

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

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«Підвищення енергоефективності котельні комунального підприємства
 «Вінницяоблтеплоенерго» Теплоенергетична частина».

Виконав: студент 2 курсу, групи ТЕ-23мс

Спеціальності 144-теплоенергетика

(шифр і назва спеціальності)

Ільченко Д.П.

(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доцент кафедри ТЕ

16.06 Степанов Д.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент: к.т.н., доцент каф. БМГА

В.М. Андрухов В.М.

(прізвище та ініціали)

“ ” 2025 року

Допущено до захисту

Зав. кафедри ТЕ

К.Т.Н., доц. Степанов Д.В.

(прізвище та ініціали)

«17» 06 2025 р.

Вінниця – 2025 рік

Вінницький національний технічний університет

Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії
 Кафедра теплоенергетики
 Рівень вищої освіти I (бакалаврський)
 Галузь знань 14-електрична інженерія
 Спеціальність 144-теплоенергетика
 Освітньо-професійна програма Теплоенергетика

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідуюча кафедри ТЕ

Дмитро СТЕПАНОВ

2025 р.

ЗАВДАННЯ

НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Гльченко Дмитру Петровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Підвищення енергоефективності котельні комунального підприємства «Вінницяоблтеплоенерго» Теплоенергетична частина».

керівник роботи Степанов Д.В., к.т.н., доцент,

(прізвище, ініціали, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу 20.03.2025 р. №97

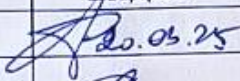
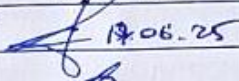
2. Строк подання студентом роботи 13 червня 2025 року.

3. Вихідні дані до роботи: два твердопаливні агрегати BRS 2500 LM потужністю 2,5 МВт; два газоспалювальні котли ARS 2000 BMT потужністю 2 МВт; потужність теплообмінника $Q_T = 400$ кВт; температура нагрівної води на вході в теплообмінник $t'_2 = 10$ °С; витрата нагрівної води в теплообміннику $G_2 = 2,10$ кг/с; температура грійної води на вході $t'_1 = 90$ °С; температура грійної води на виході $t''_1 = 70$ °С.

4. Зміст текстової частини: аналіз і розрахунок існуючої теплової схеми котельні, багатоваріантний аналіз заходів підвищення енергоефективності котельні, техніко-економічне обґрунтування заходів підвищення енергоефективності котельні, розробка пластинчастого теплообмінника та технології його монтажу, охорона праці

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

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділи 1-4	Степанов Д.В., зав.каф. ТЕ	 20.03.25	 19.06.25
Охорона праці	Кобилянська І.М. к.т.н., доц. каф. БЖДІБ		
Нормоконтроль	Боднар Л.А. к.т.н., доц. каф. ТЕ		

7. Дата видачі завдання 21.03.25 р.

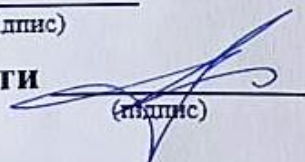
КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів БКР	Строк виконання етапів БКР	Примітка
1	Аналіз і розрахунок існуючої теплової схеми котельні	21.03.2025- 31.03.2025	вик.
2	Багатоваріантний аналіз заходів підвищення енергоефективності котельні	01.04.2025- 23.04.2025	вик.
3	Техніко-економічне обґрунтування заходів підвищення енергоефективності котельні	26.04.2025- 06.05.2025	вик.
4	Математичне моделювання пластинчастого теплообмінника	09.05.2025- 20.05.2025	вик.
5	Охорона праці	21.05.2025- 30.05.2025	вик.
6	Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу	02.06.2025- 05.06.2025	вик.
7	Перевірка на плагіат. Нормокотроль		

Студент


(підпис)

Керівник роботи


(підпис)

Ільченко Д. П.

(прізвище та ініціали)

Степанов Д. В.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

УДК 621.1

Ільченко Д.П. Підвищення енергоефективності котельні комунального підприємства «Вінницяоблтеплоенерго». Теплоенергетична частина. Бакалаврська дипломна робота зі спеціальності 144-Теплоенергетика, освітня програма-Теплоенергетика. Вінниця: ВНТУ, 2025. 66 с.

Бібліогр.: 31 назв; табл. 12; рисунки 1.

У бакалаврській кваліфікаційній роботі розглянуто питання підвищення енергоефективності котельні комунального підприємства «Вінницяоблтеплоенерго» в умовах зростання цін на енергоресурси, дефіциту палива та необхідності зниження негативного впливу на довкілля.

Проведено аналіз існуючої теплової схеми котельні, виконано її розрахунки для різних режимів роботи. Запропоновано багатоваріантний аналіз заходів з підвищення енергоефективності, зокрема впровадження конденсаційних теплообмінників, використання теплових насосів, сонячних колекторів та електронагрівників.

Оцінено технічні, економічні та екологічні показники кожного варіанту. Проведено математичне моделювання пластинчастого теплообмінника, розроблено рекомендації щодо практичного впровадження сучасних енергозберігаючих технологій.

Окрема увага приділена питанням охорони праці, гігієни виробничого середовища та пожежної безпеки при впровадженні нових рішень. Робота містить техніко-економічне обґрунтування запропонованих заходів та рекомендації для підвищення енергоефективності й зниження витрат підприємства

ABSTRACT

UDC 621.1

Ilchenko D.P. "Improving the energy efficiency of the boiler house of the communal enterprise "Vinnytsiaoblteploenergo". Heat and power part". Bachelor's thesis in the specialty 144-Thermal power engineering, educational program-Thermal power engineering. Vinnytsia: VNTU, 2025.

Pages 66; Bibliography: 31 titles; Table 12; Figures 1.

The bachelor's thesis considers the issue of improving the energy efficiency of the boiler house of the utility company Vinnytsiaoblteploenergo in the context of rising energy prices, fuel shortages and the need to reduce the negative impact on the environment.

The existing thermal scheme of the boiler house was analyzed, and its calculations were performed for different operating modes. A multivariate analysis of energy efficiency measures is proposed, including the introduction of condensing heat exchangers, the use of heat pumps, solar collectors, and electric heaters.

The technical, economic and environmental indicators of each option are evaluated. The mathematical modeling of the plate heat exchanger was carried out, and recommendations for the practical implementation of modern energy-saving technologies were developed.

Special attention is paid to the issues of labor protection, hygiene of the production environment and fire safety when implementing new solutions. The paper contains a feasibility study of the proposed measures and recommendations for improving energy efficiency and reducing enterprise costs.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
1 АНАЛІЗ І РОЗРАХУНОК ІСНУЮЧОЇ ТЕПЛОВОЇ СХЕМИ КОТЕЛЬНОЇ.....	5
1.1 Аналіз теплової схеми котельні.....	5
1.2 Розрахунок теплової схеми для максимально-опалювального режиму.....	7
1.3 Розрахунок теплової схеми для середньо-опалювального режиму.....	14
1.4 Техніко-економічні показники роботи котельні.....	18
2 БАГАТОВАРІАНТНИЙ АНАЛІЗ ЗАХОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ КОТЕЛЬНОЇ	21
2.1 Характеристика системи від котельні.....	21
2.2 Характеристика системи з використанням теплового насосу.....	22
2.3 Характеристика системи з сонячними колекторами.....	22
2.4 Характеристика системи з електронагрівниками.....	23
3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ЗАХОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ КОТЕЛЬНОЇ.....	24
3.1 Технічні показники систем.....	24
3.2 Економічні показники систем.....	26
3.3 Екологічні аспекти та вплив на довкілля.....	27
4 РОЗРОБКА ПЛАСТИНЧАСТОГО ТЕПЛООБМІННИКА ТА ТЕХНОЛОГІЇ ЙОГО МОНТАЖУ.....	30
4.1 Тепловий розрахунок пластинчастого теплообмінника.....	30
4.2 Конструктивний розрахунок теплообмінника.....	36
4.3 Гідравлічний розрахунок пластинчастого водонагрівача.....	38
4.4 Розрахунок товщини теплоізоляції теплообмінного апарату.....	40
4.5 Математичне моделювання.....	42
4.6 Вибір комплектуючих та методи виконання монтажних робіт.....	44
5 ОХОРОНА ПРАЦІ	50
5.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта	50
5.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії	54
5.3 Пожежна безпека	58

ВИСНОВКИ	62
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	64
Додаток А (обов'язковий) Протокол перевірки БКР на наявність текстових запозичень	69
Додаток Б (обов'язковий) Технічне завдання	70
Додаток В (обов'язковий) Графічна частина.....	73

ВСТУП

З огляду на стрімке зростання вартості енергоресурсів, дефіцит паливно-енергетичних ресурсів та необхідність підвищення енергоефективності в Україні, питання оптимізації споживання енергії у комунальній теплоенергетиці набуває особливої актуальності. В умовах обмежених запасів викопного палива, постійного підвищення його ціни та загострення екологічних проблем, впровадження сучасних енергозберігаючих технологій стає ключовим чинником забезпечення стабільного функціонування та розвитку теплогенеруючих підприємств.

Комунальне підприємство "Вінницяоблтеплоенерго" є одним із провідних постачальників теплової енергії для житлових, громадських та промислових об'єктів регіону. Забезпечення стабільного, економічно вигідного та екологічно безпечного теплозабезпечення споживачів вимагає впровадження інноваційних рішень, спрямованих на зменшення споживання природного газу, підвищення енергоефективності котелень та зниження негативного впливу на довкілля.

Одним із перспективних напрямів підвищення енергоефективності є використання конденсаційних теплообмінників для утилізації теплоти відпрацьованих сушильних агентів та димових газів. Принцип їхньої роботи полягає у використанні процесу конденсації парової фази, що дозволяє повернути значну частину раніше втраченого тепла у технологічний цикл. Це сприяє зменшенню витрат палива, зниженню викидів CO₂ та підвищенню загальної енергоефективності виробничих процесів.

Водночас, зростання обсягів органічних відходів у результаті промислової та сільськогосподарської діяльності відкриває додаткові можливості для впровадження альтернативних джерел енергії, зокрема біомаси, що дозволяє зменшити залежність від імпортованого газу та покращити екологічну ситуацію в регіоні.

Метою даної кваліфікаційної роботи є розробка та техніко-економічне обґрунтування заходів з підвищення енергоефективності котельні комунального підприємства "Вінницяоблтеплоенерго" шляхом впровадження сучасних теплоенергетичних технологій, зокрема конденсаційних теплообмінників та

використання відновлюваних джерел енергії. У роботі буде проведено аналіз існуючого стану системи теплопостачання, розглянуто технічні, економічні та екологічні аспекти впровадження запропонованих рішень, а також надано рекомендації щодо їх практичного застосування для підвищення енергоефективності та зниження витрат підприємства.

Завдання бакалаврської кваліфікаційної роботи:

- виконати аналіз показників роботи котельні за існуючою тепловою схемою;
- обґрунтувати вибраний варіант покращення енергоефективності котельні;
- виконати розрахунки теплової схеми котельні після покращення;
- виконати тепловий, конструктивний та гідромеханічний розрахунки пластинчастого теплообмінника системи гарячого водопостачання;
- розробити технологію монтажу системи підготовки гарячої води;
- розробити заходи з охорони праці.

1 АНАЛІЗ І РОЗРАХУНОК ІСНУЮЧОЇ ТЕПЛОВОЇ СХЕМИ КОТЕЛЬНОЇ

1.1 Аналіз теплової схеми котельні

Проектована водогрійна котельна установка розроблена на основі розрахунку теплових навантажень для забезпечення опалення та підготовки гарячої води з використанням високотемпературної води як робочого середовища. Характерною рисою даної теплогенеруючої установки є періодичний режим функціонування, оскільки експлуатація здійснюється виключно в опалювальний період для покриття теплових потреб будівель. Загальна тепла потужність об'єктів опалення становить 3,8 МВт.

Теплогенеруюча установка розрахована на експлуатацію із замкнутими водяними опалювальними мережами та включає два твердопаливні агрегати BRS 2500 LM з номінальною потужністю по 2,5 МВт кожен та два газоспалювальні котли ARS 2000 BMT потужністю по 2 МВт кожен. Коефіцієнт корисної дії теплогенераторів згідно технічної документації досягає 92% при умові інсталяції циклонних теплоутилізаторів. Номінальний тиск у гідравлічній системі дорівнює 0,3 МПа, робоча температура теплоносія 95 °С, температура відхідних газів твердопаливних агрегатів 160 °С.

Комплекс допоміжного устаткування котельної включає встановлене на основі котельного приміщення або інтегроване в трубопровідні магістралі обладнання, сполучене технологічними комунікаціями, що гарантує автоматизовану та безаварійну експлуатацію теплогенеруючої установки відповідно до технічних умов ТУ У 25.2-38718237-001:2014: установка підготовки води, насосні агрегати, компенсаційна мембранна ємність та резервуар для акумулювання обробленої води.

Система водопідготовки розроблена для знесолення холодної водопровідної води, що застосовується для первинного заповнення та поповнення гідравлічної системи опалення, підключеної до котельної.

Насосна установка функціонує для автоматизованого поповнення опалювальної мережі, керування процесом здійснюється через сигнали тиску від

реле. Циркуляційний насос опалювального контуру в комплекті із запірно-регулювальними пристроями та розподільним колектором формують гідравлічний блок, що поставляється після технічного узгодження із Замовником.

Акумулюючий резервуар обробленої води забезпечує стабільну роботу котельної за відсутності тиску води в комунально-побутовому водопостачанні або в період відновлення системи водопідготовки. Ємність оснащена інтегрованим поплавковим наповнювальним механізмом, з'єднувальними елементами для переливання, дренажування і приєднання до живильних насосів.

Контрольно-вимірювальна апаратура забезпечує автоматизований безпечний режим роботи котельної. Параметри робочих інтервалів величин, що контролюються КВА, та налаштування спрацювання автоматичних систем мають бути зафіксовані в технічній документації та експлуатаційній карті, підготовлених фахівцями організації, що здійснює пускові та налагоджувальні операції і схвалені відповідно до встановленого регламенту.

Кожен теплогенератор підключається до індивідуальної димовидалювальної конструкції: твердопаливні агрегати з'єднані з цегляною димовою спорудою, а газові підключені до труби, виготовленої з корозійностійкого металу та ізольованої мінеральним теплоізоляційним матеріалом із зовнішньою оболонкою з оцинкованого металу. Нижня секція димовидалювальної конструкції обладнана оглядовим отвором та з'єднувальним елементом для відведення конденсаційної вологи.

Трубопровідні магістралі котельної із змонтованими на них пристроями та устаткуванням пройшли контроль герметичності в повністю зібраному стані в умовах виробництва. Після будь-якого транспортування чи переміщення котельної обов'язковим є здійснення контролю герметичності всіх роз'ємних з'єднань трубопровідних систем та обладнання.

Кожен твердопаливний теплогенератор укомплектований циркуляційними насосами для забору води з акумулюючої ємності. Усі котли оснащені контурами рециркуляції для попередження низькотемпературної корозії чи зниження її активності. У твердопаливних агрегатів контури рециркуляції прокладені через циклонні теплообмінники, здійснюючи при цьому підігрів мережної води перед

поверненням у зворотну магістраль. Температуру води на вході в теплогенератори необхідно підтримувати вище температури конденсації димових газів.

Теплогідравлічна схема забезпечує безперервну циркуляцію води через котел та підтримання температури у зворотній магістралі не нижче встановленої позначки 60 °С. Необхідна температура досягається байпасуванням мережної води з подавальної в зворотну магістраль. Для елімінації повітря з системи на трубопроводах встановлені повітровідвідні пристрої. На виході з котла розміщена група захисного обладнання, що включає манометр, термометр та предохранний клапан. Дренажна магістраль від предохранного клапана виконана окремою лінією.

