

Вінницький національний технічний університет  
(повне найменування вищого навчального закладу)


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

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


## БАКАЛАВРСЬКА ДИПЛОМНА РОБОТА

на тему: «Реконструкція котельні товариства з обмеженою відповідальністю  
«Понінківська картонно-паперова фабрика»

Виконав: студент 2 курсу, групи ТЕ-21мс  
спеціальності 144 – теплоенергетика  
(шифр і назва спеціальності)

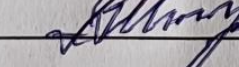
  
Оникієнко С.М.  
(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доц., зав. каф. ТЕ

  
Степанов Д.В.  
(прізвище та ініціали)

« 12 » 06 2023 р.

Рецензент: к.т.н., доц. каф. БМГА

  
Андрухов В. М.  
(прізвище та ініціали)

« 13 » 06 2023 р.

Допущено до захисту

Зав. кафедри ТЕ

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

« 12 » 06 2023 р.

Вінниця ВНТУ – 2023 рік



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



**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
В.о. завідувача кафедри ТЕ  
Степанов Д.В.  
2023 року

## ЗАВДАННЯ НА БАКАЛАВРСЬКУ ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Оникієнку Сергію Миколайовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Реконструкція котельні товариства з обмеженою відповідальністю «Поніківська картонно-паперова фабрика»

керівник роботи Степанов Д. В. к.т.н., доц, зав. каф. ТЕ,  
( прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від 20.03.2023 р. № 67

2. Термін подання студентом роботи 12.06.2023 р.

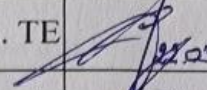
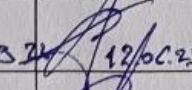
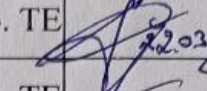
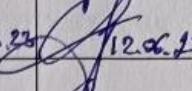
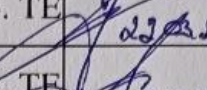
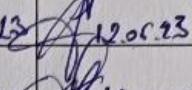
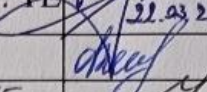
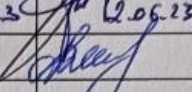
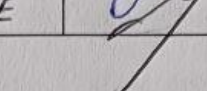
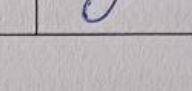


3. Вхідні дані до роботи: В котельні встановлені два котли SHP-E-10 паровидатністю 10 т/год та водогрійний котел ПТВМ-30. Паливо – природний газ. Параметри пари на виході з котлів 3,9 МПа, 450 °С. Потужність промислового споживача 11,2 МВт. Потужність системи опалення 22 МВт. Потужність системи гарячого водопостачання 8 МВт.

4. Зміст текстової частини Розрахунок теплової схеми котельні. Розробка реконструйованої теплової схеми. Тепловий розрахунок парового котла ТС-35 при спалюванні гранул лушпиння соняшника. Розрахунки пластинчастого теплообмінника. Розробка технології монтажу теплообмінника. Охорона праці.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Схема принципова тепла котельні. План котельні. Котел ТС-35 при спалюванні гранул лушпиння соняшника. Пароводяний пластинчастий теплообмінник потужністю 800 кВт. Монтажна схема пластинчастого пароводяного теплообмінника потужністю 800 кВт



## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розрахунок теплової схеми котельні	Степанов Д. В., к.т.н., доц., зав. каф. ТЕ	 22.03.23	 12.06.23
Розробка реконструйованої теплової схеми	Степанов Д. В., к.т.н., доц., зав. каф. ТЕ	 22.03.23	 12.06.23
Розробка елементів реконструйованої котельні	Степанов Д. В., к.т.н., доц., зав. каф. ТЕ	 22.03.23	 12.06.23
Розробка технології монтажу теплообмінника	Степанов Д. В., к.т.н., доц., зав. каф. ТЕ	 22.03.23	 12.06.23
ОП	Віштак І.В., доц. каф. БЖДПБ		
Нормоконтроль	Снівак О.Ю., к.т.н., доц. каф. ТЕ		

