

5.2.4 Виробничий шум

Джерелами шуму, що розглядаються в роботі, для працівників є шум будівельних машин і механізмів. Допустимі рівні звукового тиску і рівні звуку для постійного (непостійного) широкосмугового (тонального) шуму згідно [45] наведено в табл. 5.4.

Таблиця 5.4 Допустимі рівні звукового тиску і рівні звуку для постійного (непостійного) широкосмугового (тонального) шуму

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах зі середньгеометричними частотами (Гц)									Допустимий рівень звуку, дБА
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Основні виробничі приміщення	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Для забезпечення допустимих параметрів шуму (поліпшення шумового клімату) в приміщенні проектом передбачено: постійний контроль режиму праці і відпочинку працівників; обмеження застосування обладнання та використання робочих місць, що не відповідають санітарно-гігієнічним вимогам.

5.2.5 Виробничі вібрації

Джерелами вібрацій в умовах, що розглядаються в проекті, являються насосні агрегати, вентилятори, дрелі, перфоратори, які відносяться до типу загальної вібрації. Основні параметри вібрації, такі як середньоквадратичне значення віброприскорення та віброшвидкості, логарифмічні рівні приведені

у табл. 5.5.

Таблиця 5.5 – Середньоквадратичні значення віброприскорення та віброшвидкості

Категорія вібрації по санітарним нормам	Напрямок дії	Нормативні, корекційовані по частоті та еквівалентні корекційовані значення			
		Віброприскорення		Віброшвидкість	
		$\text{м} \cdot \text{с}^{-2}$	ДБ	$\text{м} \cdot \text{с}^{-2} \cdot 10^{-2}$	ДБ
За	Zo, Yo, Xo	0,1	100	0,2	92

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.

5.3 Технічні рішення з пожежної безпеки

Пожежну безпеку промислових і інших об'єктів регламентують Правила пожежної безпеки в Україні [47, 48]. Пожежовибухонебезпечність речовин і матеріалів визначається за ДСТУ 8829: 2019 [49], за якою визначається категорія приміщень за вибуховою та пожежною безпекою [50].

Отже, приміщення будівель, що підлягають модернізації, за вибухонебезпечною та пожежонебезпечною відноситься до категорії Д – речовини і/або матеріали, що зазначені вище для категорій приміщень В (крім горючих газів, горючих пилу і/або волокон), а також негорючі речовини і/або матеріали в холодному стані (за температури навколишнього середовища), за умов, що приміщення, в яких знаходяться (зберігаються, переробляються, транспортуються) зазначені вище речовини і/або матеріали, не відносяться до категорій А, Б або В; з зонами П-III (місця, де зберігаються тверді горючі речовини).

Пожежо- вибухонебезпечність речовин і матеріалів – сукупність властивостей, що характеризують їхню здатність до виникнення і поширення горіння. Наслідком горіння, залежно від його швидкості та умов протікання, можуть бути пожежа або вибух. Пожежо- вибухонебезпечність речовин і матеріалів визначають показниками, вибір яких залежить від агрегатного стану речовини (матеріалу), та умов їхнього застосування.

Будівлі, що підлягають реконструкції, характеризується III та IIIa ступенями вогнестійкості.

До III ступеня вогнестійкості відносяться будинки з несучими та огорожувальними конструкціями з природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону, залізобетону. Для перекриттів дозволяється застосовувати дерев'яні конструкції, захищені штукатуркою або негорючими листовими, плитними матеріалами, або матеріалами груп горючості Г1 (низької горючості), Г2 (помірної горючості). До елементів покриттів не висуваються вимоги щодо межі вогнестійкості, поширення вогню, при цьому елементи горищного покриття з деревини повинні мати вогнезахисну обробку; а до IIIa ступеня вогнестійкості відносяться будинки переважно з каркасною конструктивною схемою. Елементи каркаса – з металевих незахищених конструкцій. Огорожувальні конструкції – з металевих профільованих листів або інших негорючих листових матеріалів з негорючим утеплювачем або утеплювачем груп горючості Г1 (низької горючості), Г2 (помірної горючості).

Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвиликах) та максимальні межі поширення вогню по них (см) за ДБН В.1.1.7-2016 [51] наведено в табл. 5.6.

Межі вогнестійкості самонесучих стін, які враховуються в розрахунках жорсткості та стійкості будинку, приймають, як для несучих стін. Будівельні конструкції класифікують за вогнестійкістю та здатністю поширювати вогонь. Показником вогнестійкості є межа вогнестійкості конструкції, що визначається часом (у хвиликах) від початку вогневого випробування за стандартним температурним режимом до настання одного з граничних станів конструкції: втрати несучої спроможності (R); втрати цілісності (E); втрати

тепло та ізолювальної спроможності (I).

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

Ступінь вогнестійкості будинків	Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвиликах) і максимальні межі поширення вогню по них (см)								
	стіни				колони	сходові площадки, кос-тури, сходи, балки, марші сходових кліток	перекриття міжповерхові (у т.ч. горючі та над підвалами)	елементи суміщених покриттів	
	несучі та сходових кліток	самонесучі	зовнішні ненесучі	внутрішні ненесучі (перегородки)				плити, настили, прогони	балки, ферми, арки, рами
III	REI 120 M0	REI 60 M0	E 15 M0, E 30, M1	EI 15 M1	R 120 M0	R 60 M0	REI 45 M1	Не нормується	
IIIa	REI 60 M0	REI 30 M0	E 15 M1	EI 15 M1	R 15 M0	R 60 M0	REI 15 M0	RE 15 M1	R 15 M0

Протипожежні перешкоди і мінімальні межі їх вогнестійкості за ДБН В.1.1.7-2016 [51] наведено в табл. 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	4	REI 15	3	2

Протипожежні відстані між житловими, громадськими, адміністративно-побутовими будинками промислових підприємств, гаражами слід приймати за табл. 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 табл.5.8 (знаменник) [51].