Для попередження зворотного руху теплоносія на контурах рециркуляції, живильній магістралі та після мережних насосів передбачена інсталяція зворотних клапанів. Для зливання води з теплогенераторів облаштований дренажний трубопровід.

1.2 Розрахунок теплової схеми для максимального опалювального режиму

Згідно із початковими даними температура води в прямому трубопроводі котельні $\tau_1 = 90$ °С, температура води в зворотному трубопроводі котельні $\tau_2 = 70$ °С, температура додаткової води $t_{\text{дв}} = 5$ °С, мінімальна температура води на вході в котел $t_{\text{зв}} = 60$ °С.

Температура в подавальному трубопроводі з врахуванням охолодження в котельні $\Delta t_{\text{охолодження}} = 0,5$ °С

$$\tau'_1 = \tau_1 + \Delta t_{\text{охолодження}}, \quad (1.1)$$

$$\tau'_1 = 95 - 0,5 = 89,5 \text{ (}^\circ\text{C)}.$$

Температура в зворотному трубопроводі з врахуванням охолодження в котельні

$$\tau'_2 = \tau_2 - \Delta t_{\text{охолодження}}, \quad (1.2)$$

$$\tau'_2 = 70 + 0,5 = 70,5 \text{ (}^\circ\text{C)}.$$

Витрата мережної води на систему теплопостачання лікувального закладу [20]

$$G_{\text{TM}} = \frac{Q_{\text{оп}}}{C_p (\tau'_1 - \tau'_2)}, \quad (1.3)$$

$$G_{\text{TM}} = \frac{3800}{4,19 \cdot (89,5 - 70,5)} = 46,5 \text{ (кг/с)}.$$

Витрата води для підживлення мережі з врахуванням втрат $\alpha_{\text{втр}} = 0,005$

$$G_{\text{пж}} = G_{\text{TM}}^{\text{оп}} \cdot \alpha_{\text{втр}}, \quad (1.4)$$

$$G_{\text{пж}} = 46,5 \cdot 0,005 = 0,2325 \text{ (кг/с)}.$$

Температура води в зворотному трубопроводі після підживлення

$$t_{\text{MH}} = \frac{G_{\text{TM}}^{\text{оп}} \cdot \tau_2 + G_{\text{пж}} \cdot t_{\text{св}}}{G_{\text{TM}}^{\text{оп}} + G_{\text{пж}}}, \quad (1.5)$$

$$t_{\text{MH}} = \frac{(46,5 - 0,2325) \cdot 70 + 0,2325 \cdot 5}{46,5} = 69,7 \text{ (}^\circ\text{C)}.$$

Загальна потужність котельні

$$Q_{\Sigma} = G_{\text{TM}} \cdot c_p \cdot (\tau'_1 - \tau'_2), \quad (1.6)$$

$$Q_{\Sigma} = 46,5 \cdot 4,19 \cdot (90 - 69,7) = 3,955 \text{ (МВт)}.$$

Відсоток завантаженості котлів

$$b = \frac{Q_{\Sigma}}{\Sigma Q_{\text{НОМ}}}, \quad (1.7)$$

$$b = \frac{3,855}{2,5 \cdot 2} = 0,791.$$

Корисна потужність твердопаливного котла

$$Q_{\text{твердопал}} = \Sigma Q_{\text{твердоп ном}} \cdot b, \quad (1.9)$$

$$Q_{\text{твердопал}} = 2,5 \cdot 0,791 = 1,977 \text{ (МВт)}.$$

Витрата води з бака-акумулятора на твердопаливний котел

$$G_{\text{в твердоп}} = \frac{Q_{\text{твердоп}}}{c_p \cdot (\tau'_1 - t_{\text{МН}})} \quad (1.11)$$

$$G_{\text{в твердоп}} = 1977 / (4,19 \cdot (90 - 69,7)) = 23,24 \text{ (кг/с)}.$$

Оскільки температура води на вході в котел вище за $t_{\text{зв}} = 60 \text{ }^{\circ}\text{C}$, то витрата води через лінію рециркуляції в розрахунковому режимі $G_{\text{рец}} = 0 \text{ кг/с}$.

Теплова потужність циклонів одного твердопаливного котла (з умови корисного використання теплоти відхідних газів та золи в розмірі 2,0% від потужності котла

$$Q_{\text{циклонів}} = Q_{\text{твердоп}} \cdot 0,02, \quad (1.12)$$

$$Q_{\text{циклонів}} = 1,977 \cdot 0,02 = 39,5 \text{ (кВт)}.$$

Витрата рециркуляційної води через циклони (приймаємо в першому наближенні) $G_{\text{в циклонів}} = 2 \text{ кг/с}$.

Температура рециркуляційної води після циклонів

$$t_{\text{рец}} = \tau'_1 + \frac{Q_{\text{циклонів}}}{c_p \cdot G_{\text{в циклонів}}}, \quad (1.13)$$

$$t_{\text{рец}} = 90 + 39,5 / (4,19 \cdot 2) = 94,7 \text{ (}^\circ\text{C)}.$$

Температура води на вході в твердопаливний котел

$$t_{\text{вх твердоп}} = \frac{G_{\text{в твердоп}} \cdot \tau'_2 + G_{\text{в циклонів}} \cdot t_{\text{рец}}}{G_{\text{в твердоп}} + G_{\text{в циклонів}}}, \quad (1.14)$$

$$t_{\text{вх твердоп}} = (23,24 \cdot 70 + 2 \cdot 94,7) / (23,24 + 2) = 71,95 \text{ (}^\circ\text{C)}.$$

Розрахункова витрата твердого палива

$$B_{\text{твердоп}} = \frac{Q_{\text{твердоп}} \cdot N_{\text{працюючих}}}{Q_{\text{нтвердоп}}^p \cdot \eta_{\text{к твердоп}}}, \quad (1.16)$$

$$B_{\text{твердоп}} = 1,977 \cdot 2 / (12 \cdot 0,85) = 0,387 \text{ (кг/с)} = 1395 \text{ (кг/год)}.$$

Витрата умовного палива

$$B_y = \frac{Q_{\text{твердоп}} \cdot N_{\text{працюючих}}}{Q_{\text{нy}}^p \cdot \eta_{\text{ктвердоп}}}, \quad (1.17)$$

$$B_y = 1,977 \cdot 2 / (29,3 \cdot 0,85) = 0,159 \text{ (кг/с)} = 571,5 \text{ (кг/год)}.$$

ККД котельні

$$\eta = \frac{Q_{\Sigma}}{(B_y \cdot Q_{\text{нy}}^p)}. \quad (1.18)$$

$$\eta = 3,8 / (0,159 \cdot 29,3) = 0,816.$$

Питома витрата умовного палива

$$b_y = \frac{B_y}{Q_{\Sigma}}, \quad (1.19)$$

$$b_y = \frac{0,159}{3955} \cdot 10^6 = 40,2 \text{ (кг/ГДж)}.$$

При зміні температури зовнішнього повітря протягом опалювального періоду потрібно регулювати кількість теплоти, що відпускається в систему опалення. Для цього використовуємо якісне або кількісне регулювання.

У даній тепловій схемі використовується центральне якісне регулювання – це регулювання подачі теплоти в котельню, при якому відбувається зміна температури теплоносія, а витрата лишається сталою.

Розраховуємо температуру в подавальному і зворотньому трубопроводі при середній температурі зовнішнього повітря за опалювальний період $t_3 = -0,2$ °C.

Розрахункова температура навколишнього повітря для опалення $t_{3,0} = -21$ °C.

Розрахунковий температурний графік мережної води 90/70 °C.

Розрахункова внутрішня температура приміщень $t_{в,р} = 20$ °C.

Охолодження води в мережних трубопроводах по 0,2 °C.

Відносне теплове навантаження для опалення при t_3

Витрата мережної води на систему теплопостачання за (2.3)

$$G_{mm} = \frac{3800 \cdot 0,5}{4,19 \cdot (59,5 - 50,5)} = 50,38 \text{ (кг/с)}.$$

Витрата води для підживлення мережі за (1.4)

$$G_{пж} = 50,38 \cdot 0,005 = 0,252 \text{ (кг/с)}.$$

Температура води в зворотному трубопроводі після підживлення за (1.5)

$$t_{ми} = \frac{(50,38 - 0,252) \cdot 50 + 0,252 \cdot 5}{50,38} = 49,7 \text{ (°C)}.$$

Загальна потужність котельні за (1.6)

$$Q_{\Sigma} = 50,38 \cdot 4,19 \cdot (60 - 49,7) = 2,174 \text{ (МВт)}.$$

Відсоток завантаженості котлів за (1.7)

$$b = \frac{2,174}{2,5 \cdot 1} = 0,86.$$

Корисна потужність твердопаливного котла за (1.8)

$$Q_{\text{твердопал}} = 2,5 \cdot 0,86 = 2,174 \text{ (МВт)}.$$

Витрата води з бака-акумулятора на твердопаливний котел за (1.11)

$$G_{\text{в твердоп}} = 2174 / (4,19 \cdot (90 - 60)) = 17,29 \text{ (кг/с)}.$$

Витрата води через лінію рециркуляції в розрахунковому режимі

$$G_{\text{рец}} = G_{\text{в твердоп}} \frac{t'_k - t_{\text{зв}}}{t_{\text{рец}} - t_{\text{зв}}}, \quad (1.20)$$

$$G_{\text{рец}} = 17,29 \frac{60 - 49,7}{90 - 49,7} = 4,42 \text{ (кг/с)}.$$

Теплова потужність циклонів одного твердопаливного котла за (1.12)

$$Q_{\text{циклонів}} = 2,174 \cdot 0,02 = 43,5 \text{ (кВт)}.$$

Температура рециркуляційної води після циклонів за (1.13)

$$t_{\text{рец}} = 90 + 43,5 / (4,19 \cdot 4,42) = 92,34 \text{ (}^{\circ}\text{C)}.$$

Температура води на вході в твердопаливний котел за (1.14)

$$t_{\text{вх твердоп}} = (17,29 \cdot 49,7 + 4,42 \cdot 92,34) / (17,29 + 4,42) = 58,38 \text{ (}^{\circ}\text{C)}.$$

Розрахункова витрата твердого палива за (1.16)

$$B_{\text{твердоп}} = 2,174 \cdot 1 / (12 \cdot 0,85) = 0,213 \text{ (кг/с)} = 767 \text{ (кг/год)}.$$

Витрата умовного палива за (1.17)

$$B_y = 2,174 \cdot 1 / (29,3 \cdot 0,85) = 0,0873 \text{ (кг/с)} = 314 \text{ (кг/год)}.$$

ККД котельні за (1.18)

$$\eta = 1,9 / (0,0873 \cdot 29,3) = 0,743.$$

Питома витрата умовного палива за (1.19)

$$b_y = \frac{0,0873}{2174} \cdot 10^6 = 40,156 \text{ (кг/ГДж)}.$$

1.3 Підбір обладнання двопаливної водогрійної котельні

1.3.1 Перевірка котлоагрегатів

Перевірку водогрійних котлів проводимо по розрахунковій продуктивності котельні для максимального опалювального режиму, яка складає $Q_{\text{кот}} = 3955 \text{ кВт}$. З врахуванням запасу продуктивності з метою забезпечення надійності системи тепlopостачання лікувального закладу встановлена потужність теплогенераторів має становити

$$Q_{\text{тг}} = 1,2 \cdot Q_{\text{кот}}, \quad (1.19)$$

$$Q_{\text{тг}} = 1,2 \cdot 3955 = 4,746 \text{ (кВт)}.$$

На котельні встановлено два твердопаливних водогрійних котли BRS2500 LM (існуючі) для спалювання сипучого твердого палива потужністю 2500 кВт.

Сумарна потужність котлів 5 МВт, що є достатнім для задоволення потреб споживачів з резервуванням потужності.

1.3.2 Перевірка насосів

В тепловій схемі котельні встановлені 3 мережні насоси, по одному насосу котлової води для твердопаливних котлів (2 шт.), по одному насосу рециркуляції для кожного з п'яти котлів (5 шт.), насос підживлювальної води (1 шт.).

Мережні насоси призначені для забезпечення циркуляції теплоносія в тепловій мережі через котли. Їх подача визначається за максимальною масовою витратою мережної води. Згідно з Правилами Держтехнагляду встановлюється резервування такого насосного обладнання

Подача насосу

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

де G_{MB} – масова витрата мережної води в максимальному режимі, кг/с;

ρ_{MB} – густина мережної води на вході в тепломережу, яка дорівнює 975 кг/м³ при температурі 95 °С

$$V_{\text{MH}} = \frac{1,1 \cdot 50,38 \cdot 3600}{975} = 203,6 \text{ (м}^3\text{/год)}.$$

На котельні встановлено три мережних насоси марки Hydrovacuum MVA 65-200A 1100, характеристики якого: подача $V = 160 \text{ м}^3\text{/год}$, напір $H = 50 \text{ м}^3\text{/год}$, потужність електродвигуна $N_{\text{KH}} = 22 \text{ кВт}$ [23]. Достатньо двох насосів робочих та одного резервного.

Подача насоса котлової води від бака-акумулятора до твердопаливного котла за формулою (4.1)

$$V_{\text{кн}} = \frac{1,1 \cdot 23,245 \cdot 3600}{985} = 93,9 \text{ (м}^3\text{/год)}.$$

На котельні встановлено по одному насосу GHN 100-120 F на кожний твердопаливний котел. Характеристики насоса: подача 70 м³/год, напір 3,5 м.в.ст., електрична потужність 2,3 кВт.

Рециркуляційні насоси твердопаливних котлів перевіряються за витратою

$$V_{\text{рнтвердоп}} = \frac{1,1 \cdot 4,42 \cdot 3600}{975} = 17,95 \text{ (м}^3\text{/год)}.$$

На котельні встановлено два насоси Hydrovacuum MVA 40-125 [23] з характеристиками: 48 м³/год, 12 м.в.ст., 4 кВт.

Насоси підживлення

$$V_{\text{нсв}} = \frac{1,1 \cdot 2 \cdot G_{\text{пж}} \cdot 3600}{\rho_{\text{св}}}, \quad (1.21)$$

де $G_{\text{пж}}$ – масова витрата підживлювальної води, кг/с;

$\rho_{\text{пж}}$ – густина підживлювальної води на вході в насос, яка дорівнює 999,8 кг/м³ при температурі 5 °С.

Подача насоса підживлення

$$V_{\text{нсв}} = \frac{1,1 \cdot 2 \cdot 0,252 \cdot 3600}{999,8} = 1,99 \text{ (м}^3\text{/год)}.$$

На котельні встановлено гідрофорна система підняття та підтримання тиску в мережі подачею 5 м³/год потужністю електродвигуна $N_{\text{нсв}} = 1,4$ кВт [23].

1.3.3 Перевірка димососів до котлів

Димососи перевіряємо за витратою димових газів з твердопаливних котлів

$$V_d = 1,1 \cdot B_p \cdot V_g \cdot (t_{bg} + 273) / 273, \quad (1.22)$$

де V_g – дійсний об'єм димових газів за нормованих умов;

$$V_d = 1,1 \cdot 0,387 \cdot 6,0 \cdot (180 + 273) \cdot 3600 / 273 = 14584 \text{ (м}^3\text{/год)}.$$

На котельні встановлено 4 димососи Д-3,5М [24] (по два на кожний твердопаливний котел). Характеристика димососа: подача 5400 м³/год, напір 900 Па, потужність електродвигуна 2,2 кВт.