7. Дата видачі завдання 22.03.2023 року

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

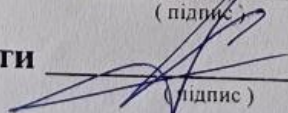
№ з/п	Назва та зміст етапу	Термін виконання		Примітка
		початок	закінчення	
1	Розрахунок теплової схеми котельні	22.03.2023	31.03.2023	вск.
2	Розробка реконструйованої теплової схеми	1.04.2023	10.04.2023	вск.
3	Тепловий розрахунок парового котла ТС-35 при спалюванні гранул лушпиння соняшника	11.04.2023	20.04.2023	вск.
4	Розрахунки пластинчастого теплообмінника	21.04.2023	30.04.2023	вск.
5	Розробка технології монтажу теплообмінника	01.05.2023	15.05.2023	вск.
6	Охорона праці	16.05.2023	25.05.2023	вск.
7	Оформлення БДР	11.05.2023	26.05.2023	вск.
8	Захист БДР	12.06.2023	19.06.2023	вск.

Студент

  
(підпис)

Оникієнко С.М.  
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

  
(підпис)

Степанов Д.В.  
(прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

УДК 621.1

Оникієнко С.М. «Реконструкція котельні товариства з обмеженою відповідальністю «Понінківська картонно-паперова фабрика». Бакалаврська дипломна робота зі спеціальності 144 – теплоенергетика, освітня програма – теплоенергетика. Вінниця: ВНТУ, 2023. 84 с.

Бібліогр. : 58 назв; рис.: 3; табл. 21.

У бакалаврській дипломній роботі здійснено техніко-економічну оцінку роботи котельні Понінківської картонно-паперової фабрики. Після аналізу роботи котельні, розглянуті різні заходи щодо покращення роботи котельні, зменшення споживання енергетичних ресурсів та покращення економічних показників.

Здійснений багатоваріантний аналіз роботи котельні, що включає створення ТЕЦ на базі котельні, з використанням протитискових турбін. Розраховано показники роботи ТЕЦ на природному газі та лушпинні соняшника.

Так як, найбільш прийнятним варіантом є спалювання гранул лушпиння соняшника, - розраховані показники роботи котла ТС-35 для цього виду палива.

Розроблений пароводяний пластинчастий теплообмінник для підігріву хімоочищеної води потужністю 800 кВт, в тому числі монтажна схема. Виконаний вибір основних та допоміжних матеріалів для монтажу теплообмінника, визначений склад і об'єми робіт, підбір основних машин, механізмів та інструментів для монтажу теплообмінника.

Невід'ємною частиною роботи є розділ з охорони праці та захисту навколишнього середовища, що включає рекомендації щодо зменшення викидів в навколишнє середовище та покращення екологічних показників.

Графічна частина роботи узагальнює та доповнює основну.

Ключові слова: котельня, турбіна, ТЕЦ, лушпиння соняшника, пластинчастий теплообмінник, монтаж, викиди.

## **ABSTRACT**

Onykiienko S.M. Power supply system of Poninkivska Cardboard and Paper Mill. Bachelor's thesis in specialty 144 – heat power engineering, educational program – heat power engineering. Vinnytsia: VNTU, 2023. 84 p.

In Ukrainian language. Bibliogr.: 58 titles; fig.: 3; table 21.

In the bachelor's thesis, a technical and economic assessment of the boiler house of the Poninkivska Cardboard and Paper Mill was carried out. After analyzing the operation of the boiler house, various measures were considered to improve the operation of the boiler house, reduce energy consumption and improve economic performance. A multivariate analysis of the boiler house operation was carried out, including the creation of a CHP on the basis of a boiler house, using backpressure turbines. The performance indicators of CHPs on natural gas and sunflower husk were calculated.

Since the most acceptable option is to burn the granules of sunflower husk, the performance indicators of the TC-35 boiler for this type of fuel are calculated. Developed steam-water plate heat exchanger for heating chemically treated water with a capacity of 800 kW, including wiring diagram. The selection of basic and auxiliary materials for the installation of the heat exchanger, the composition and scope of work, the selection of basic machines, mechanisms and tools for the installation of the heat exchanger are determined.

An integral part of the work is the section on labor protection and environmental protection, which includes recommendations for reducing emissions into the environment and improving environmental performance. The graphic part of the work is a generalizing and complementary main one.

Key words: boiler room, turbine, CHP, sunflower husk, plate heat exchanger, installation, emissions.