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
III	8/9	8/12	10/15
IIIa	10/12	10/15	15/18

Будинки адміністративного та побутового призначення та громадські будинки, в тому числі підприємства торгівлі, на кожному поверсі повинні мати не менше двох переносних (порошкових, водопінних або водяних) вогнегасників з масою заряду вогнегасної речовини 5 кг і більше, зокрема ВП-5 (ВВП-5), а в разі площі поверху більше 100 м² кількість вогнегасників приймаються з розрахунку 1 кг вогнегасної речовини на кожні 10 м² площі підлоги [52]. Відтак, приймаємо до встановлення на території котельної 6 вогнегасників ВВП-8 (ВП-5) і 5 газових вогнегасників ВВК-7 [52].

ВИСНОВКИ

В бакалаврській кваліфікаційній роботі розглянута проблема підвищення надійності та енергоефективності роботи водогрійної котельні у місті Могилів-Подільський.

Проаналізовано теплова схема котельні, склад обладнання, виконані розрахунки теплової схеми в різних режимах роботи. Виявлено, що для максимального режиму витрата палива складає $0,454 \text{ м}^3/\text{с}$, а для середнього опалювального - $0,247 \text{ м}^3/\text{с}$. Перевірена відповідність встановленого основного та допоміжного обладнання котельні, а саме водогрійних котлів, мережних насосів, насосу сирової води, рециркуляційних та підживлювальних насосів. Також перевірені основні трубопроводи котельні. Виявлено, що встановленого обладнання достатньо для роботи котельні у визначених режимах з резервом. Встановлена потужність електричних власних потреб котельні в максимальному режимі 104 кВт .

Розглянуто 4 варіанти модернізації котельні, в тому числі із встановленням сонячних батарей, твердопаливного теплогенератора на паливних гранулах з біомаси, теплонасосної установки «повітря-вода», когенераційної установки. Для проведення техніко-економічного обґрунтування шляхів модернізації обрано три найбільш раціональні варіанти модернізації котельні. В результаті розрахунків основних техніко-економічних показників обраних варіантів виявлено, що найменшу собівартість теплоти мають варіант з когенераційною установкою для забезпечення власних потреб в електричній енергії $772,2 \text{ грн/ГДж}$ та варіант з встановленням твердопаливного котла на біомасових гранулах $772,4 \text{ грн/ГДж}$. Варіант із встановленням теплонасосної установки «повітря-вода» не окупується в зв'язку із високою вартістю електричної енергії. Крім того, впровадження газопоршневої когенераційної установки GenTec KE-MNG140 есо на базі газопоршневого двигуна на водогрійній опалювальній котельні є актуальним для сьогодення, оскільки дозво-

ляє досягти підвищення надійності, енергетичної, екологічної та економічної ефективності енерговиробництва.

В роботі спроектовано пластинчастий теплообмінник потужністю 200 кВт, який використовується для підігріву води на гаряче водопостачання, причому холодна вода нагрівається від 10°C до 55°C , а гаряча вода охолоджується від 95°C до 70°C .

В тепловому розрахунку теплообмінника було визначено необхідну площу поверхні нагріву апарату, яка склала $0,892\text{ м}^2$. Для встановлення обрано пластини ТР-1 з площею поверхні $0,025\text{ м}^2$ по одному пакету пластин по грійному теплоносію і по нагрівному теплоносію. Необхідна кількість пластин склала 39 шт.

З гідравлічного розрахунку виявлено, що втрати тиску грійної води склали 4477 Па, а нагріваної води склали 1293 Па, відповідно необхідні потужності на прокачування склали 13,5 Вт та 2,06 Вт. Товщина шару ізоляції складає 65 мм, при цьому тепловтрати через стінку теплообмінника не перевищують нормативні 30 Вт/м^2 .

В роботі розроблено технологію монтажу пластинчастого теплообмінника потужністю 200 кВт. Визначено, що маса основного обладнання і матеріалів складає 283,89 кг, а допоміжного – 65,85 кг. Також визначено склад і об'єми робіт, потребу в машинах і механізмах. Вибрано допоміжне обладнання для монтажу системи. Загальна маса обладнання – 154,25 кг.

В підрозділі «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях» розглянуто небезпечні виробничі фактори та технічні рішення з безпечної організації робочих місць під час монтажу обладнання. Проаналізовано показники мікроклімату в приміщеннях, вібрації, психофізіологічні фактори. Розроблені технічні рішення з пожежної безпеки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Степанов Д.В., Скородзієвська Л.В., Малай Д.О. Оцінка ефективності когенераційної установки на базі опалювальної котельні //Доповідь на Науково-технічній конференції факультету будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінниця, 2025. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2025/paper/view/23585/19563> (Дата звертання 05.06.2025)
2. Ткаченко С. Й. , Чепурний М. М. , Степанов Д. В. Розрахунки теплових схем і основи проектування джерел теплопостачання. Вінниця: ВНТУ, 2005. 137с.
3. Основи проектування промислових та опалювальних котелень. Курсове проектування / Под. ред. Боженко М. Ф. Київ: Вища школа, 1992. 280с.
4. Каталог насосів для води. URL: <https://ukrnasosprom.com.ua/ua/>. (Дата звертання 05.06.2025)
5. Шилов Е.Й., Гойко А.Ф., Ізмайлова Е. В. Складання кошторисної документації за допомогою укрупнених показників: Навч. Посібник. Київ: КНУБА, 2001. 127 с.
6. Лялюк О. Г. Економіка енергетики : практикум. Вінниця: ВНТУ, 2009. 118 с.
7. Варламов Г.Б., Любчик Г. М., Маляренко В. А. Теплоенергетичні установки та екологічні аспекти виробництва енергії. Київ: Політехніка, 2003. 232 с.
8. Степанов Д. В., Боднар Л. А. Енергетична та екологічна ефективність водогрійних котлів малої потужності. Монографія. Вінниця: ВНТУ, 2011. 148 с.
9. Мокляк В.Ф. Теплонасосні установки в харчовій та інших галузях. Серія навчально-методичних матеріалів. URL: http://www.reee.org.ua/download/trainings/%D0%A2%D0%9C_12.pdf (дата звернення 05.06.2025)
10. Енергетична стратегія України до 2035 року: «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/>

laws/show/605-2017-%D1%80#Text (дата звернення 05.06.2025).