Розрахункову електричну потужність котельні знаходимо як суму активних потужностей працюючого обладнання котельні, а саме мережних насосів, насосів котлової води, підживлювального насосу, рециркуляційних насосів, двигунів подавання палива та дуттєвих вентиляторів і димососів котлів.

$$N_{\text{вп}} = N_{\text{мн}} \cdot n_{\text{мн}} + N_{\text{кн}} \cdot n_{\text{кн}} + N_{\text{пн}} \cdot n_{\text{пн}} + N_{\text{рн}} \cdot n_{\text{рн}} + N_{\text{рн}} \cdot n_{\text{рн}} + \Sigma N_{\text{доп}}, \quad (1.23)$$

$$N_{\text{вп}}^{\text{макс}} = 22 \cdot 2 + 2,3 \cdot 2 + 1,4 \cdot 1 + 2 \cdot 4 + 4 \cdot 2,2 + 10 = 76,8 \text{ (кВт)};$$

$$N_{\text{вп}}^{\text{сер}} = 22 \cdot 2 + 2,3 \cdot 1 + 1,4 \cdot 1 + 1 \cdot 4 + 2 \cdot 2,2 + 7 = 59,1 \text{ (кВт)};$$

1.4 Техніко-економічні показники роботи котельні

Загальні капіталовкладення в котельню $K = 20$ млн. грн.

Річне виробництво теплоти на котельні для потреб теплопостачання лікувального закладу [20]

$$Q_{\text{рік}} = (Q_{\text{кот}} \cdot \tau_{\text{макс}} + Q_{\text{сер}} \cdot \tau_{\text{сер}} + Q_{\text{між}} \cdot \tau_{\text{між}}) \cdot 3600, \quad (1.24)$$

$$Q_{\text{річ}} = (3,8 \cdot 30 + 1,9 \cdot 4246) \cdot 3600 \cdot 10^{-3} = 29042 \text{ (ГДж/рік)}.$$

Річна витрата твердого палива на водогрійній котельні

$$B_{\text{р\text{тв}}}^{\text{річ}} = [0,387 \cdot 30 + 0,213 \cdot 4246] \cdot 3600 = 3297 \text{ (т/рік)}.$$

Витрати на паливо протягом опалювального сезону

$$C_{\text{п}} = \Pi_{\text{п}} \cdot B_{\text{р}}^{\text{річ}}, \quad (1.26)$$

де $\Pi_{\text{п}} = 3,15$ грн/кг – ціна тріски деревини;

$$C_{\text{п}} = 3\,297 \cdot 3\,150 = 10,39 \text{ (млн. грн./рік)}.$$

Річна витрата електроенергії на функціонування системи теплопостачання

$$EE^{\text{річ}} = N_{\text{вп}}^{\text{макс}} \cdot \tau_{\text{макс}} + N_{\text{вп}}^{\text{сер}} \cdot \tau_{\text{сер}}, \quad (1.27)$$

$$EE^{\text{річ}} = 76,8 \cdot 30 + 59,1 \cdot 4246 = 253,2 \text{ (тис. кВт·год/рік)}.$$

Витрати на електроенергію

$$C_{\text{еє}} = EE_{\text{річ}} \cdot \Pi_{\text{еє}}, \quad (1.28)$$

$$C_{\text{еє}} = 253,2 \cdot 6,8 = 1,722 \text{ (млн. грн./рік)}.$$

Витрати коштів на воду [26]

$$C_B = G_{\text{річ}} \cdot \Pi_B, \quad (1.29)$$

$$C_B = 2626,55 \cdot 24,9 = 65 \text{ тис.грн/рік}$$

Амортизаційні відрахування для відшкодування зношених частин основних фондів [26]

$$C_a = K_a \cdot K, \quad (1.30)$$

$$C_a = 0,07 \cdot 20 = 1,4 \text{ (млн. грн./рік).}$$

Затрати коштів на поточний ремонт (20% від амортизаційних відрахувань) [27]

$$C_{\text{пр}} = 0,2 \cdot C_a, \quad (1.31)$$

$$C_{\text{пр}} = 0,2 \cdot 1,4 = 0,28 \text{ (млн. грн./рік).}$$

Оплата праці [27]

$$C_{\text{зп}} = n \cdot \text{ЗП} \cdot k_{\text{відр}}, \quad (1.32)$$

де ЗП – середня заробітна плата,

$$C_{\text{зп}} = 8 \cdot 15000 \cdot 12 \cdot 1,41 = 2,03 \text{ (млн. грн./рік).}$$

Інші витрати

$$C_{ін}=0,06 \cdot (C_a + C_{зп} + C_{пр} + C_{ее} + C_v + C_{пал}), \quad (1.34)$$

$$C_{ін} = 0,06 \cdot (1,4 + 2,03 + 0,28 + 1,722 + 0,065 + 10,39) = 0,953 \text{ (млн. грн./рік)}.$$

Витрати коштів на експлуатацію двопаливної котельні [26, 27]

$$C_{річ} = C_a + C_{зп} + C_{пр} + C_{ее}^c + C_v + C_{ін} + C_{п}, \quad (1.35)$$

$$C_{річ} = 1,4 + 2,03 + 0,28 + 1,722 + 0,065 + 0,953 + 10,39 = 16,84 \text{ (млн.грн./рік)}.$$

Собівартість виробництва теплової енергії [26, 27]

$$CB_{тепл} = C_{річ} / Q_{річ}, \quad (1.36)$$

$$CB_{тепл} = 16,84 / 29042 = 579,8 \text{ (грн./ГДж)}.$$

2 БАГАТОВАРІАНТНИЙ АНАЛІЗ ЗАХОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ КОТЕЛЬНІ

2.1 Характеристика системи від котельні

У цьому розділі аналізуються чотири варіанти системи гарячого водопостачання (ГВП) з тепловим навантаженням 400 кВт: від твердопаливної котельні, з тепловим насосом, з сонячними колекторами та з ємкісними електронагрівниками. Оцінка включає технічні характеристики, економічні показники та екологічний вплив, враховуючи комбінований підхід (котельня на щепі в холодний період, тепловий насос у теплий) [1].

Система ГВП від твердопаливної котельні на щепі є традиційним рішенням для забезпечення гарячою водою. Вона використовує котли, що працюють на деревній щепі, як доступному біопаливі в Україні [1].

Технічні характеристики: твердопаливний котел потужність 400–450 кВт, ККД 80%. Температура води – 50–60 °С; теплообмінник: пластинчастий, для передачі тепла до води ГВП; насоси та теплоізовані трубопроводи; датчики температури, тиску, контролери для регулювання роботи котла.

Система працює цілодобово, використовується в холодний період року. У теплий період пропонується перехід на тепловий насос для економії.

Переваги– надійність за наявності резервного котла; доступність щепи як біопалива; гнучкість масштабування.

Недоліки– нижчий ККД (80%) порівняно з твердопаливними котлами; потреба в регулярному завантаженні палива; викиди CO₂ та золи від спалювання щепи.

Капітальні витрати: котел – 200 000 грн, теплообмінник – 50 000 грн, насоси, автоматика – 200 000 грн. Загалом: 450 000 грн.

Споживання щепи розраховується в.п. 3.2, зарплата персоналу – 180 000 грн/рік, обслуговування – 30 000 грн/рік.

Використання біопалива знижує викиди CO₂ порівняно з газом, але спалювання щепи створює золу та часткові викиди (оцінка в п. 4.3) [2].

2.2 Характеристика системи з використанням теплового насосу

Система з тепловим насосом "повітря-вода" використовує енергію повітря для нагрівання води, що є ефективним у теплий період року [1].

Технічні характеристики

Тепловий насос: Потужність 400–450 кВт, COP 4. Споживає 100–125 кВт електроенергії; бак-акумулятор: 2–3 м³ для пікових навантажень; циркуляційна система та автоматика: насоси, датчики, контролери.

Система працює в теплий період, у холодний – котельня на щепі.

Переваги- висока енергоефективність (COP 4); низькі викиди CO₂; мінімальне обслуговування.

Недоліки- високі капітальні витрати; зниження COP при температурах нижче -10 °C; залежність від електропостачання.

Капітальні витрати: насос – 1 000 000 грн, бак – 100 000 грн, автоматика – 400 000 грн. Загалом: 1 500 000 грн.

Експлуатаційні витрати: електроенергія (8 грн/кВт·год, оцінка в п. 3.2), зарплата – 180 000 грн/рік, обслуговування – 40 000 грн/рік.

Низькі непрямі викиди CO₂ (оцінка в п. 4.3), особливо при «зеленій» електроенергії [2].

2.3 Характеристика системи з сонячними колекторами

Система використовує сонячну енергію, доповнену резервним джерелом, для нагрівання води [1].

Технічні характеристики: вакуумні колектори: площа 570–800 м², забезпечують 60% потреби; бак-акумулятор: 5–10 м³; ємкісний електронагрівник (200–400 кВт).

Переваги– екологічність (60% ВДЕ); довговічність колекторів (20 – 25 років).

Недоліки– високі капітальні витрати; залежність від інсоляції; потреба в великій площі.

Капітальні витрати: колектори – 800 000 грн, бак – 250 000 грн, нагрівник – 100 000 грн, автоматика – 350 000 грн. Загалом: 1 500 000 грн.

Експлуатаційні витрати: електроенергія для резерву (8 грн/кВт·год), зарплата – 180 000 грн/рік, обслуговування – 30 000 грн/рік.

Низькі викиди CO₂ завдяки сонячній енергії (оцінка в п. 4.3) [2].

2.4 Характеристика системи з електронагрівниками

Система використовує місцеві ємкісні електронагрівники для прямого нагрівання води [1].

Технічні характеристики: ємкісні електронагрівники: потужність 400–450 кВт, ККД 98%; бак-акумулятор: 2–3 м³; датчики температури, контролери.

Переваги– простота монтажу та експлуатації; висока надійність.

Недоліки– високі експлуатаційні витрати через дорогу електроенергію; значні викиди CO₂.

Капітальні витрати: нагрівники – 250 000 грн, бак – 100 000 грн, автоматика – 100 000 грн. Загалом: 450 000 грн.

Експлуатаційні витрати: електроенергія (8 грн/кВт·год), зарплата – 180 000 грн/рік, обслуговування – 15 000 грн/рік.

Екологічні аспекти– високі непрямі викиди CO₂ через енергоспоживання (оцінка в п. 4.3) [2].

Висновок: комбінована система (котельня на щепі в холодний період, тепловий насос у теплий) є перспективною завдяки балансу енергоефективності та економії.

3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ЗАХОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ КОТЕЛЬНІ

3.1 Технічні показники систем

Порівняльний аналіз технічних, економічних та екологічних показників п'яти варіантів системи гарячого водопостачання (ГВП) з тепловим навантаженням 400 кВт (твердопаливна котельня на щепі, тепловий насос, сонячні колектори, ємкісні електронагрівники, комбінована система) дозволяє визначити оптимальне рішення [1].

Технічні показники оцінюються за енергоефективністю, надійністю, складністю експлуатації та гнучкістю [1].

$$\text{ККД} = \frac{Q_{\text{корисне}}}{Q_{\text{вхідне}}} \cdot 100\%.$$

$$\text{COP} = \frac{Q_{\text{корисне}}}{E_{\text{електричне}}}.$$

Ефективність колекторів:

$$\eta_{\text{СК}} = \frac{Q_{\text{корисне}}}{I \cdot S}.$$

1. Котельня на щепі

Енергоефективність: ККД 80%.

Споживання:

$$C_{\text{сп}} = \frac{3\,504\,000}{0,8} = 4\,380\,000 \text{ кВт\год, або } 1\,251\,429 \text{ кг щепи (з п. 3.2).}$$

Надійність: висока, але залежить від постачання щепи.

Складність: середня (монтаж котла, теплообмінника; регулярне завантаження палива).

Гнучкість: висока (легке масштабування).

2. Тепловий насос

Енергоефективність: COP 4.

Споживання:

$$C_{\text{сп}} = \frac{3\,504\,000}{4} = 876\,000 \text{ кВт}\cdot\text{год (з п. 3.2).}$$

Надійність: висока за наявності резерву.

Складність: висока (монтаж насоса, бака, автоматики).

Гнучкість: середня (обмежена вартістю).

3. Сонячні колектори

Енергоефективність: $\eta_{\text{СК}} \approx 28\%$, 60% потреби від ВДЕ (2 102 400 кВт·год), резерв – 1 429 796 кВт·год (з п. 3.2).

Надійність: середня (залежить від погоди).

Складність: висока (велика площа колекторів).

Гнучкість: низька.

4. Ємкісні електронагрівники

Енергоефективність: ККД 98%.

Споживання:

$$C_{\text{сп}} = \frac{3\,504\,000}{0,98} \approx 3\,575\,510 \text{ кВт}\cdot\text{год (з п. 3.2).}$$

Надійність: висока.

Складність: низька (простий монтаж).

Гнучкість: висока.

5. Комбінована система

Енергоефективність: холодний період (ККД 80%, 625 714 кг щепи), теплий період (COP 4, 438 000 кВт·год) (з п. 3.2).

Надійність: висока (поєднання джерел).

Складність: висока (два типи обладнання).

Гнучкість: середня.

Таблиця 3.1 - Порівняння технічних показників

Варіант	Енерго ефективність	Надійність	Складність	Гнучкість
Котельня на щепі	ККД 80%	Висока	Середня	Висока
Тепловий насос	COP 4	Висока	Висока	Середня
Сонячні колектори	28% (60% ВДЕ)	Середня	Висока	Низька
Ємкісні електронагрівники	ККД 98%	Висока	Низька	Висока
Комбінована система	ККД 80% + COP 4	Висока	Висока	Середня

3.2 Економічні показники систем

Економічна оцінка враховує капітальні витрати, експлуатаційні витрати та загальну вартість володіння за 10 років [1].

1. Котельня на щепі

Капітальні витрати: 450 000 грн (з п. 3.3).

Експлуатаційні витрати: 2 087 144 грн/рік (з п. 3.3).

Вартість за 10 років: $450\,000 + 2\,087\,144 \cdot 10 = 21\,321\,440$ грн.

2. Тепловий насос

Капітальні витрати: 1 500 000 грн.

Експлуатаційні витрати: 3 724 000 грн/рік.

Вартість за 10 років: $1\,500\,000 + 3\,724\,000 \cdot 10 = 38\,740\,000$ грн.

3. Сонячні колектори

Капітальні витрати: 1 500 000 грн.

Експлуатаційні витрати: 5 989 184 грн/рік.

Вартість за 10 років: $1\,500\,000 + 5\,989\,184 \cdot 10 = 61\,391\,840$ грн.

4. Ємкісні електронагрівники

Капітальні витрати: 450 000 грн.

Експлуатаційні витрати: 14 497 040 грн/рік.

Вартість за 10 років: $450\,000 + 14\,497\,040 \cdot 10 = 145\,420\,400$ грн.

5. Комбінована система

Капітальні витрати: 1 750 000 грн.

Експлуатаційні витрати: 2 910 571 грн/рік.

Вартість за 10 років: $1\,750\,000 + 2\,910\,571 \cdot 10 = 30\,855\,710$ грн.

Термін окупності (порівняно з котельнею):

Різниця: $1\,750\,000 - 450\,000 = 1\,300\,000$ грн.

Економія: $2\,087\,144 - 2\,910\,571 = -823\,427$ грн/рік (не окупається, але нижча загальна вартість).

Таблиця 3.2 - Порівняння економічних показників

Варіант	Капітальні витрати, грн	Експлуатаційні витрати, грн/рік	Вартість за 10 років, грн
Котельня на щепі	450 000	2 087 144	21 321 440
Тепловий насос	1 500 000	3 724 000	38 740 000
Сонячні колектори	1 500 000	5 989 184	61 391 840
Ємкісні електронагрівники	450 000	14 497 040	145 420 400
Комбінована система	1 750 000	2 910 571	30 855 710

3.3 Екологічні аспекти та вплив на довкілля

Екологічна оцінка враховує викиди CO₂ і використання ВДЕ [1].

$$M_{CO_2} = E \cdot k_{CO_2} ,$$

де $k_{CO_2} = 0,0004$ т CO₂/кВт (електроенергія), $k_{CO_2} = 0,0005$ т CO₂/кг щепи

1. Котельня на щепі

Викиди CO₂:

$$V_{CO_2} = 1\,251\,429 \cdot 0,0005 \approx 626 \text{ т/рік.}$$

ВДЕ: біопаливо (нейтральне за CO₂ при сталому лісництві), зола, NO_x.