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	5
<b>1 РОЗРАХУНОК ТЕПЛОВОЇ СХЕМИ КОТЕЛЬНІ</b> .....	8
1.1 Розрахунок для максимального режиму .....	8
1.2 Розрахунок середньоопалювального періоду .....	23
1.3 Розрахунок міжопалювального періоду .....	24
1.4 Техніко-економічні показники .....	25
<b>2 РОЗРОБКА РЕКОНСТРУЙОВАНОЇ ТЕПЛОВОЇ СХЕМИ</b> .....	29
2.1 Багатоваріантний аналіз шляхів модернізації котельні .....	29
2.2 Аналіз реконструкції котельні .....	31
2.3 Аналіз роботи ТЕЦ .....	39
<b>3 РОЗРОБКА ЕЛЕМЕНТІВ РЕКОНСТРУЙОВАНОЇ КОТЕЛЬНІ</b> .....	42
3.1 Тепловий розрахунок парового котла ТС-35 при спалюванні гранул лушпиння соняшника .....	42
3.2 Розрахунки пластинчастого теплообмінника .....	45
<b>4 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЙ МОНТАЖУ ТЕПЛООБМІННИКА</b> .....	59
4.1 Розрахунок трубопроводів у схемі пароводяного теплообмінника .....	59
4.2 Документація, необхідна для монтажу теплообмінника .....	59
4.3 Загальна характеристика об'єкту, який підлягає монтажу .....	60
4.4 Розрахунок та комплектування основних і допоміжних матеріалів та виробів, складання відомостей .....	61
4.5 Визначення складу і об'ємів робіт .....	64
4.6 Вибір і обґрунтування методів виконання робіт .....	67
4.7 Підбір машин, механізмів, пристосувань для монтажних робіт .....	67
<b>5 ОХОРОНА ПРАЦІ</b> .....	71
5.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта .....	71
5.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії .....	73
5.3 Технічні рішення з пожежної безпеки .....	78

<b>ВИСНОВКИ</b> .....	80
<b>ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ</b> .....	82
Додаток А (обов'язковий). Протокол перевірки БДР .....	87
Додаток Б (обов'язковий). Технічне завдання .....	88
Додаток В (обов'язковий). Графічна частина .....	91

.

## ВСТУП

Економіка України, незважаючи на позитивні зрушення, перебуває в тяжкому стані. Однією з причин такого стану є залежність від імпорту паливно-енергетичних ресурсів. За нових економічних умов, коли зростають ціни на паливо, електричну і теплову енергію, одним із основних факторів виходу країни із скрутного становища є енергозбереження. Перспективним напрямком енергозбереження і покриття дефіциту електроенергії є застосування комбінованих енергоустановок.

Ідеї підвищення ефективності використання палива за рахунок комбінованого вироблення теплової та електричної енергії відомі давно. Однією з перших реалізованих комбінованих технологій є теплофікація, тобто виробництво теплоти на базі енергетичних турбін. З удосконаленням енергомашинобудування, з'явилося багато схем комбінування теплоенергетичних установок шляхом надбудови двигунів різноманітними теплообмінними пристроями: котельними установками, водо- і повітропідігрівниками, теплоутилізаторами, теплоаккумуляторами і т. п. [1].

Отже, сумісне виробництво теплової та електричної енергії є прогресивною технологією, яка дозволяє більш ефективно використовувати органічне паливо і зменшити шкідливі викиди в атмосферу.

Котельня Понінківської картонно-паперової фабрики розташована на території Понінківського картонно-паперового комбінату (“Понінківський КПК”). КПК знаходиться в смт. Понінка Хмельницької області Шепетівського району і є одним із найстаріших підприємств паперової галузі. Підприємство засновано в 1787 році [2].

“Понінківський КПК” розташований на чотирьох площадках:

- основна площадка (19,9га) знаходиться на лівому березі річки Хомора в зоні жилих будинків селища Понінка. На цій території розташовані основне виробництво паперу, картону, зошитів та інших товарів;



- площадка “Салюки” (7,2га) розташована на відстані одного кілометра від основної площадки. На ній розміщені цех паперів з силіконовим покриттям, база ремонтно-будівного управління, склад целюлози;

- площадка очисних споруд(25 га) знаходиться на відстані двох кілометрів від основної площадки;

- площадка на якій розміщені склади та під'їзні залізнично дорожні шляхи.