11. Когенераційні установки GenTec. Технічні характеристики. URL: <https://gentec.cz/en/palivo/natural-gas/?p=p50-999-kwe-en> (дата звернення 05.06.2025)

12. Когенераційні технології в малій енергетиці : монографія / В. А. Мальяренко, О. Л. Шубенко, С. Ю. Андрєєв, М. Ю. Бабак, О. В. Сенецький / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова, Ін-т проблем машинобуд. ім. А. М. Підгорного. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. 454 с.

13. Степанов Д.В., Резидент Н.В. Ефективність газопоршневих когенераційних установок в системах централізованого теплопостачання. //Вісник Вінницького політехнічного інституту. №2. 2023, с. 36–41.

14. Тарасюк В.М. Експлуатація котлів. Настільна книга для операторів котелень. Київ: Основа, 2001. 288 с.

15. Співак О. Ю., Резидент Н. В. Тепломасообмін. Частина I : навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2021. 113 с

16. Степанова Н.Д., Степанов Д. В. Теплові мережі. Навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2009. 135 с.

17. Чепурний М. М., Ткаченко С. Й. Розрахунки тепломасообмінних апаратів. Вінниця: ВНТУ, 2001. 130 с.

18. Співак О. Ю., Резидент Н. В. Тепломасообмін. Частина II : електронний навчальний посібник комбінованого (локального та мережного) використання [Електронний ресурс]. Вінниця : ВНТУ, 2022. 95 с.

19. Пішенін В. О., Пішеніна Н. В. Основи конструювання: навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2010. 87 с.

20. Конструювання та технологія виробництва техніки реєстрації інформації: У 3-х кн. Кн. 2. Основи конструювання: Навч. посібн. / Є. М. Травніков, В. С. Лазебний, Г. Г. Власюк, В. В. Пілінський, В. М. Співак, В. Б. Швайченко. За загальною редакцією В. С. Лазебного Київ: «КАФЕДРА», 2015. 283 с.

21. ДСТУ 3008 :2015 Звіти у сфері науки і техніки. Структура та прави-

ла офо-рмлення. Київ : УкрНДЦ, 2016. 26 с.

22. ДСТУ 8943:2019. Труби сталеві електрозварні. Технічні умови. URL : http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=86389. (дата звернення: 05.06.2025 р.)

23. ДСТУ Б А.2.4-4: 2009 Основні вимоги до проектної та робочої документації [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу : https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_b_a_2_4_4_2009/5-1-0-781 (дата звернення: 05.06.2025 р.)

24. Теплообмінні апарати ТТАИ. URL: <https://www.ths.com.ua/equipment/heat-exchange%20equipment/ttai.htm>. (дата звернення: 05.06.2025 р.)

25. Насос K20/30. URL: <https://konsolnik.com.ua/uk/nasosy-konsolni-k-km/nasos-k20-30/> (дата звернення: 05.06.2025 р.)

26. Кошторисні норми України. Ресурсні елементні кошторисні норми на ремонтно-будівельні роботи. Збірники 15. Внутрішні санітарно-технічні роботи. Чинний від 2023-02-07. Київ: Мінрегіон України, 2021. 143 с. URL: <https://e-construction.gov.ua/files/upload/725f1280-5274-11ec-aebf-af65aba18177.pdf> (дата звернення: 05.06.2025 р.).

27. Кошторисні норми України. Ресурсні елементні кошторисні норми на монтаж устаткування. Збірник 12. Технологічні трубопроводи. Чинний від 2023-02-07. Київ: Мінрегіон України, 2021. 406 с. URL: <https://e-construction.gov.ua/files/upload/2022-12-28/503fe171-e113-488b-8d73-9fcce5e9de05.pdf> (дата звернення: 05.06.2025 р.).

28. Кошторисні норми України. Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. Теплоізоляційні роботи (Збірник 26). - [Чинний від 2022-01-01]. – Київ : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2016. 83 с. URL: <https://e-construction.gov.ua/files/upload/2022-11-05/471a6f20-68a8-41de-a118-abb6654bd31a.pdf> (дата звернення: 05.06.2025 р.)

29. Кошторисні норми України. Ресурсні елементні кошторисні норми на

бу-дівельні роботи. Збірник 16. Трубопроводи внутрішні. Чинний від 2023-02-07. Київ: Мінрегіон України, 2021. 85 с. URL: <https://e-construction.gov.ua/files/upload/2022-11-05/4d976ef6-1cd6-4c4c-ada6-a5ca8f1999d4.pdf> (дата звернення: 05.06.2025).

30. Mercedes-Benz Sprinter 3т Фургон 313 CDI. URL: <https://auto.online.ua/catalog/commercial-cars/mercedes-benz/sprinter/sprinter-3t-furgon/54945/>. (дата звернення: 05.06.2025 р.)

31. Зварювальний напівавтомат Vitals Professional MIG 2000 Digital LCD. URL: <https://svarmax.com.ua/ua/svarochnyj-apparat-vitals-professional-mig-2000-digital-lcd> (дата звернення: 05.06.2025 р.)

32. КШМ (болгарка) Vitals Master Ls1818HLs. URL: <https://vitals.ua/elektroinstrument/uglovyye-shlifmashiny/vitals-master-ls1818hls> (дата звернення: 05.06.2025 р.)

33. Електричний насос для опресування мод. НОЕ 100-3. URL: <https://interprom.com.ua/ua/p92992637-elektricheskij-nasos-dlya.html>. (дата звернення: 05.06.2025 р.)

34. Візок гідравлічний Niuli AC 2.5T 2000MM. URL: <https://vizok.net.ua/catalog/rokla/telezhka-gidravlicheskaya-niuli-cby-ac-2-5t-2000mm.html>. (дата звернення: 05.06.2025 р.)

35. Каталог будівельних машин і інструментів [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: <http://powertools.co.nz>. (дата звернення: 05.06.2025 р.)