2. Тепловий насос

Викиди CO₂:

$$V_{CO_2} = 876\,000 \cdot 0,0002 = 175 \text{ т/рік.}$$

ВДЕ: часткове (енергія повітря), холодоагенти.

3. Сонячні колектори

Викиди CO₂:

$$V_{CO_2} = 1\,429\,796 \cdot 0,0002 = 286 \text{ т/рік.}$$

ВДЕ: 60% (сонячна енергія), виробництво колекторів.

4. Ємкісні електронагрівники

Викиди CO₂:

$$V_{CO_2} = 3\,575\,510 \cdot 0,0002 = 715 \text{ т/рік.}$$

ВДЕ: відсутнє, високе енергоспоживання.

5. Комбінована система

Викиди CO₂:

Холодний період:

$$625\,714 \cdot 0,0005 \approx 313 \text{ т.}$$

Теплий період:

$$438\,000 \cdot 0,0002 = 88 \text{ т.}$$

Загалом:

$$313+88=401 \text{ т/рік.}$$

ВДЕ: біопаливо + енергія повітря, зола, холодоагенти.

Таблиця 3.3 - Порівняння екологічних показників

Варіант	Викиди CO ₂ , т/рік	ВДЕ	Інші впливи
Котельня на щепі	626	Біопаливо	Зола, NO _x
Тепловий насос	175	Часткове	Холодоагенти
Сонячні колектори	286	60%	Виробництво колекторів
Ємкісні електронагрівники	715	Відсутнє	Енергоспоживання
Комбінована система	401	Біопаливо + ВДЕ	Зола, холодоагенти

Комбінована система (котельня на щепі взимку, тепловий насос влітку) забезпечує баланс між енергоефективністю, економічністю та екологічністю, що робить її перспективною [2].

4 РОЗРОБКА ПЛАСТИНЧАСТОГО ТЕПЛООБМІННИКА ТА ТЕХНОЛОГІЇ ЙОГО МОНТАЖУ

4.1 Тепловий розрахунок пластинчастого теплообмінника

Вихідні дані для розрахунк: теплообмінник пластинчастий потужністю $Q_T = 400$ кВт; гріє та нагріване середовище – вода; температура нагрівної води на вході в теплообмінник $t'_2 = 10$ °С; витрата нагрівної води в теплообміннику $G_2 = 2,1$ кг/с; температура грієної води на вході $t'_1 = 90$ °С; температура грієної води на виході $t''_1 = 70$ °С.

Геометричні розміри пластин і типи каналів:

- площа теплообміну одної пластини $f_1 = 0,21$ м²;
- ширина пластини 0,3 м;
- довжина пластини 0,7 м;
- товщина міжпластинного каналу $e = 0,0034$ м;
- площа поперечного перерізу одного каналу $f_{\text{каналу}} = 1,3 \cdot 10^{-3}$ м².

Температура нагрівної води на виході

$$t''_2 = t'_2 + Q_T / (C_{p2} \cdot G_2), \quad (4.1)$$

$$t''_2 = 10 + 400 / (4,19 \cdot 2,1) = 55,5 \text{ (°С)}.$$

Середня температура нагрівної води

$$t_2 = \frac{t'_2 + t''_2}{2} \quad (4.2)$$

де, t'_2 t''_2 – температура води на вході та виході з підігрівника відповідно °С.

$$t_2 = \frac{10 + 55,5}{2} = 32,7 \text{ (}^\circ\text{C)}.$$

Теплофізичні характеристики води для середньої температури [5].

Густина води, $\rho_2 = 995 \text{ (кг/м}^3\text{)}$.

Коефіцієнт теплопровідності, $\lambda_2 = 0,62 \text{ Вт/(мК)}$.

Критерій Прандтля для води, $Pr_2 = 5,3$.

Коефіцієнт кінематичної в'язкості, $\nu_2 = 0,8 \cdot 10^{-6} \text{ (м}^2\text{/с)}$.

Теплоємність води $C_{p2} = 4,17 \text{ (кДж / кг)}$.

Середня температура грійної води

$$t_1 = \frac{t'_1 + t''_1}{2}, \quad (4.3)$$

$$t_1 = \frac{90 + 70}{2} = 80 \text{ (}^\circ\text{C)}.$$

Теплофізичні характеристики води для середньої температури води в змішувачу.

Густина води, $\rho_v = 970 \text{ (кг/м}^3\text{)}$.

Коефіцієнт теплопровідності, $\lambda_v = 0,6703 \text{ (Вт / м} \cdot \text{К)}$.

Коефіцієнт кінематичної в'язкості, $\nu_v = 0,35 \cdot 10^{-6} \text{ (м}^2\text{ / с)}$.

Критерій Прандтля, $Pr_v = 2,1$.

Теплоємність води $C_{p_v} = 4,2 \text{ (кДж / кг)}$.

Більша різниця температур між теплоносіями

$$\Delta t_B = t'_1 - t''_2, \quad (4.4)$$

$$\Delta t_B = 70 - 10 = 60 \text{ (}^\circ\text{C)}.$$

Менша різниця температур між теплоносіями

$$\Delta t_M = t'_1 - t''_2, \quad (4.5)$$

$$\Delta t_M = 90 - 55,5 = 34,5.$$

Середньологарифмічний температурний напір

$$\Delta t_{cp} = (\Delta t_B - \Delta t_M) / \ln \left(\frac{\Delta t_B}{\Delta t_M} \right), \quad (4.6)$$

$$\Delta t_{cp} = (60 - 34,5) / \ln \left(\frac{60}{34,5} \right) = 46,1 \text{ (}^\circ\text{C)}.$$

Витрата грійної води

$$G_1 = Q_T / (C_{p1} \cdot (t'_1 - t''_1)), \quad (4.7)$$

$$G_1 = 400 / (4,19 \cdot (90 - 70)) = 4,77 \text{ (кг / с)}.$$

Об'ємна витрата грійної води

$$V_1 = \frac{G_1}{\rho_1}, \quad (4.8)$$

$$V_1 = \frac{4,77}{970} = 4,91 \cdot 10^{-3} \text{ (м}^3\text{/с)}.$$

Об'ємна витрата нагрівної води

$$V_2 = \frac{G_2}{\rho_2}, \quad (4.9)$$

$$V_2 = \frac{2,1}{995} = 2,1 \cdot 10^{-3} \left(\frac{\text{м}^3}{\text{с}} \right).$$

Швидкість нагрівного теплоносія приймаємо 0,25 м/с.

Еквівалентний діаметр міжпластинного каналу приймається рівним подвоєній товщині зазору між пластинами, тобто $d_e = 2 \cdot 0,0034 = 0,0068$ (м).

Число Рейнольдса для нагрівної води

$$\text{Re}_2 = \frac{w_2 \cdot d_e}{\nu_2}, \quad (4.10)$$

$$\text{Re}_2 = \frac{0,25 \cdot 0,0068}{0,8 \cdot 10^{-6}} = 2125 - \text{режим перехідний.}$$

Задамося температурою стінки $t_{\text{ст}} = 50$ °С. Тоді $\text{Pr}_{\text{ст}} = 3,54$ [5].

Критерій Нусельта для нагрівної води

$$\text{Nu}_2 = 0,135 \cdot \text{Re}_2^{0,73} \cdot \text{Pr}_2^{0,43} \cdot (\text{Pr}_2 / \text{Pr}_{\text{ст}})^{0,25}, \quad (4.11)$$

$$\text{Nu}_2 = 0,135 \cdot 2125^{0,73} \cdot 5,3^{0,43} \cdot (5,3 / 3,54)^{0,25} = 97,5.$$

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки до нагрівної води

$$\alpha_2 = \frac{\text{Nu}_2 \cdot \lambda_2}{d_e}, \quad (4.12)$$

$$\alpha_2 = \frac{97,5 \cdot 0,62}{0,0068} = 7029 \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \right).$$

Приймаємо, що нагрівана вода рухається в одному пакеті каналів, і грійна в одному, тоді швидкість грійної води в каналах пропорційна швидкості нагрівної води з врахуванням об'ємних витрат потоків та кількості пакетів

$$w_1 = w_2 \frac{n_1}{n_2} \frac{V_1}{V_2}, \quad (4.13)$$

$$w_1 = 0,25 \frac{1 \cdot 4,9 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 2,1 \cdot 10^{-3}} = 0,58 \text{ (м/с)}.$$

Число Рейнольдса для грійної води

$$Re_1 = \frac{w_1 \cdot d_e}{\nu_1}, \quad (4.14)$$

$$Re_1 = \frac{0,58 \cdot 0,0068}{0,35 \cdot 10^{-6}} = 14251 - \text{режим турбулентний}.$$

Задамося температурою стінки $t_{ст} = 65 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Тоді $Pr_{ст} = 2,75$ [5].

Критерій Нусельта для грійної води

$$Nu_1 = 0,135 \cdot Re_1^{0,73} \cdot Pr_1^{0,43} \cdot (Pr_1 / Pr_{ст})^{0,25}, \quad (4.15)$$

$$Nu_1 = 0,135 \cdot 14251^{0,73} \cdot 2,1^{0,43} \cdot (2,1 / 2,75)^{0,25} = 187.$$

Коефіцієнт тепловіддачі від грійної води до стінки

$$\alpha_1 = \frac{Nu_1 \cdot \lambda_1}{d_e}, \quad (4.16)$$

$$\alpha_2 = \frac{187 \cdot 0,6703}{0,0068} = 14577 \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \right).$$

Коефіцієнт теплопередачі теплообмінника

$$K = \frac{0,85}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (4.17)$$

де $\delta_{\text{ст}}$ — товщина стінки пластини $\delta_{\text{ст}} = 0,0006 \text{ м}$;

$\lambda_{\text{ст}}$ — теплопровідність сталі, $\lambda_{\text{ст}} = 16 \text{ Вт} / (\text{м} \cdot \text{К})$.

$$K = \frac{0,85}{\frac{1}{14577} + \frac{0,0005}{16} + \frac{1}{7029}} = 3511 \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \right).$$

Питомий тепловий потік

$$q = K \cdot \Delta t_{\text{cp}}, \quad (4.18)$$

$$q = 3511 \cdot 46,1 \cdot 10^{-3} = 161,9 \text{ (кВт/м}^2\text{)}.$$

Розрахункова температура холодної і гарячої сторін пластини

$$t_{\text{ст}2} = t_2 + \frac{q}{\alpha_2} \qquad t_{\text{ст}1} = t_1 - \frac{q}{\alpha_1} \quad [^{\circ}\text{C}], \quad (4.19)$$

$$t_{\text{ст}2} = 32,7 + \frac{161,9}{13577} = 44,6 (^{\circ}\text{C}), \quad t_{\text{ст}1} = 80 - \frac{161,9}{7029} = 56,9 (^{\circ}\text{C}).$$

Оскільки різниця між раніше прийнятими та розрахунковими температурами стінки складає менше 10 °С, то уточнювати розрахунки не потрібно.

Необхідна площа поверхні теплообміну

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{cp}}, \quad (4.20)$$

$$F = \frac{400 \cdot 10^3}{3511 \cdot 46,1} = 2,47 \text{ (м}^2\text{)}.$$

4.2 Конструктивний розрахунок теплообмінника

Площа поперечного перерізу пакета:

-по стороні ходу “гарячого” теплоносія

$$f_{\text{пакета1}} = \frac{V_1}{w_1 \cdot n_1}, \quad (4.21)$$

$$f_{\text{пакета1}} = \frac{4,9 \cdot 10^{-3}}{0,58} = 8,48 \cdot 10^{-3} \text{ (м}^2\text{)}.$$

-по стороні ходу “холодного” теплоносія

$$f_{\text{пакета2}} = \frac{V_2}{w_2}, \quad (4.22)$$

$$f_{\text{пакета2}} = \frac{2,1 \cdot 10^{-3}}{0,25} = 8,4 \cdot 10^{-3} \text{ (м}^2\text{)}.$$

Число паралельних каналів в одному пакеті:

-для “гарячого” теплоносія

$$n_{k1} = \frac{f_{\text{пакета1}}}{f_{\text{каналу}}}, \quad (4.23)$$

$$n_{k1} = \frac{8,48 \cdot 10^{-3}}{1,3 \cdot 10^{-3}} = 6,52 \text{ (шт)}, \text{ приймаємо } n_{k1} = 7 \text{ шт.};$$

-для “холодного” теплоносія

$$n_{k2} = \frac{f_{\text{пакета2}}}{f_{\text{каналу}}}, \quad (4.24)$$

$$n_{k2} = \frac{8,4 \cdot 10^{-3}}{1,3 \cdot 10^{-3}} = 6,46, \text{ приймаємо } n_{k2} = 7 \text{ шт.};$$

Число пластин в теплообміннику

$$n = n_1 \cdot n_{k1} + n_2 \cdot n_{k2}, \quad (4.25)$$

$$n = 1 \cdot 7 + 1 \cdot 7 = 14 \text{ (шт)}.$$

Площа теплообміну пластин

$$F_{\text{пакета}} = n \cdot f_1, \quad (4.25)$$

$$F_{\text{пакета}} = 14 \cdot 0,21 = 2,94 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Запас поверхні нагріву

$$\varepsilon = \frac{F_{\text{пакету}} - F}{F_{\text{пакету}}} 100\%, \quad (4.26)$$

21

$$\varepsilon = \frac{2,94 - 2,47}{2,94} 100\% = 15,9 \text{ (\%)}.$$

4.3 Гідравлічний розрахунок пластинчастого водонагрівача

Коефіцієнти загального гідравлічного опору одиниці довжини каналу

$$\xi_1 = \frac{5,8}{\text{Re}_1^{0,25}}, \quad (4.27)$$

$$\xi_1 = \frac{5,8}{14251^{0,25}} = 0,53.$$

$$\xi_2 = \frac{5,8}{\text{Re}_2^{0,25}}, \quad (4.28)$$

$$\xi_2 = \frac{5,8}{2511^{0,25}} = 0,805.$$

Гідравлічний опір пакетів пластин

$$\Delta P_1 = \frac{\xi_1 \cdot L_{\text{np}} \cdot \rho_1 \cdot w_1^2 \cdot n_1}{d_e \cdot 2}, \quad (4.29)$$

$$\Delta P_1 = \frac{0,53 \cdot 0,7 \cdot 970 \cdot 0,58^2 \cdot 1}{0,0068 \cdot 2} = 7038 (\text{Па}) \text{ або } 7,04 (\text{кПа}).$$

$$\Delta P_2 = \frac{\xi_2 \cdot L_{\text{шп}} \cdot \rho_2 \cdot w_2^2 \cdot n_2}{d_e \cdot 2}, \quad (4.30)$$

$$\Delta P_2 = \frac{0,805 \cdot 0,7 \cdot 995 \cdot 0,25^2 \cdot 2}{0,0068 \cdot 2} = 2037 (\text{Па}) \text{ або } 2,04 (\text{кПа}).$$

Перевіримо швидкість руху теплоносіїв в штуцерах

$$w_{\text{шт1}} = \frac{4 \cdot V_1}{\pi \cdot d_{\text{шт}}^2}, \quad (4.31)$$

$$w_{\text{шт1}} = \frac{4 \cdot 4,9 \cdot 10^{-3}}{3,14 \cdot 0,07^2} = 1,27 \text{ (м/с)}.$$

$$w_{\text{шт2}} = \frac{4 \cdot V_2}{\pi \cdot d_{\text{шт}}^2}, \quad (4.32)$$

$$w_{\text{шт2}} = \frac{4 \cdot 2,1 \cdot 10^{-3}}{3,14 \cdot 0,07_{\text{шт}}^2} = 0,545 \text{ (м/с)}.$$

Оскільки швидкість теплоносіїв в штуцері менша допустимих $1,27 < 2,5$ (м/с) та $0,545 < 2,5$ (м/с), то місцевий опір штуцерів враховано при розрахунку ξ_1 і ξ_2 .