Транспортний зв'язок підприємства здійснюється по залізній дорозі (під'їзний шлях 2,5 км) з залізнично-дорожньої станції “Полонне” Південно- Західної залізничної дороги і по дорозі з райцентром “Полонне” автомагістраллю республіканського значення [2].

Електропостачання: здійснюється від системи ТОВ “Хмельницькенерго збут” через підстанцію “Понінка”, на якій встановлені два трансформатора потужністю по 6000 кВт. Зв'язок ГРУ з підстанцією “Понінка” здійснюються по кабельній мережі ЛЕП-6 кВ.

Джерелом теплопостачання є два діючих парових котла SHP-E-10 загальною паровидатністю 20 т/год та один резервний котел БМ-35, паровидатністю 35 т/год. Також в котельні встановлено водогрійний котел ПТВМ- 30 потужністю  $Q = 35$  Гкал/год. Пальним для котельні є природний газ.

Джерелом виробничого водопостачання є річка “Хомора”, приток ріки “Случ”. Потужність водозабірних споруд 20000 м<sup>3</sup>/доба .

На підприємстві діє система оборотного водопостачання і повторного використання води основного виробництва. Працюють чотири конусних подушки об'ємом 170 м<sup>3</sup> кожна. Концентрація поступаючої води складає 1500-2000 мг/літр відходячої - 150-200 мг/літр.

Виробничі стічні води проходять повний цикл механічної та біологічної очистки на зовнішньо-площадкових очисних спорудах. Продуктивність очисних споруд – 20 тис. м<sup>3</sup>/добу. Площа очисних споруд займає 25 га і знаходиться на відстані 2 км від основної площадки підприємства.

Мета роботи: Підвищення економічності та енергетичної ефективності котельні шляхом створення ТЕЦ на базі котельні та переведення котлів на спалювання гранул

лушпиння соняшника.

Завдання роботи:

1. Здійснити розрахунок існуючої теплової схеми котельні.
2. Розрахувати техніко-економічні показники роботи котельні.
3. Обґрунтувати необхідність модернізації котельні та здійснити аналіз запропонованих варіантів.
4. Створити ТЕЦ на базі котельні з розрахунком техніко-економічних показників.
5. Здійснити тепловий розрахунок парового котла для спалювання гранул лушпиння соняшника.
6. Виконати розрахунок та монтаж пластинчатого пароводяного теплообмінника потужністю 800 кВт для підігріву хімочищеної води.
7. Розробити заходи з охорони праці та надати технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта, гігієни безпеки та виробничої санітарії, а також пожежної безпеки.

## 1 РОЗРАХУНОК ТЕПЛОВОЇ СХЕМИ КОТЕЛЬНОЇ

Джерелом теплопостачання на котельні ТОВ «Понінківська КПП» є два діючих парових котла SHP-E-10 загальною паровидатністю 10 т/год кожний та один резервний котел БМ-35, паровидатністю 35 т/год. Також в котельні встановлено водогрійний котел ПТВМ-30 потужністю  $Q = 35$  Гкал/год. Пальним для котельні є природний газ.

### 1.1 Розрахунок для максимального режиму

Початкові дані:

1. Два робочих парових котла SHP-E-10 та один резервний ТС-35.
2. Параметри пари на виході з котлів:  $P_{\Pi} = 3,9$  МПа,  $t_{\Pi} = 450$  °С.
3. Параметри пари перед редуційно-охолоджувальною установкою (РОУ):  
 $P_0 = 3,5$  МПа,  $t_0 = 435$  °С.
4. Тиск пари після РОУ  $P_{\text{роу}2} = 0,6$  МПа,  $t_{\text{роу}} = 159$  °С.
5. Потужність промислового споживача  $Q_{\text{пс}} = 11,2$  МВт.
6. Температура зворотного конденсату  $t_{\text{зк}} = 125$  °С.
7. Температура води після хімводоочистки (ХВО)  $t_{\text{хво}} = 20$  °С.
8. Температура після підігрівника додаткової води (ПДВ)  $t_{\text{пдв}} = 100$  °С.
9. Деаератор атмосферний ( $P_{\text{д}} = 0,12$  МПа,  $t_{\text{жв}} = 104$  °С).
10. Паливо – природний газ. Теплота згоряння природного газу  
 $Q_{\text{р}}^{\text{н}} = Q_{\text{н}} = 33,4$  МДж/кг.