36. Гусев А.М. Охорона праці: навчальний посібник Київ: Видавництво Європейського університету, 2006. 283 с.

37. 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 звернення: 05.06.2025 р.)

38. 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 звернення: 05.06.2025 р.)

39. 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.

40. 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.

41. 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 звернення: 05.06.2025 р.)

42. 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 звернення: 05.06.2025 р.)

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

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

45. 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-infravzuku-nor4878.html>. (дата звернення: 05.06.2025 р.)

46. 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 звернення: 05.06.2025 р.)

47. НАПБ А.01.001-14. Правила пожежної безпеки в Україні. [Чинний

від 2021-01-22]. Вид. офіц. К. : МВС України, 2014. 47 с.

48. ДСТУ 8828:2019. Пожежна безпека. Загальні положення. [Чинний від 2020-01-01]. Вид. офіц. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2020. 84 с.

49. 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.

50. 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.

51. 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.

52. 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 звернення: 05.06.2025 р.)

Додаток А
(обов'язковий)

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: Модернізація водогрійної котельні в місті
Могилів-Подільський

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 29,57 %

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

(підпис)

Співак О.Ю.

(прізвище, ініціали)

З висновком експертної комісії ознайомлений(-на)

Керівник

(підпис)

Степанов Д.В.

(прізвище, ініціали, посада)

Здобувач

(підпис)

Малай Д.О.

(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)

71

ПОГОДЖЕНО



Інженер
Засухін В.О.
23 2025 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри теплоенергетики

доц., к.т.н. Д.В. Степанов
« 24 » 03 2025 р.



ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на бакалаврську кваліфікаційну роботу

тема:

«Модернізація водогрійної котельні в місті Могилів-Подільський»

08-15.БКР.007.00.00.000 ТЗ

Керівник к.т.н., доц.

Д.В. Степанов
(підпис)

Розробив студент гр. ТЕ-23мс

Д.О. Малай
(підпис)

Вінниця 2025

1 Тематика розробки та галузі застосування

Розробка стосується комунальної теплоенергетики, а саме джерела централізованого теплопостачання – водогрійної опалювальної котельні. Робота спрямована на підвищення надійності її роботи та збільшення енергоефективності вироблення теплової енергії для централізованого теплопостачання у місті Могилів-Подільський. Підвищення надійності, енергетичний, економічний та екологічний ефекти досягаються шляхом встановлення когенераційної установки на базі газопоршневого двигуна для задоволення власних електричних потреб котельні.

2 Мета та призначення розробки

Метою є підвищення надійності та енергоефективності роботи водогрійної котельні у м. Могилів-Подільський шляхом встановлення когенераційної установки на базі газопоршневого двигуна.

3 Джерела розробки

Первинним джерелом для розробки є характеристики споживачів даної котельні, склад її обладнання, режими роботи, стандарти та нормативи по трубопроводах, теплоізоляції, допоміжному обладнанню, технології монтажу, інші дані наведені в теплоенергетичних джерелах:

1. Степанов, Д.В., Резидент, Н.В. Ефективність газопоршневих когенераційних установок в системах централізованого теплопостачання. //Вісник Вінницького політехнічного інституту. №2. 2023, с. 36–41.
2. Когенераційні технології в малій енергетиці : монографія / В. А. Малярченко, О. Л. Шубенко, С. Ю. Андрєєв, М. Ю. Бабак, О. В. Сенецький / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова, Ін-т проблем машинобуд. ім. А. М. Підгорного. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. 454 с.
3. Ткаченко С. Й. , Чепурний М. М. , Степанов Д. В. Розрахунки теплових схем і основи проектування джерел теплопостачання. Вінниця: ВНТУ, 2005. 137с.

4. Когенераційні установки GenTec. Технічні характеристики. URL: <https://gentec.cz/en/palivo/natural-gas/?p=p50-999-kwe-en> (дата звернення 05.06.2025)

4 Основа для виконання

Робота виконується на основі наказу ректора ВНТУ № 97 від 20.03.2025 р. Основою для розробки є детальний аналіз параметричних та технологічних особливостей даної котельні, режимів її роботи та можливостей впровадження когенераційного обладнання для задоволення власних електричних потреб котельні. Це дозволить підвищити надійність роботи котельні, збільшити її енергоефективність і знизити техногенне навантаження на навколишнє середовище.

5 Технічні вимоги

5.1 Забезпечення централізованих систем опалення та гарячого водопостачання теплотою з визначеними параметрами: потужністю, витратою, температурою, тиском.

5.2 Забезпечення котлів лініями рециркуляції для захисту від низькотемпературної корозії.

5.3 Застосування когенераційної установки для покриття власних електричних потреб котельні. Надлишки електроенергії можуть реалізовуватись стороннім споживачам.

5.4 Розробити техніко-економічне обґрунтування вибору шляхів модернізації котельні, використовуючи дані про сучасні енерготехнології та обладнання, спроектувати вискоєфективний пластинчастий теплообмінник для підготовки гарячого водопостачання.

5.5 Розроблення елементів документації для монтажу теплообмінника потужністю 200 кВт для системи гарячого водопостачання

6 Економічні показники

На підставі техніко-економічних розрахунків проаналізувати шляхи модернізації котельні, підібрати основне обладнання, витрати матеріалів та енергоресурсів для виконання монтажних робіт, затрати на обґрунтування, експертизу, пусконаладжувальні роботи та підготовку кадрів, обрати найбільш раціональний варіант.

7 Заходи з енергозбереження

7.1 На трубопроводах систем опалення, холодного і гарячого водопостачання та підживлення необхідно встановити лічильники води та теплової енергії.

7.2 Необхідно виконати теплоізоляцію всіх трубопроводів котельні згідно вимог нормативних документів.

7.3 Використовувати автоматичне регулювання головних параметрів роботи системи, а саме відпуск електричної енергії, теплоти на опалення та гаряче водопостачання, підтримання визначеного температурного режиму теплової мережі із погодним центральним якісним регулюванням.

7.4 Організувати роботу когенераційної установки з максимально можливим енергетичним ефектом, максимальним використання теплоти від двигуна в тепловій мережі та мінімальними викидами в атмосферу шкідливих речовин.