Потужність, необхідна для подолання гідравлічних опорів при протіканні “гарячого” та “холодного” теплоносія

$$N_1 = \frac{V_1 \cdot \Delta P_1}{\eta_{\text{насоса}}}, \quad (4.33)$$

$$N_1 = \frac{4,9 \cdot 10^{-3} \cdot 7038}{0,65} = 53,06 \text{ (Вт)}.$$

$$N_2 = \frac{V_2 \cdot \Delta P_2}{\eta_{\text{насоса}}}, \quad (4.34)$$

$$N_2 = \frac{2,1 \cdot 10^{-3} \cdot 2037}{0,65} = 6,6 \text{ (Вт)}.$$

4.4 Розрахунок товщини теплоізоляції теплообмінного апарату

Початкові дані: температура грійної води в теплообміннику $t_b = 800 \text{ }^\circ\text{C}$; теплообмінник має плоскі стінки; нормативні питомі тепловтрати з поверхні теплоізоляції $q = 30 \text{ Вт/м}^2$; температура повітря в приміщенні $t_{\text{пов}} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$; конструкція ізоляція – пінополіуретан ($\lambda_{\text{п}} = 0,036 \text{ Вт/мК}$).

Теплофізичні характеристики повітря при температурі $t_{\text{пов}} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ [5] :

коефіцієнт теплопровідності $\lambda_{\text{п}} = 2,59 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$;

коефіцієнт кінематичної в'язкості $\nu_{\text{п}} = 15,06 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$;

критерій Прантля $Pr_{\text{п}} = 0,703$;

В першому наближенні приймаємо температуру стінки $t_{\text{ст}} = 28 \text{ }^\circ\text{C}$, тоді критерій Прантля для стінки $Pr_{\text{ст}} = 0,701$.

Безрозмірний коефіцієнт термічного розширення середовища, для повітря

$$\beta = \frac{1}{273 + t_{\text{пов}}}, \quad (4.34)$$

$$\beta = \frac{1}{273 + 20} = 0,00341.$$

Критерій Грасгофа

$$Gr = \frac{g \cdot \Delta t \cdot l^{*3} \cdot \beta}{\nu^2}, \quad (4.35)$$

$$Gr = \frac{9,8 \cdot (28 - 20) \cdot 0,7^3 \cdot 0,00341}{15,06 \cdot 10^{-6}} = 0,404 \cdot 10^9.$$

де g – прискорення вільного падіння, m^2/c ;

Δt – перепад температур між стінкою і повітрям, $^{\circ}C$;

l^* – визначальний розмір, mm ;

ν – кінематична в'язкість, (m^2/c) .

Критерій Релея

$$Ra = Gr \cdot Pr, \quad (4.36)$$

$$Ra = 0,404 \cdot 10^9 \cdot 0,703 = 0,284 \cdot 10^9.$$

Критерій Нусельта

$$Nu = c \cdot Ra^n \cdot (Pr / Pr_{ст})^{0,25}, \quad (4.37)$$

де c і n – значення з таблиці [5];

$$Nu = 0,15 \cdot (0,284 \cdot 10^9)^{0,333} \cdot (0,701 / 0,703)^{0,25} = 98,6.$$

Визначаємо коефіцієнт тепловіддачі

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{l}, \quad (4.38)$$

$$\alpha = \frac{98,6 \cdot 0,0259}{0,7} = 3,64 \text{ (Вт / м}^2 \cdot \text{К)}.$$

Температура на стінці теплоізоляції теплообмінника

$$t_{\text{ст}} = t_{\text{пов}} + \frac{q}{\alpha}, \quad (4.37)$$

$$t_{\text{ст}} = 20 + \frac{30}{3,64} = 28,2 \text{ (}^{\circ}\text{C)}.$$

Оскільки різниця між раніше прийнятою та розрахованою температурами стінки не перевищує 1 °С, то уточнювати розрахунки не потрібно.

Товщина шару теплоізоляції

$$\delta_{\text{із}} = \lambda_{\text{із}} \left(\frac{\Delta t}{q} - \left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} + \frac{1}{\alpha_2} \right) \right), \quad (4.38)$$

$$\delta_{\text{із}} = \left(\frac{80 - 20}{30} - \frac{1}{14577} - \frac{1}{3,64} \right) \cdot 0,036 = 0,0649 \text{ (м)}.$$

Отже, товщина стінки ізоляції 65 мм.

4.5 Математичне моделювання

На основі формул, наведених в даному розділі виконано математичне моделювання показників пластинчастого теплообмінника потужністю 400 кВт

для підготовки гарячого водопостачання при зміні швидкостей теплоносіїв в міжпластинних каналах.

Результати моделювання впливу швидкості теплоносіїв на економічні показники теплообмінника наведені на рисунку 4.1.

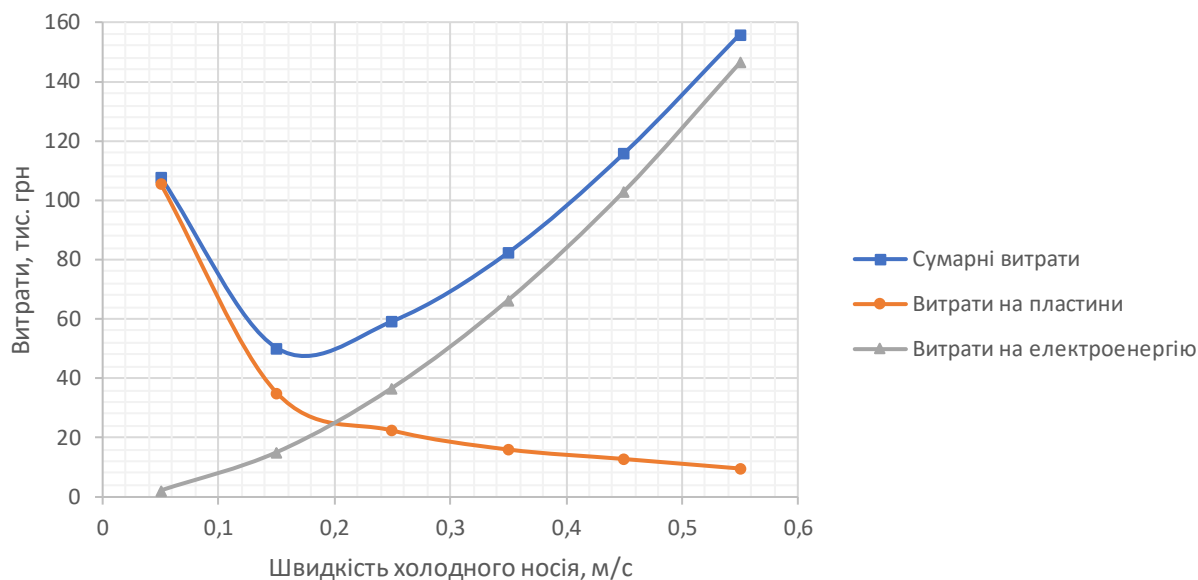


Рисунок 4.1 – Вплив швидкості теплоносія в каналах на витрати на пластини та на подолання гідравлічного опору

Як видно з рис. 4.1, на малих швидкостях теплоносіїв значно збільшуються витрати на пластини, оскільки падає інтенсивність теплопередачі і зростає поверхня теплообміну. А на високих швидкостях теплоносіїв суттєво зростає гідравлічний опір міжпластинних каналів і витрати електроенергії на прокачування теплоносіїв через теплообмінник.

Згідно отриманих результатів оптимальною швидкістю холодного теплоносія є 0,15...0,25 м/с. Тому в подальшому проектуванні було прийнято швидкість холодного теплоносія 0,25 м/с і відповідна їй швидкість гарячого теплоносія 0,58 м/с.

4.6 Вибір комплектуючих та методи виконання монтажних робіт

4.6.1 Розрахунок та комплектування основних та допоміжних матеріалів та виробів наведенні у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 Відомість витрат матеріалів

№ п.п	Найменування матеріалу	Одиниці вимірювання	Кількість	Маса одиниці, кг	Маса, кг
1	2	3	4	5	6
Потреба в основних матеріалах					
1	Водоводяний пластинчатий теплообмінник THERMAKS PTA (GL)-13-P-0488, $F_{то} = 2,35 \text{ м}^2$	шт	1	105,84	105,84
2	Насос K50-32-125 відцентровий, горизонтальний, консольний моноблочний [3]	шт	2	56	112
3	Засувки міжфланцеві EFEKT Ду 100 [4]	шт	2	5,4	10,8
4	Засувки міжфланцеві EFEKT Ду 65	шт	7	3,7	25,9
5	Клапан NORVA 435, Ду 65	шт	2	16	32
6	Лічильник холодної води WPK-UA 65*B, DN65 [5],	шт	1	14	14
7	Перехід концентричний 65/50 (L=89 мм) (ВТ).	шт	4	0,47	1,88

Продовження табл. 4.1

1	2	3	4	5	6
8	Перехід концентричний 100/50 (L=102 мм)	шт	2	1,7	3,4
9	Перехід концентричний 65/32 (L=89 мм)	шт	4	0,47	1,88
10	Кран шаровий фланцевий Du 50	шт	6	7,41	44,46
11	Труба сталева електрозварна ДСТУ 8943:2019, Ду 100	м	3,8	10,2	38,76
13	Труба сталева електрозварна ДСТУ 8943:2019, Ду 65	м	22,7	5,4	122,58
11	Теплоізоляційний циліндр Sweetondale, діаметром 76 мм товщиною 40 мм [6]	м	22,7	1,61	36,55
12	Теплоізоляційний циліндр Sweetondale, діаметром 108 мм товщиною 40 мм [6]	м	3,8	2,05	7,79
13	Манометр технічний	шт	4	0,27	1,08
	Термометр біметалевий трубчастий	шт	3	0,13	0,39
Потреба у допоміжних матеріалах					
для монтажу теплообмінника [7]					
16	Азбестовий картон загального призначення (КАОН-1), товщина 2 мм	т	1	0,0027	2,7
17	Електроди , діаметр 4 мм, марка Е42А	т	1	0,00051	0,51
18	Оліфа натуральна	кг	1	0,02	0,02

Продовження табл. 4.1

1	2	3	4	5	6
19	Прокладки гумові (пластина технічна пресована)	кг	1	0,01	0,01
20	Болти з гайками та шайбами, діаметр 16 мм	т	1	0,00254	2,54
21	Фланці плоскі приварні із сталі ВСт3сп2, ВСт3сп3, тиск 1,0 Мпа, діаметр 50 мм	шт	4	2,06	8,24
22	Пароніт	т	1	0,00022	0,22
23	Фарба земляна густотерта на, мумія, сурик залізний	т	1	0,00008	0,08
24	Вода	м³	1	0,26	260
для монтажу термометрів і манометрів [7]					
25	Масло індустріальне И-20А	т	7	0,00011	0,77
26	Оліфа натуральна	кг	7	0,01	0,07
27	Очіс льняний	т	7	0,00001	0,07
28	Фарба земляна густотерта олійна, мумія, сурик залізний	т	7	0,00001	0,07
для монтажу засувки та зворотних клапанів Ду 100, Ду 65 [8]					
34	Болти з гайками з шестигранною головкою діаметром 12 (14) мм	т	0,9	0,071	63,9
35	Пластина гумова рулонна вулканізована	кг	0,9	1,7	1,53
для монтажу трубопроводів Ду 100, Ду 65 [8]					
37	Круги армовані абразивні зачисні Ø 180 x 6 мм	шт	0,039*0,508+ 0,123*0,762	0,36	0,36
38	Пароніт	т	0,039 0,123	0,003 0,005	0,732
39	Електроди , діаметр 4 мм,	т	0,161	0,005	0,805

Продовження табл. 4.1

1	2	3	4	5	6
41	Фланці плоскі приварні із сталі ВСт3сп2, ВСт3сп2, тиск 1,0 МПа, діаметр 100 мм	шт	4	3,96	15,84
42	Фланці плоскі приварні із сталі ВСт3сп2, ВСт3сп2, тиск 1,0 МПа, діаметр 65 мм	шт	14	2,8	39,2
для монтажу теплової ізоляції трубопроводів Ду 100, Ду 65 [9]					
43	Стрічка сталеві пакувальна, а, нормальної точності 0,7 мм х мм – 50 мм)	т	0,38 2,27	0,00287 0,00253	6,834
44	Пряжки	кг	0,38 2,27	0,09	0,239
для гідравлічного випробування трубопроводів [7]					
47	Фарба земляна густотерта на, мумія, сурик залізний	т	0,265	0,00005	0,013
48	Оліфа натуральна	кг	0,265	0,02	0,005
49	Очіс льняний	т	0,265	0,00002	0,005
50	Вода	м ³	0,265	3,8	1007
для монтажу насосів [7]					
51	Електроди, діаметр 4 мм, марка Е42	т	2	0,00039	0,78
52	Прокладки гумові (пластина гумова технічна пресована)	кг	2	0,07	0,14
53	Болти з гайками та шайбами, діаметр 16 мм	т	2	0,00127	2,54
	Розчин готовий кладковий важкий цементний, марка М50	м ³	2	0,014	50,4

Продовження табл. 4.1

1	2	3	4	5	6
54	Фланці плоскі приварні із сталі ВСт3сп2, ВСт3сп3, тиск 1 МПа [10 кгс/см ²], діаметр 50 мм	шт	2	2,06	4,12
	Фланці плоскі приварні із сталі ВСт3сп2, ВСт3сп3, тиск 1 МПа [10 кгс/см ²], діаметр 32 мм	шт	2	1,4	2,8
для монтажу лічильника холодної води WPK-UA 65*B, DN65 [7]					
	Електроди, діаметр 4 мм, марка Е42	т	1	0,00054	0,54
	Прокладки гумові (пластина технічна пресована)	кг	1	0,15	0,15
	Болти з гайками та шайбами, діаметр 16 мм	т	1	0,0015	1,5
	Фланці плоскі приварні із сталі ВСт3сп2, ВСт3сп2, тиск 1,0 МПа, діаметр 65 мм	шт	2	2,8	5,6
	Розчин готовий кладковий важкий цементний, марка М50	м ³	1*0,0001	1800	0,18
	Кріплення для трубопроводів (кронштейни, планки, хомути)	кг	1	7,1	7,1

Маса основного обладнання і матеріалів – 559,31кг.

Маса допоміжних матеріалів (без води) – 220,61 кг.

Необхідна кількість води – 1,267 т.

Маса для доставки – 950,83 кг.

4.6.2 Методи виконання робіт з монтажу теплообмінника

До початку збирання пластинчатого теплообмінного пристрою необхідно провести детальний огляд усіх складових елементів, щоб упевнитися в їх працездатності та належному очищенні. Теплообмінні пластини потребують попереднього очищення - їх слід витерти та промити розчином харчової соди в теплій воді. Також важливо перевірити стан еластичних ущільнювальних елементів, обстежити штанги та різьбові з'єднання затискних механізмів, які рекомендується злегка обробити мастильними речовинами.

Особливу увагу слід приділити огляду гумових ущільнень, розташованих на притискних та проміжних плитах. Встановлення пластин має відбуватися строго за визначеною послідовністю згідно з маркуванням (відповідно до серійних позначень) та технологічними схемами розташування елементів.

Порушення встановленого порядку розміщення пластин може спричинити збої в циркуляції теплоносіїв та призвести до відхилень у температурному режимі роботи системи. Після завершення монтажу всіх пластин та плит на направляючі елементи встановлюються дистанційні втулки, після чого за допомогою спеціального інструменту здійснюється стиснення пластин через муфтові з'єднання.

Для запобігання деформацій необхідно забезпечити рівномірне затягування гвинтових муфт на обох штангах до моменту співпадіння контрольних позначок на дистанційних втулках з центральними рисками вертикальних розпірок штанг.

Збирання теплообмінного обладнання здійснюється згідно з проектною документацією та технічними інструкціями виробника устаткування.

Пластинчасті теплообмінні пристрої надходять у повністю зібраному стані, розміщені горизонтально на нерухомій основі або вертикально на металевих чи дерев'яних платформах. Транспортування може здійснюватися за допомогою підйомно-транспортного обладнання.

При переміщенні теплообмінника обов'язково використовують спеціально призначені кріпильні елементи або конструктивні частини рами. Категорично

заборонено застосовувати для підйому кріпильні болти або приєднувальні трубопроводи.

Алгоритм дій при встановленні пластинчатого теплообмінника:

- демонтувати всі кріпильні гвинти та елементи транспортувальної основи
- закріпити підйомні ременні стропи до болтових з'єднань з обох сторін агрегату (застосування металевих тросів заборонено)
- обережно підняти теплообмінник, дотримуючись центру тяжіння
- транспортувати устаткування до місця постійного розташування
- плавно опустити теплообмінник, одночасно надаючи йому остаточного положення
- демонтувати підйомні пристрої та закріпити агрегат

Всі трубопровідні з'єднання з теплообмінником повинні мати запірну арматуру. Нижні підключення обладнуються дренажними вентилями, а верхні - повітровипускними пристроями. Регулювальна арматура на лінії гарячого теплоносія встановлюється на подавальному трубопроводі між циркуляційним насосом та відсічним клапаном.

Завершальним етапом монтажних робіт є проведення гідравлічних випробувань теплообмінного апарату перед введенням його в експлуатацію.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

У цьому розділі бакалаврської роботи розроблені заходи з охорони праці під час виконання робіт з підвищення енергоефективності котельні комунального підприємства «Вінницяобленерго». На будівельно-монтажний персонал, який здійснює монтажні та налагоджувальні роботи з підвищення енергоефективності котельні, впливають такі шкідливі виробничі фактори [1, 2]:

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

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

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

5.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкту

5.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць

Під час монтажу інженерного обладнання теплової схеми (прокладання трубопроводів, монтаж сантехнічного, опалювального, вентиляційного та газового обладнання), з метою запобігання впливу на працівників цих шкідливих виробничих факторів, потрібно дотримуватися вимог [3], а саме:

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

додержанням заходів безпеки під час виконання робіт у траншеях і

колодязях;

додержанням спеціальних заходів безпеки під час травлення і знежирення трубопроводів.

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

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

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

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

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

чи поблизу кінців труб, що продуваються.

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

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

Безпека випробувань обладнання та трубопроводів повинна бути забезпечена відповідно до вимог [3], заходів з безпеки праці, зазначених у проектно-технологічній документації (ПОБ, ПВР тощо), а також відповідно до опрацювання та дотримання: плану випробувань; вимог безпеки під час виконання робіт у траншеях, колодязях і на висоті; заходів безпеки під час пневматичних випробувань обладнання та трубопроводів, випробування обладнання під навантаженням.

Випробування обладнання та трубопроводів необхідно виконувати під безпосереднім керівництвом спеціально призначеної особи з числа фахівців монтажно-ї організації. Випробування змонтованого обладнання потрібно виконувати відповідно до вимог [3], правил та інструкцій, затверджених органами Держпраці, а також інструкцій заводу-виробника з експлуатації даного обладнання.

Перед випробуванням обладнання необхідно: керівнику робіт ознайомити персонал, який бере участь у випробуваннях, з порядком проведення робіт і заходами їх безпечного виконання; попередити працюючих на суміжних ділянках про час проведення випробувань; забезпечити візуальну, а за необхідності, за допомогою приладів, перевірку кріплення устаткування, стану ізоляції та заземлення електричної частини, наявності та справності арматури, пускових і гальмівних пристроїв, контрольно-вимірювальних приладів і

заглушок; огородити і позначити відповідними знаками зону випробувань; за необхідності улаштувати аварійну сигналізацію; забезпечити можливість аварійного вимкнення обладнання, що випробовується; перевірити відсутність усередині і ззовні обладнання сторонніх предметів; означити попереджувальними знаками тимчасові заглушки, люки та фланцеві з'єднання; обладнати пости з розрахунку один пост у межах видимості іншого, але не рідше ніж через кожних 200 м один від одного для попередження про небезпечну зону; визначити місця й умови безпечного перебування осіб, зайнятих випробуванням; забезпечити готовність засобів пожежогасіння й обслуговуючого персоналу, який може бути задіяний для ліквідації пожежі; забезпечити освітленість робочих місць не менше ніж 50 лк; призначити осіб, відповідальних за виконання заходів безпеки, передбачених програмою випробувань.

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

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

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

5.1.2 Електробезпека

Живлення силового будівельного обладнання та систем освітлення здійснюється від чотирьохпровідної трифазної мережі 380 х 220В (фазна напруга (фаза – "0") – 220В, а міжфазна лінійна (фаза – фаза) – 380В), з'єднаної з силовим трансформатором. Проектування та експлуатація електричних мереж і установок повинна здійснюватися за умови дотримання вимог з їхньої електробезпеки [4, 5]. Категорія умов за небезпекою електротравматизму – підвищеної небезпеки, у зв'язку з наявністю на об'єктах, що будуються та реконструюються, струмопровідної підлоги.

Технічні рішення щодо запобігання електротравмам [4, 5]: для запобігання електротравм від контакту з нормально-струмопровідними елементами електроустаткування, необхідно: розмішувати неізольовані струмопровідні елементи в окремих приміщеннях з обмеженим доступом, у металевих шафах; використовувати засоби орієнтації в електроустаткуванні - написи, таблички, попереджувальні знаки; підвід кабелів до споживачів здійснювати у закритих конструкціях підлоги; персонал, який обслуговує електроустановки, повинен бути забезпечений випробуваними основними та допоміжними електрозахисними засобами. Основні (до 1000В): ізолювальні штанги; ізолювальні та струмовимірювальні кліщі; покажчики напруги; діелектричні рукавиці; слюсарно-монтажний інструмент з ізольованими ручками; додаткові (до 1000 В): діелектричні калоші; діелектричні килимки; переносні заземлення; ізолювальні накладки і підставки; захисні пристрої; плакати і знаки безпеки.

5.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

5.2.1 Мікроклімат

Для забезпечення нормального мікроклімату в робочій зоні [6] встановлені нормовані параметри, значення яких наведені в таблиці 5.1.

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

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

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату проектом передбачено [7]: температура внутрішніх поверхонь будівельних конструкцій робочої зони і зовнішніх поверхонь обладнання при забезпеченні допустимих параметрів мікроклімату не повинна перевищувати 2°C; якщо температура поверхонь вище або нижче допустимої температури повітря, то робочі місця повинні бути віддалені від них на відстань не менше 1 м; для забезпечення нормованих значень швидкості руху повітря проектом передбачається витяжна та припливна вентиляційні системи.

5.2.2 Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується граничнодопустимими концентраціями (ГДК) в мг/м³ [6]. Нормовані параметри забруднення повітря в робочій зоні наведено в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Можливі забруднювачі повітря можуть і їх ГДК

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

Для нормалізації складу повітря робочої зони потрібно здійснювати щоденне прибирання робочого місця [7]. Потрібно підкреслити, що будь-яке нагромадження пилу може привести до загоряння. Чим дрібніше пил (менша зернистість), тим вище небезпека.

5.2.3 Виробниче освітлення

Характеристика зорових робіт – середньої точності.

Відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 розряд зорової роботи IV, підрозряд «в» [8]. Допустимі рівні виробничого освітлення наведені в таблиці 5.3.

Для забезпечення достатнього освітлення здійснюють систематичне очищення скла та світильників від пилу (не рідше двох разів на рік), використовують жалюзі. В разі нестачі природного освітлення, використовують загальне штучне освітлення, що створюється за допомогою світлодіодних ламп E27 LED 15W NW A60 "SG". Висота підвісу світильників над робочою поверхнею 2,5 метра. Світильники з світлодіодними лампами розміщують рядами; що дозволяє здійснювати їх послідовне включення (відключення) в залежності від величини природної освітленості.

Таблиця 5.3 – Вимоги до освітлення приміщень виробничих підприємств

Харак- ка зорової роботи	Най- менший або еквівале- нтний розмір об'єкта розрізне- ння, мм	Роз- ряд зоро- вої роботи	Під- розряд зорової роботи	Контраст об'єкта з фоном	Характе- ристика фону	Штучне при- родне системі Комбіновано- го освітлення		Приро- дне Ен пр	Сумі- сне Е сум
						всього	у т. ч. від загаль- ного		
Серед- ньої точності	Від 0,5 до 1,0 включно	IV	в	малий середній великий	світ- лий середній темний	400	200	4	2,4

Продовження табл. 5.5

Загальна віббрація: На постійній робочій місцях в виробничих приміщеннях	$\frac{1,3}{108}$	$\frac{0,45}{99}$	$\frac{0,22}{93}$	$\frac{0,2}{92}$	$\frac{0,2}{92}$	$\frac{0,2}{92}$	-	-	-	-
Локальна вібрація	-	-	$\frac{2,8}{115}$	$\frac{1,4}{109}$	$\frac{1,4}{109}$	$\frac{1,4}{109}$	$\frac{1,4}{109}$	$\frac{1,4}{109}$	$\frac{1,4}{109}$	$\frac{1,4}{109}$

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

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

5.3 Пожежна безпека

Пожежну безпеку промислових і інших об'єктів регламентують Правила пожежної безпеки в Україні [11, 12]. Пожежо- вибухонебезпечність речовин і матеріалів визначається за ДСТУ 8829:2019 [13], за якою визначається категорія приміщень за вибуховою та пожежною безпекою [14].

Отже, приміщення, де встановлене нагрівальне обладнання, за вибухонебезпечною та пожежонебезпечною відноситься до категорії Г – негорючі речовини і/або матеріали у гарячому стані; горючі гази, рідини і/або тверді

речовини, що спалюються або утилізуються як паливо з зонами П-Іа, де є тверді горючі речовини чи матеріали.

Будівля, в якій розташовані ці приміщення, характеризується II ступенем вогнестійкості. До II ступеня вогнестійкості відносяться будинки з несучими та огорожувальними конструкціями з природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону, залізобетону із застосуванням листових і плитних негорючих матеріалів. Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвилинах) та максимальні межі поширення вогню по них (см) за ДБН В.1.1.7-2016 [15] наведено в таблиці 6.6.

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

Ступінь вогнестійкості будинків	Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвилинах) і максимальні межі поширення вогню по них (см)								
	стіни				коло-ни	сходові площад-ки, костури, сходи, балки, марші сходових кліток	пере-криття між по-верхові (у т.ч. горищні та над підвалами	елементи суміщених покриттів	
	несучі та сходових кліток	само-несучі	зовнішні не-несучі	внутрішні не-несучі (перегородки				плити, настінні, прогонні	балки, ферми, арки, рами
II	REI 120 M0	REI 60 M0	E 15 M0	E1 15 M0	R 120 M0	R 60 M0	REI 45 M0	RE 15 M0	R 30 M0

Протипожежні перешкоди і мінімальні межі їх вогнестійкості за ДБН В.1.1.7-2016 [15] наведено в таблиці 6.7.

Таблиця 5.7 – Протипожежні перешкоди та мінімальні межі їх вогнестійкості

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

Протипожежні відстані між житловими, громадськими, адміністративно-побутовими будинками промислових підприємств, гаражами слід приймати за таблицею 6.8 (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 6.8. Протипожежні відстані від житлових, громадських, адміністративно-побутових будинків промислових підприємств, гаражів до виробничих, складських будинків і споруд слід приймати за таблицею 6.8 (знаменник) [15].

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

Ступінь вогнестійкості будинку	Відстані при ступені вогнестійкості будинків, м		
	I, II	III	IIIa, IIIб, IV, IVa, V
I, II	6/9	8/9	10/12

На території котельної встановлено 16 вогнегасників ВВП-8 (ВП-5) і 12 газових вогнегасників ВВК-7 [16].

ВИСНОВКИ

Бакалаврська кваліфікаційна робота присвячена актуальній проблемі підвищення енергоефективності котельні комунального підприємства «Вінницяоблтеплоенерго» в умовах зростання цін на енергоресурси та необхідності зниження негативного впливу на довкілля

В роботі проведено детальний аналіз існуючої теплової схеми водогрійної котельної установки з двома твердопаливними агрегатами BRS 2500 LM номінальною потужністю по 2,5 МВт кожен та двома газопалювальними котлами ARS 2000 BMT потужністю по 2 МВт кожен

Коефіцієнт корисної дії теплогенераторів становить 92% при умові інсталяції циклонних теплоутилізаторів.

Для максимального опалювального режиму визначено: Загальна потужність котельні: 3,955 МВт; Витрата мережної води: 46,5 кг/с; ККД котельні: 0,816; Питома витрата умовного палива: 140,2 кг/ГДж

Проведено порівняльний аналіз п'яти варіантів системи гарячого водопостачання потужністю 400 кВт

Твердопаливна котельня на щепі: ККД 80%, капітальні витрати 450 000 грн, експлуатаційні витрати 2 087 144 грн/рік; Тепловий насос: COP 4, капітальні витрати 1 500 000 грн, експлуатаційні витрати 3 724 000 грн/рік; Сонячні колектори: ефективність 28% (60% від ВДЕ), капітальні витрати 1 500 000 грн, експлуатаційні витрати 5 989 184 грн/рік; Ємкісні електронагрівники: ККД 98%, капітальні витрати 450 000 грн, експлуатаційні витрати 14 497 040 грн/рік; Комбінована система: капітальні витрати 1 750 000 грн, експлуатаційні витрати 2 910 571 грн/рік

Економічний аналіз за 10 років експлуатації показав: найнижча загальна вартість: котельня на щепі (21 321 440 грн); комбінована система: 30 855 710 грн.; найвища вартість: ємкісні електронагрівники (145 420 400 грн)

Аналіз викидів CO₂ показав: тепловий насос: 175 т/рік (найнижчі викиди); сонячні колектори: 286 т/рік; комбінована система: 401 т/рік ; котельня на щепі: 626 т/рік; ємкісні електронагрівники: 715 т/рік (найвищі викиди)

Виконано повний розрахунок пластинчастого теплообмінника потужністю 400 кВт: необхідна площа поверхні теплообміну: 2,47 м²; коефіцієнт теплопередачі: 3511 Вт/м²К; число пластин: 14 шт; товщина теплоізоляції: 65 мм

Оптимальне рішення: комбінована система (котельня на щепі в холодний період + тепловий насос у теплий період) забезпечує найкращий баланс між енергоефективністю, економічністю та екологічністю.

Хоча котельня на щепі має найнижчу загальну вартість, комбінована система демонструє кращі довгострокові перспективи з урахуванням екологічних факторів, тепловий насос в теплий період дозволяє значно знизити викиди CO₂ порівняно з використанням лише твердопаливної котельні.

Визначено діаметри трубопроводів для забезпечення транспортування теплоносіїв теплообмінника, а саме діаметр трубопровода холодної і гарячої води обрано 76×3 мм, , діаметр трубопровода мережної води – 108×4,0 мм.

Розроблено монтажну схему та складено відомість основних та допоміжних матеріалів, необхідних для монтажу системи підготовки гарячої води. При цьому основного обладнання і матеріалів склала 559,31 кг, а допоміжного – 220,61 кг.