7.5 Використовувати насосне обладнання з регулюванням кількості обертів

8 Вимоги до стандартизації та уніфікації

Щоб забезпечити можливість швидкого монтажу та можливість ремонту чи заміни деталей та вузлів обладнання системи, вони повинні бути по можливості стандартними та уніфікованими.

9 Вимоги з надійності

На надійність та довговічність обладнання когенераційної установки та котельні в цілому впливають якість проекту, якість монтажу та якість обслуговування. Параметри показників надійності та безпечності встановлюють у відповідних державних стандартах, нормативах, Правилах.

10 Стадії і етапи розробки

- аналіз та розрахунок теплової схеми водогрійної котельні;
- багатоваріантний аналіз та техніко-економічне обґрунтування шляхів модернізації котельні;
- розробка пластинчастого теплообмінника потужністю 200 кВт;
- розробка технології монтажу теплообмінника потужністю 200 кВт;
- розробка заходів з охорони праці.
- перевірка на плагіат. Нормоконтроль.

11 Порядок контролю і прийому розробки

Контроль за виконанням розробки здійснює дипломний керівник відповідно встановленим термінам. Прийом розробки відбувається на попередньому і заключному етапах захисту за участі екзаменаційної комісії.

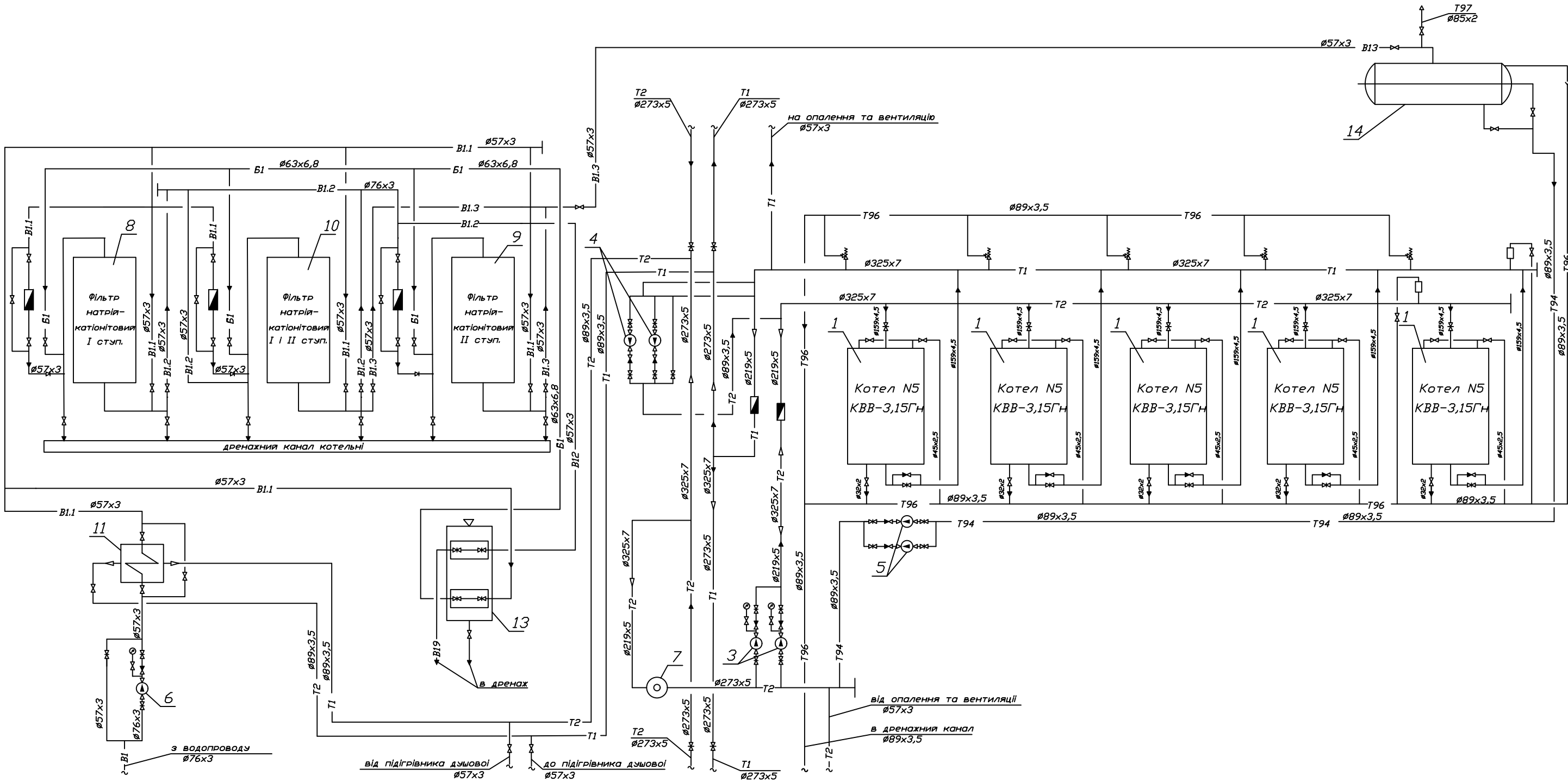
ДОДАТОК В (обов'язковий)

ГРАФІЧНА ЧАСТИНА

«Модернізація водогрійної котельні в місті Могилів-Подільський»