Заходи з охорони праці передбачають систему вентиляції зі швидкістю повітря 0,4 м/с, що підтримує температуру 18–27 °С та вологість ≤65%. Встановлено 16 вогнегасників ВВП-8 та 12 газових ВВК-7, що відповідає вимогам ДБН В.1.1.7-2016. Автоматизовані системи контролю температури та тиску мінімізують ризики аварій.

Робота має практичну цінність для комунального підприємства «Вінницяоблтеплоенерго». Також можливо використовувати як основу для прийняття рішень щодо модернізації інших котелень схожої конструкції.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Котурбач, О. М. Енергоефективність систем теплопостачання та гарячого водопостачання. Київ: Техніка, 2019.
2. Ткаченко С. Й. , Чепурний М. М. , Степанов Д. В. Розрахунки теплових схем і основи проектування джерел теплопостачання : навч. посіб. Вінниця: ВНТУ, 2005. 137с.
3. О. Г. Лялюк Економіка енергетики: практикум. Вінниця: ВНТУ, 2009 118с.
4. Шилов Е. Й., Гойко А. Ф., Ізмайлова Е. В. Складання кошторисної документації за допомогою укрупнених показників: навч. посіб. Київ : КНУБА, 2001. 127 с.
5. Співак О. Ю., Резидент Н. В. Тепломасообмін. Частина I : навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2021. 113 с.
6. Ткаченко С. Й., Степанова Н. Д. Гідрогазодинаміка в прикладах і задачах: навч. посіб. Вінниця: ВНТУ, 2012. 180 с.
7. Чепурний М. М., Ткаченко С. Й. Розрахунки тепломасообмінних апаратів. Вінниця: ВНТУ, 2006. 129 с.
8. ДБН В.2.5-64:2012. Внутрішній водопровід і каналізація. Частина II. Норми проектування. Київ: Мінрегіон України, 2012. ДСТУ Б В.2.5-39:2008. Опалення, вентиляція та кондиціонування. Проектування та монтаж. Київ: Держбуд України, 2008.
9. Методичні вказівки з проектування систем гарячого водопостачання. Харків: ХНУБА, 2017. ДСТУ ISO 50001:2019. Системи енергетичного менеджменту. Вимоги та настанови щодо застосування.
10. Програма автоматичного підбору насосів Grundfoss. URL: https://productselection.grundfos.com/frontpage.html?custid=GMO%3Fcmpid%3Dba%3Aoff%3Agfe%3Aww_%3A%3Acok_2&qcid=772254793 (дата звернення 19.05.2025 р.)

11. Сайт teploterm.ua. URL : <http://www.teploterm.ua/membrannyj-bak-zilmet-cal-pro-150-ob-emom-150-l-dlja-sistem-otoplenija.html> (дата звернення 19.06.2025 р.)

12. Сайт prom.ua. URL : <http://pp-hanest.prom.ua/g1873514-dymovye-truby-dymohody>. (дата звернення 19.05.2025 р.)

13. О. Г. Лялюк Економіка енергетики : практикум Вінниця: ВНТУ, 2009. 118 с.

14. ДСТУ 8943:2019. Труби сталеві електрозварні. Технічні умови. : Чинний від 2021-01-01. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2020. 20 с. (Національні стандарти України). URL : http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=86389. (дата звернення 07.04.2025 р.).

15. ДСТУ Б А.2.4-4: 2009 Основні вимоги до проектної та робочої документації. URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_b_a_2_4_4_2009/5-1-0-781 (дата звернення 07.04.2025 р.).

16. Насос K50-32-125. URL : <https://konsolnik.com.ua/nasosyi-konsolnyie-k-km/nasos-k50-32-125/> (дата звернення 07.04.2025 р.).

17. Засувка Батерфляй Ду 100 ЕФЕКТ з чавунним диском ущільнення EPDM. URL : <https://teplokor.com.ua/products/butterfly-valve-du-100> (дата звернення 07.04.2025 р.).

18. ЛІЧИЛЬНИК ХОЛОДНОЇ ВОДИ WPK 65, ТУРБІННИЙ, ФЛАНЦОВЕ З'ЄДНАННЯ GROSSR 100. URL: <https://akvateh.dp.ua/ua/p19200766-schetchik-holodnoj-vody.html>. (дата звернення 07.04.2025 р.).

19. Технічна ізоляція та вогнезахист. ЦИЛІНДР. URL: <https://sweetondale.cz/materials/materiali-dlya-tekhnichnoi-izolyatsii-ta-vognezakhist/tsilindr/> . (дата звернення 07.04.202 р.).

20. 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-aebfaf65aba18177.pdf

(дата звернення 07.05.2025 р.).

21. 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://econstruction.gov.ua/files/upload/2022-12-28/503fe171-e113-488b-8d73-9fcce5e9de05.pdf> (дата звернення 07.05.2025 р.).

22. 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/docpage.html?id_doc=58073.

23. 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 19.06.2025 р.)

24. 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.

25. 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.

26. 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>.

27. 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 19.06.2025 р.)

28. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування.

[Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. К. : Мінрегіонбуд України, 2013. 149 с.

29. 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.

30. 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.

31. 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 19.06.2025 р.)

ДОДАТКИ

Додаток А
(обов'язковий)

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: Підвищення енергоефективності котельні комунального підприємства «Вінницяоблтеплоенерго», Теплоенергетична частина

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

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

Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі системою StrikePlagiarism 26,8 %

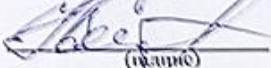
Висновок щодо перевірки кваліфікаційної роботи (відмітити потрібне)

- ☒ 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)


(підпис)

(підпис)

Особа, відповідальна за перевірку

(підпис)

Співак О.Ю.
(прізвище, ініціали)

З висновком експертної комісії ознайомлений(-на)

Керівник

(підпис)

(прізвище, ініціали, посада)

Степанов Д.В.

Здобувач

(підпис)

(прізвище, ініціали)

Ільченко Д.П.

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)

Міністерство освіти і науки України

Вінницький національний технічний університет

Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії

ПОГОДЖЕНО

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТЕ

к.т.н., доц.

Д.В. Степанов

(підпис)

" 24 "

2025р.

2025р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

На бакалаврську кваліфікаційну роботу:

«Підвищення енергоефективності котельні комунального підприємства

«Вінницяоблтеплоенерго» Теплоенергетична частина ».

08-15.БКП.007.00.00.000 ТЗ

Керівник роботи: к.т.н., доц,

Степанов Д.В.

Виконав: студент гр. ТЕ-23мс

Ільченко Д.П.

Вінниця 2025

1 Найменування об'єкта та область застосування

Розробка стосується комунальної теплоенергетики і модернізації водогрійної котельні, яка дозволить підвищити її економічність, енергетичну ефективність.

2 Підстава для розробки

Підставою для виконання роботи є індивідуальне завдання на бакалаврську кваліфікаційну роботу, вхідні дані з підприємства, наказ ректора ВНТУ про затвердження теми БКР № 97 від «20» березня 2025 року.

3 Мета і призначення розробки

Підвищення енергетичної та екологічної ефективності котельні шляхом встановлення пластинчастого теплообмінника та теплового насосу

4 Джерела розробки

Основою для розробки є індивідуальне завдання на бакалаврський кваліфікаційний проєкт, дані літературних джерел, інтернет джерел та інші технічні матеріали про ефективність застосування пластинчастого теплообмінника

1. Відрновлювані джерела енергії / За заг. ред. С.О. Кудрі. Київ: Інститут відрновлюваної енергетики НАНУ, 2020. 392 с

2. Степанов Д.В., Мартиненко В.В., Вудвуд О.С. «Ефективність різних джерел енергії для підготовки гарячої води» // Матеріали «ЛІІ Науково – технічна конференція факультету будівництва, цивільної та екологічної інженерії (2025)» Вінниця, 2025. [Електроний ресурс]. URL: <https://surli.cc/lwwcnx>. (дата зверення 29.05.2025).

3. Відрновлювана енергетика та енергоефективність у ХХІ столітті: матеріали ХХІІ міжнародної науково-практичної конференції (Київ, 20-21 травня 2021р.). К.: Інтерсервіс, 2021. 1104 с

5 Технічні вимоги

5.1 Технічні характеристики

- теплова потужність системи опалення 3800 кВт
- теплова потужність гарячого водопостачання 400 кВт
- температурний графік роботи котельні 90/70 °С
- температура води для потреб ГВП 60 °С
- види палива:
- природний газ, наявна теплота 34 МДж/м³;
- дерев'яна щепа, наявна теплота 12 МДж/кг.

5.2 Вимоги до стандартизації та уніфікації.

Деталі та вузли обладнання котельні повинні бути по можливості стандартними та уніфікованими, щоб забезпечити можливість швидкого монтажу та можливість їх ремонту чи заміни.

5.3 Вимоги з надійності.

На ефективність роботи обладнання котельні впливають якість проекту та якість монтажу. Параметри показників надійності встановлюються у відповідних державних стандартах.

6 Економічні вимоги

Створення системи підготовки гарячого водопостачання повинно вестись з мінімальними витратами праці та з мінімальними затратами виробництва. Здійснити економічне обґрунтування доцільності переведення котельні на відновлювальні джерела теплоти, визначити собівартість джерел теплоти.

7 Етапи розробки і терміни їх виконання

№ з/п	Назва етапів	Термін виконання етапів
1	Аналіз та розрахунок принципової теплової схеми водогрійної котельні та її елементів	21.03.2025...1.04.2025
2	Багатоваріантний аналіз та техніко-економічне обґрунтування вибору джерела теплоти	02.04.2025...12.04.2025
3	Теплове навантаження котла та математичне моделювання ємкісного водонагрівача потужністю 50 кВт	13.04.2025...27.04.2025
4	Технологія монтажу ємкісного водонагрівача	28.04.2025...11.05.2025
5	Охорона праці	12.05.2025...27.05.2025
6	Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу	28.05.2025...08.06.2025
7	Захист БКП	12.06.2025...21.06.2025

8 Порядок контролю і приймання

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

Додаток В
(обов'язковий)

ГРАФІЧНА ЧАСТИНА

«Підвищення енергоефективності котельні комунального підприємства
«Вінницяоблтеплоенерго» Теплоенергетична частина ».

[illegible]

Узгоджено

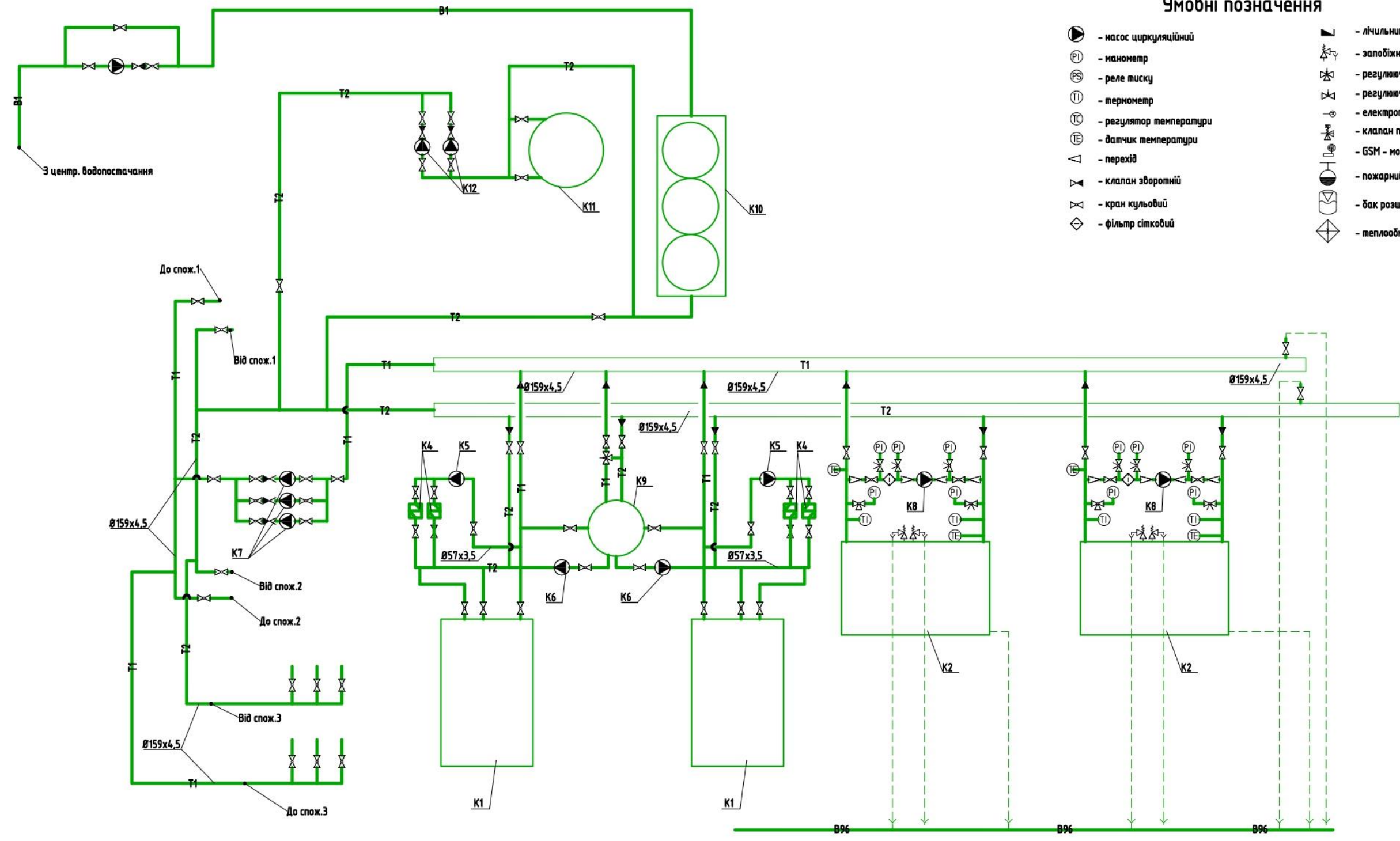
Взамі інв. №

Підпис і дата

Інв. № ориг.