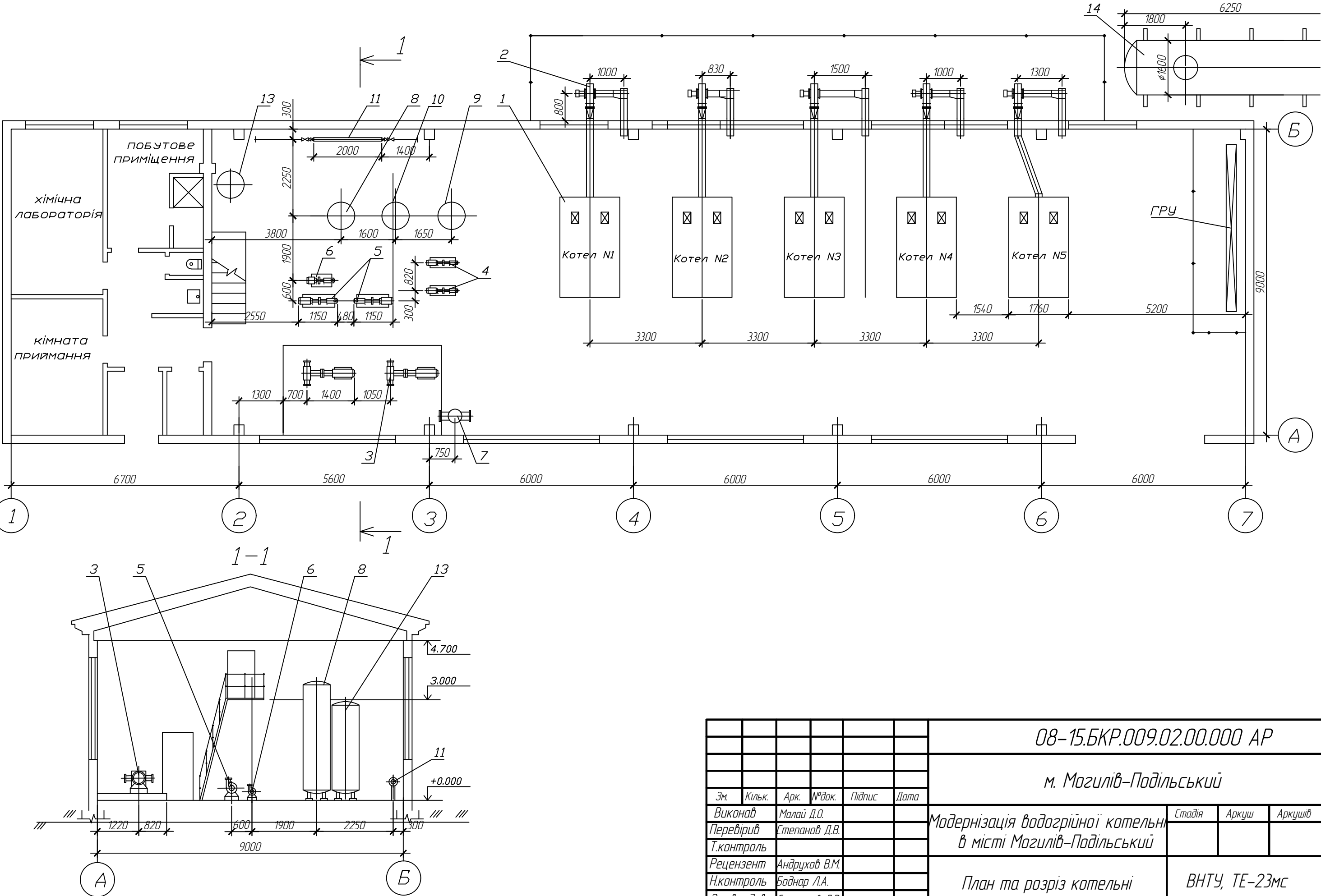
[illegible]

Погоджено:					
Замість Інв. N					
Підпис і дата					
Інв. N ориг.					



[illegible]

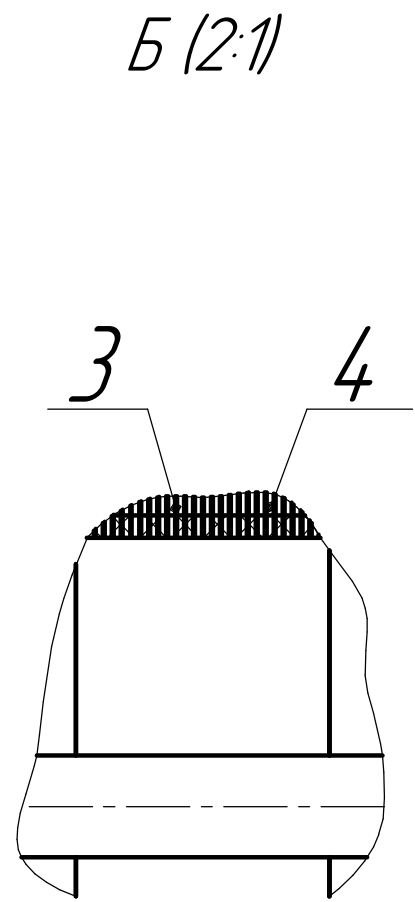
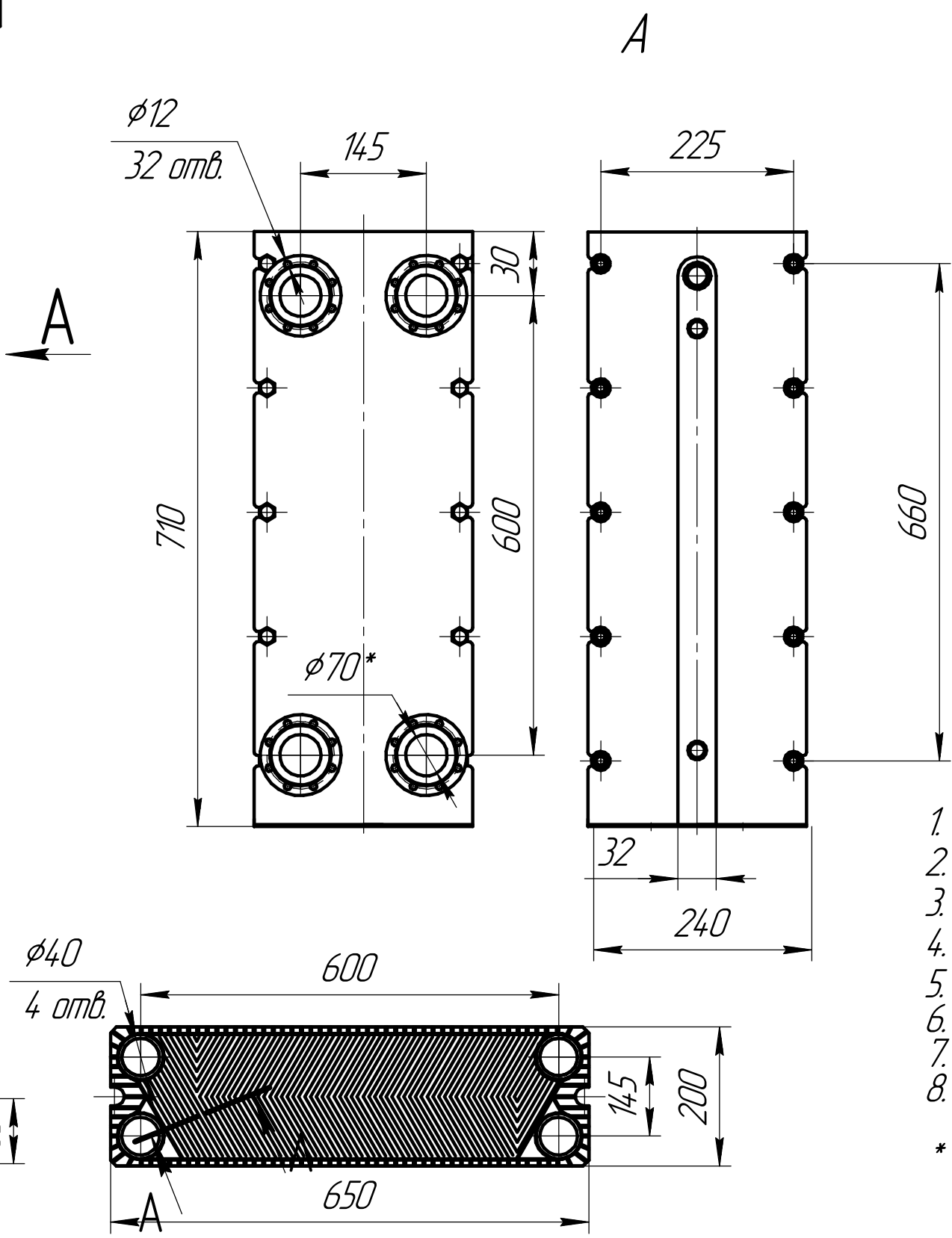
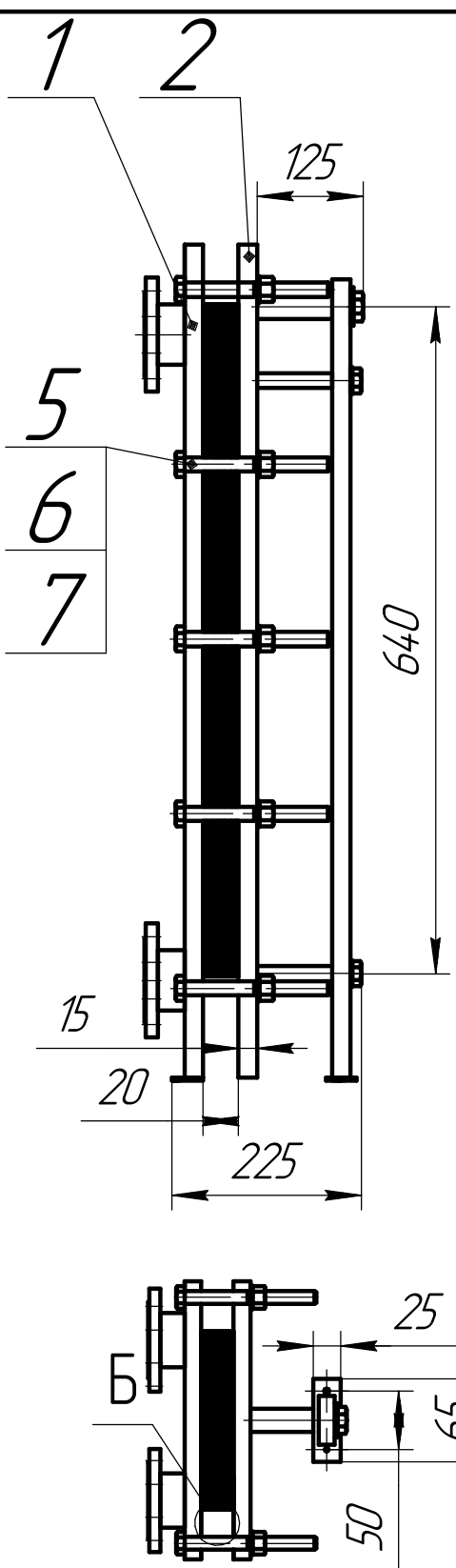
Погоджено:					
Замість Інв. N					
Підпис і дата					
Інв. N ориг.					



						08-15.БКР.009.02.00.000 АР		
						м. Могилів-Подільський		
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата	Модернізація водогрійної котельні в місті Могилів-Подільський	Стадія	Аркуш
Виконав		Малай Д.О.						
Перевірив		Степанов Д.В.						
Т.контроль								
Рецензент		Андрухов В.М.						
Н.контроль		Боднар Л.А.				План та розріз котельні	ВНТУ, ТЕ-23мс	
Затвердив		Степанов Д.В.						