Умовні позначення

- насос циркуляційний
- манометр
- реле тиску
- термометр
- регулятор температури
- датчик температури
- перехід
- клапан зворотний
- кран кульовий
- фільтр сітковий
- лічильник води
- запобіжний клапан
- регулюючий клапан 3хх-й
- регулюючий клапан 2хх-й
- електропривід
- клапан перепускний
- GSM - модем
- пожежний кран
- бак розширювальний
- теплообмінник пластинчастий



Умовні позначення трубопроводів

- B1 - господарсько-питний водопровід
- T1 - подавальний трубопровід системи опалення
- T2 - зворотній трубопровід системи опалення
- B% - Трубопровід системи каналізації
- Meja - Межа проектування

Примітка: на всіх верхніх ділянках трубопроводів встановити розповітрявачі з кранами

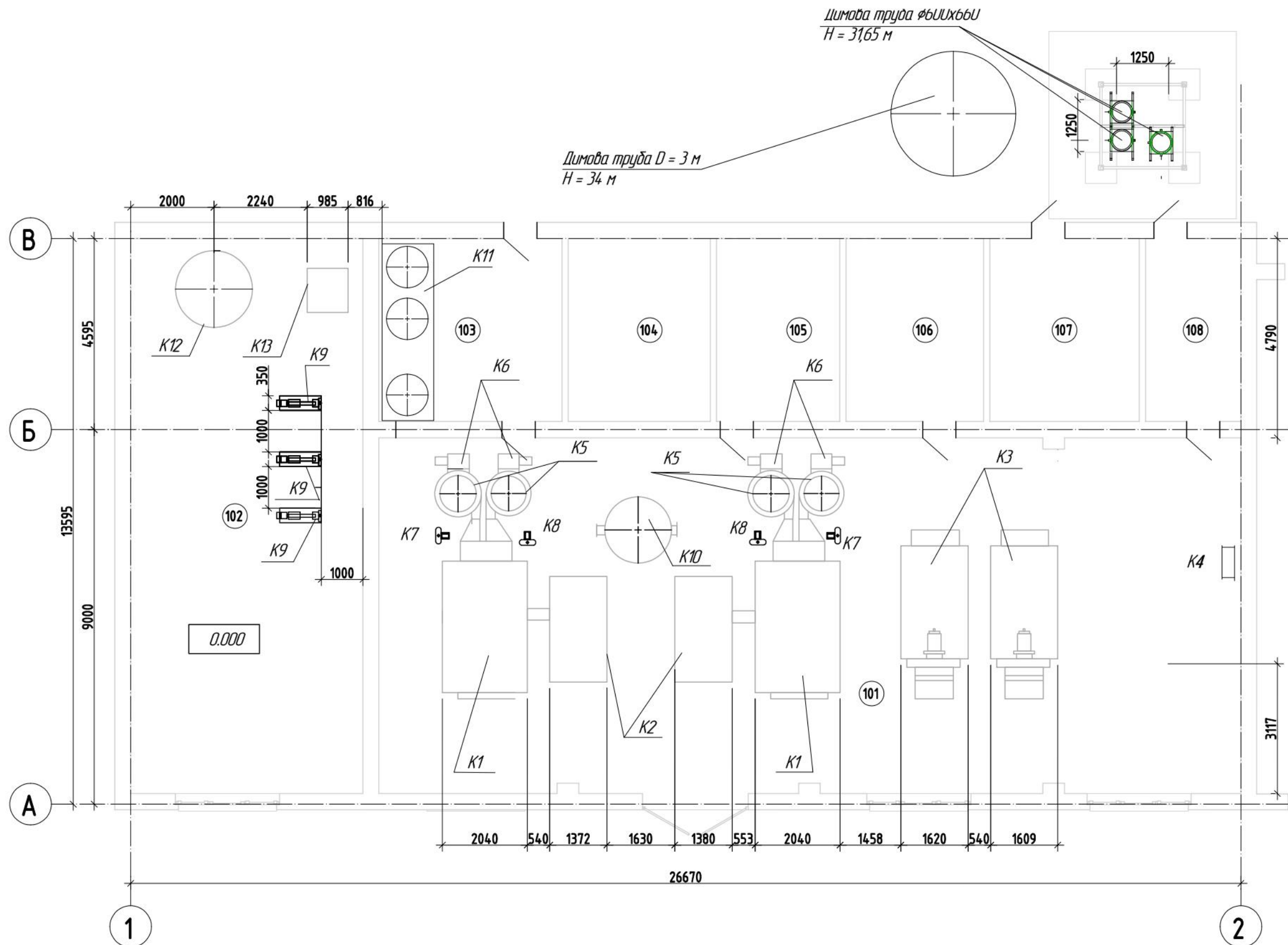
						08-15.БКР.007.01.00.000 ТЗ						
Зм.	Кілуч.	Арк	N док.	Підпис	Дата	Схема котельні теплова принципова			Стадія		Маса	Масштаб
									Аркуш		Аркушів	
									ВНТУ зр. ТЕ-23мс			

Узгоджено

На зам інв №

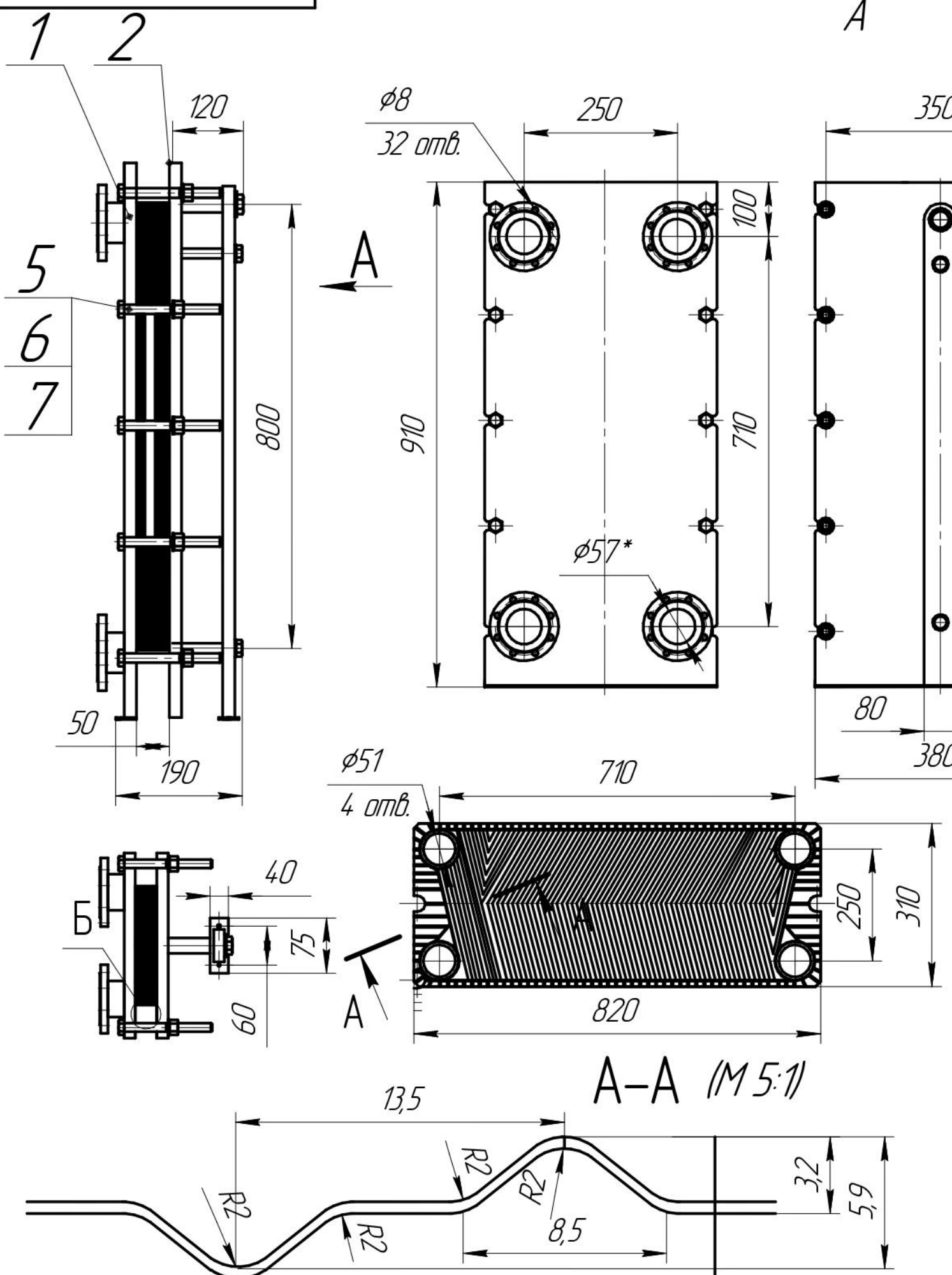
Підпис і дата

Інв. № ориг



						08-15.БКР.007.02.00.000 АР				
						м. Вінниця				
Зм.	Кіл.уч	Арк	№ док.	Підп.	Дата					
Розробив	Ільченко Д.П.					Підвищення енергоефективності котельні комунального підприємства "Вінницяоблтеплоенерго". Теплоенергетична частина		Стадія	Аркуш	Аркушів
Перевірів	Степанов Д.В.								1	1
Т. контр.										
Рецензент	Андрухов В.М.									
Норм. контр	Боднар Л.А.					План котельні на відм. 0.000		ВНТУ, гр. ТЕ-23мс		
Затвердив	Степанов Д.В.									

Перш використ	Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Примітка	
Справ. №					Документація			
	A3			08-15.БКР.007.03.00.000 СК	Складальне креслення			
					Складальні одиниці			
	A3	1	08-15.БКР.007.03.01.000	Плита нерухома	1			
	A3	2	08-15.БКР.007.03.02.000	Плита рухома	1			
					Деталі			
Підп. і дата	A3	3	08-15.БКР.007.03.00.003	Пластина	14			
	A3	4	08-15.БКР.007.03.00.004	Прокладка	15			
					Стандартні вироби			
		5		Болт М16х80 ГОСТ 15589-70	10			
		6		Гайка М16 ГОСТ 126-204 1-96	10			
		7		Шайба 16 ГОСТ 11371-78	10			
Інв. № ориг.	08-15.БКР.007.03.00.000			Теплообмінник пластинчастий		Літ.	Арк	Аркушів
	Зм.	Арк	№ докум.			Підп.	Дата	
	Розроб.	Ільченко Д.П.				ВНТУ зр. ТЕ-23мс		
	Перевір.	Степанов Д.В.						
	Рецензент	Андрухов В.М.						
	Н.контр.	Боднар Л.А.						
	Затверд.	Степанов Д.В.						



Б (1:1)

3

4

Технічна характеристика

1. Початкова температура "гарячого" теплоносія

2. Початкова температура "холодного" теплоносія

3. Кінцева температура "гарячого" теплоносія

4. Кінцева температура "холодного" теплоносія

5. Площа теплообміну однієї пластини

6. Кількість пластин в теплообміннику

7. Товщина пластин теплообмінника

8. Теплова потужність теплообмінника

90°C

10°C

70°C

55°C

0,21 м²

14 шт.

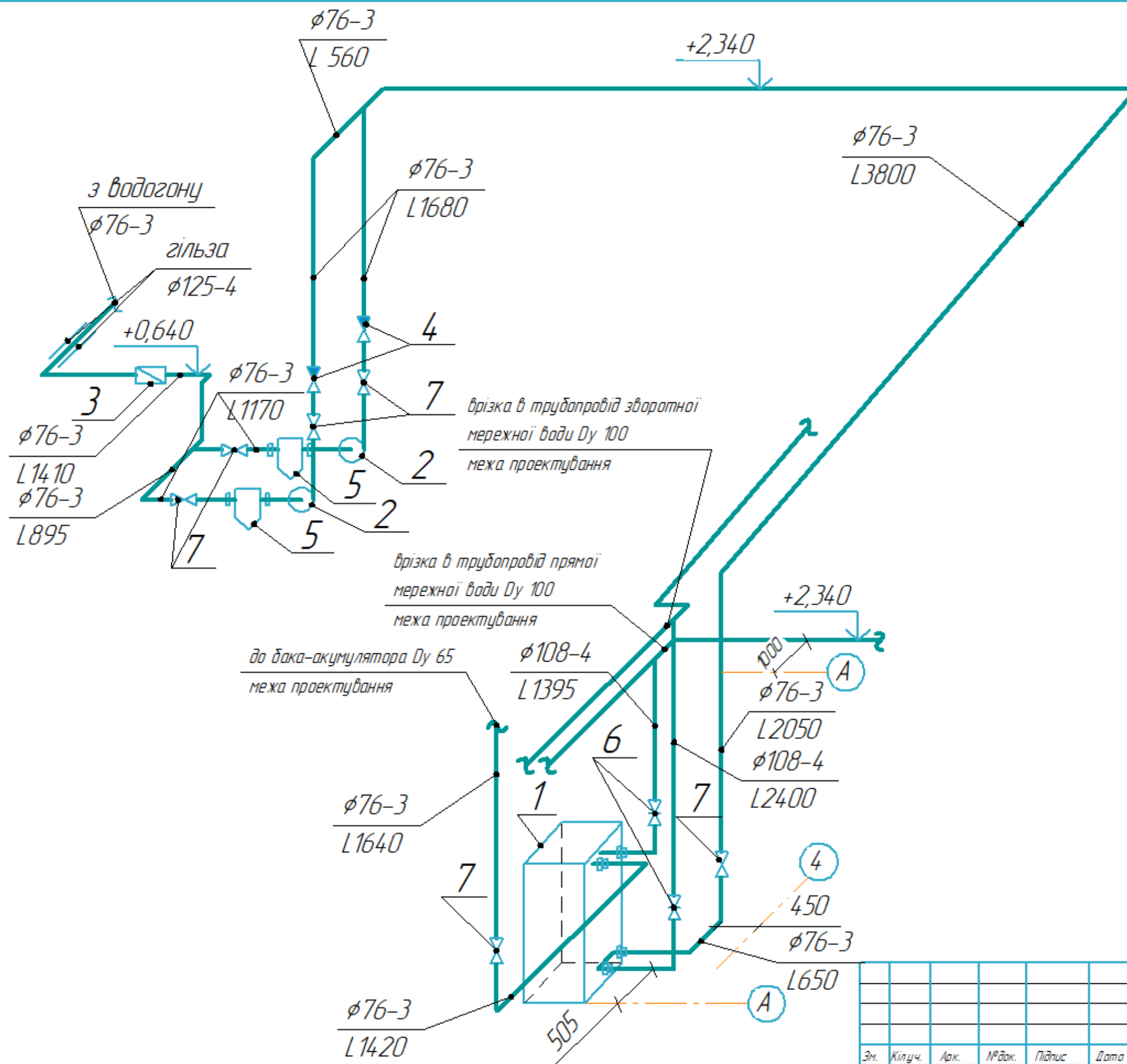
0,5 мм

400 кВт

* Розміри для довідок

08-15.БКР.007.03.00.000 СК				Теплообмінник пластинчастий			Літ.	Маса	Масштаб
Зм. Арк	№ докум.	Підп.	Дата	складальне креслення			Аркцш	Аркцшів	
Разроб.	Ільченко Д.П.							127	1:5
Перевір.	Степанов Д.В.								
Т.контр.									
Рецензент	Андрухов В.М.								
Н.контр.	Боднар Л.А.								
Затверд.	Степанов Д.В.								
				ВНТУ зр.ТЕ-23мс					
				Копіював			Формат А3		

Перш. використ.	Позна-чення	Найменування	Кіл.	Примітка
Справ. №	1	Теплообмінник пластинчастий THERMAKS PTA (GL)-13-H-0488	1	
	2	Насос K50-32-125	2	
	3	Лічильник холодної води WPK-UA 65*B, DN65	1	
	4	Зворотній клапан Ду65	2	
	5	Грязьовик	2	
	6	Засувка міжфланцева EFEKT Ду 100	2	
	7	Засувка міжфланцева EFEKT Ду 65	6	
Підп. і дата				
Взам. інв. №				
Інв. № дубл.				
Підп. і дата				
Інв. № ориг.	Зм.	Аркуш	№докум.	Підпис
	Розробив	Ільченко Д.П.		
	Перевірив	Степанов Д.В.		
	Рецензент	Андрухов В.М.		
	Норм. контр.	Бойнур Л.А.		
	Затвердив	Степанов Д.В.		
08-15.BKP.007.04.00.000				
Схема котельні теплова принципова			Літ.	Аркуш
			ВНТУ зр. ТЕ-23мс	



Умовні позначення

- Теплообмінник пластинчастий
- Насос
- Лічильник холодної води
- Зворотній клапан
- Грязьовик
- Засувка міжфланцева

						08-15.БКР.007.04.00.000 СК			
						Підвищення енергоефективності котельні комунального підприємства "Вінницяоблтеплоенерго" Теплоенергетична частина	Стадія	Маса	Масштаб
Зм.	Кілуч.	Арх.	№ док.	Підпис	Дата				
Розробив	Ільченко Д.П.								
Перевірив	Степанов Д.В.								
							Аркуш		Аркушів
Рецензент	Андрухов В.М.					Схема монтажного аксонометрична	ВНТУ гр. ТЕ-23мс		
Норм.контр.	Бондар Л.А.								
Затвердив	Степанов Д.В.								