[illegible]

Перш використ	08-15.БКР.009.03.00.000 СК		
Справ. №			
Підп. і дата			
Взам. і нб. №			
Підп. і дата			
І нб. № ориг			



Технічна характеристика

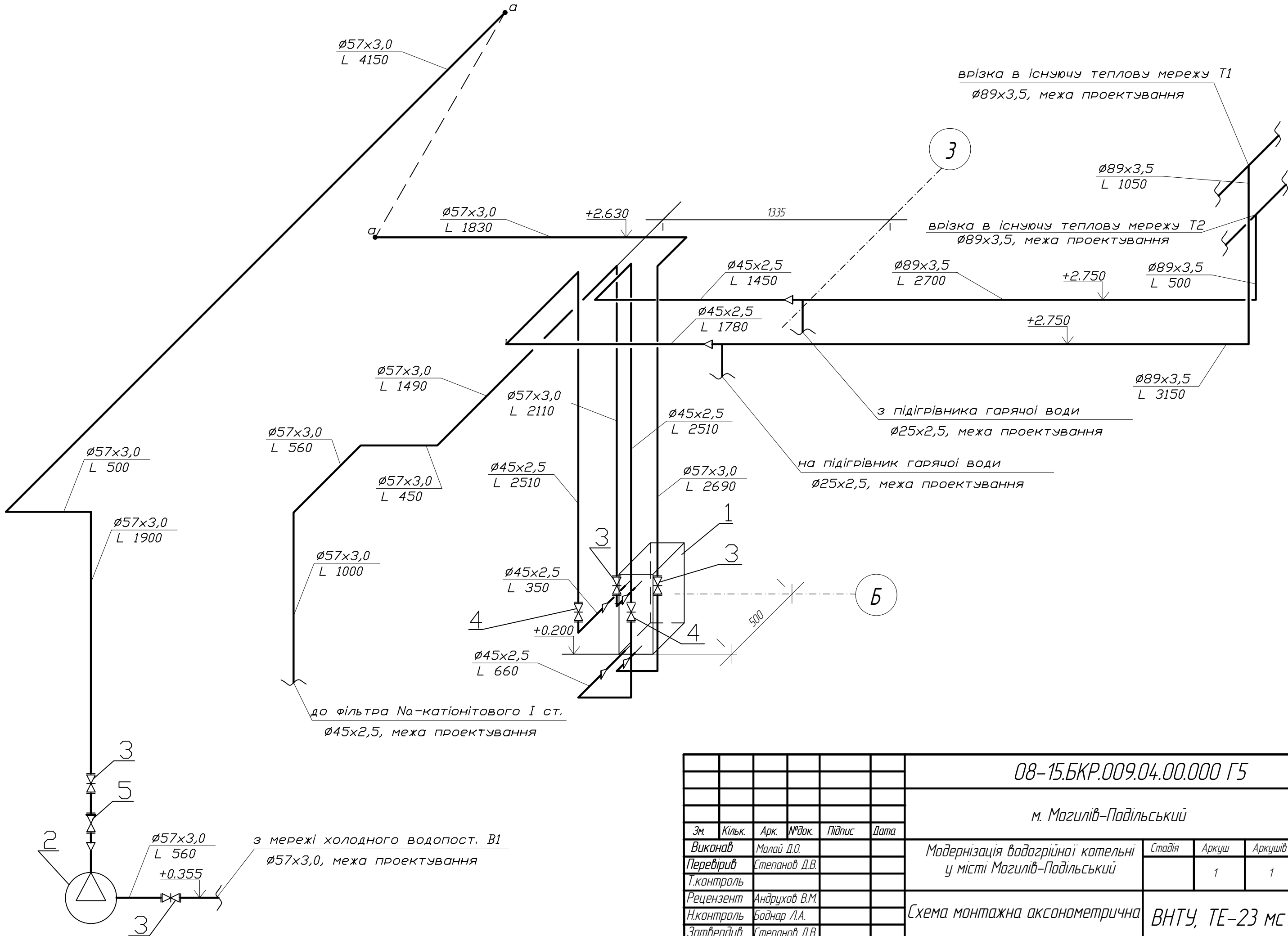
- | | |
|---|----------|
| 1. Початкова температура "гарячого" теплоносія | 95°C |
| 2. Початкова температура "холодного" теплоносія | 10°C |
| 3. Кінцева температура "гарячого" теплоносія | 70°C |
| 4. Кінцева температура "холодного" теплоносія | 55,5°C |
| 5. Площа теплообміну однієї пластини | 0,025 м² |
| 6. Кількість пластин в теплообміннику | 39 шт. |
| 7. Товщина пластин теплообмінника | 0,5 мм |
| 8. Теплова потужність теплообмінника | 200 кВт |

* Розміри для довідок

08-15.БКР.009.03.00.000 СК				Літ. Маса Масштаб		
Зм. Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Теплообмінник пластинчастий складальне креслення		
Розроб.	Малай Д.О.					
Перевір.	Степанов Д.В.			Аркцш Аркцшів		
Т.контр.						
Рецензент	Андріхов В.М.			ВНТУ зр.ТЕ-23мс		
Н.контр.	Боднар Л.А.					
Затверд.	Степанов Д.В.			Копіював Формат А3		

Перв. з'явл.	Познач.	Найменування			Кіль- кість	Примітки	
	1	Теплообмінник пластинчастий 200 кВт			1		
	2	Насос сирої води К 20/30			1		
	3	Засувка типу «Баттерфляй» Vitech Dy50			4		
	4	Засувка типу «Баттерфляй» Vitech Dy40			2		
Додатк. №	5	Клапан зворотний Walver Dy50			1		
Підп. і дата							
Інв. № ауд.							
На зам. інв.							
Підп. і дата							
Інв. № орг.	08-15.БКР.009.04.00.000						
	Зм.	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		
	Розроб.	Малай Д.О.					
	Перев.	Степанов Д.В.					
	Рецензент	Андрухов В.М.					
	Н.контр.	Боднар Л.А.					
	Затв.	Степанов Д.В.					
Схема					Літ.	Аркуш	Аркушів
МОНТАЖНА АКСОНОМЕТРИЧНА						1	1
					ВНТУ зр. ТЕ-23мс		

Погоджено:					
Замість Інв. N					
Підпис і дата					
Інв. N ориг.					



						08-15.BKP.009.04.00.000 Г5		
						м. Могилів-Подільський		
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата	Модернізація водогрійної котельні у місті Могилів-Подільський	Стадія	Аркуш
Виконав		Малай Д.О.						Аркушів
Перевірив		Степанов Д.В.						1
Т.контроль								1
Рецензент		Андрухов В.М.						
Н.контроль		Боднар Л.А.				Схема монтажна аксонометрична	ВНТУ, ТЕ-23 мс	
Затвердив		Степанов Д.В.						