З [3] визначаємо інші параметри води і водяної пари, за відповідними тисками чи температурами:

$$h_{\text{кв}} = 1087,5 \text{ кДж / кг}, \quad h_{\Pi} = 3335 \text{ кДж / кг}, \quad h_0 = 3305 \text{ кДж / кг}, \quad h''_{\text{роу}} = 2757 \text{ кДж / кг},$$

$$h'_{\text{роу}} = 670,5 \text{ кДж / кг}, \quad h'_{\text{зк}} = 525 \text{ кДж / кг}, \quad h'_{\text{хво}} = 84 \text{ кДж / кг}, \quad h'_{\text{пдв}} = 439 \text{ кДж / кг},$$

$$h'_{\text{жв}} = 439 \text{ кДж / кг}.$$



### 1.1.1 Розрахунок парової частини котельні

Витрата пари на промислові споживачі

$$D_{\text{пс}} = \frac{Q_{\text{пс}}}{h''_{\text{роу}} - h'_{\text{зк}}} \quad [\text{кг/с}], \quad (1.1)$$

Витрата зворотного конденсату

$$G_{\text{зк}} = D_{\text{пс}} \cdot \alpha_{\text{зк}} \quad [\text{кг/с}], \quad (1.2)$$

де  $\alpha_{\text{зк}}$  – частка повернення зворотного конденсату,  $\alpha_{\text{зк}} = 0,8$ .

Витрата додаткової води

$$G_{\text{дв}} = D_{\text{сп}} \cdot \alpha_{\text{дв}} \quad [\text{кг/с}], \quad (1.3)$$

де  $\alpha_{\text{дв}}$  – частка додаткової води,  $\alpha_{\text{дв}} = 1 - 0,8 = 0,2$ .

Витрата сирої води перед ХВО

$$G_{\text{св}} = 1,2 \cdot G_{\text{дв}} \quad [\text{кг/с}], \quad (1.4)$$

Витрата охолодної води на кг гострої пари

$$g = \frac{h_0 - h''_{\text{роу}}}{h'_{\text{роу}} - h'_{\text{жв}} + 0,8 \cdot (h''_{\text{роу}} - h'_{\text{роу}})}, \quad (1.5)$$

Витрата пари після РОУ

$$D_{\text{роу2}} = D_{\text{д}} + D_{\text{пс}} \quad [\text{кг/с}], \quad (1.6)$$

Витрата пари перед РОУ

$$D_{\text{роу1}} = \frac{D_{\text{роу2}}}{1 + 0,8 \cdot g} \quad [\text{кг/с}], \quad (1.7)$$

Витрата пари після котлів

$$D_0 = D_{\text{роу1}} = 4,09 + 0,81 \cdot D_{\text{д}} \quad (\text{кг/с}). \quad (1.8)$$

Витрата води на РОУ

$$G_{\text{роу1}} = D_{\text{роу1}} \cdot g \quad [\text{кг/с}], \quad (1.9)$$

Витрата води після РОУ

$$G'_{\text{роу2}} = 0,2 \cdot G_{\text{роу1}} \quad [\text{кг/с}], \quad (1.10)$$

З балансу ПДВ знайдемо ентальпію додаткової води після ПДВ

$$G_{\text{дв}} \cdot (h'_{\text{дв}} - h_{\text{хво}}) = G_{\text{зк}} \cdot (h'_{\text{зк}} - h'_{\text{пдв}}) \quad (1.11)$$

$$h'_{\text{дв}} = \frac{G_{\text{зк}}}{G_{\text{дв}}} \cdot (h'_{\text{зк}} - h'_{\text{пдв}}) + h_{\text{хво}} \quad [\text{кДж/кг}], \quad (1.12)$$

Витрата живильної води

$$G_{\text{жв}} = G_{\text{роу1}} + D_0 + p \cdot D_0 + \alpha_{\text{вп}} \cdot D_0 = G_{\text{роу1}} + D_0 \cdot (1 + p + \alpha_{\text{вп}}) \quad [\text{кг/с}], \quad (1.13)$$

де  $p$  – частка продувки.  $p = 3\% = 0,03$ ;

$\alpha_{\text{ВП}}$  – частка власних потреб.  $\alpha_{\text{ВП}} = 2\% = 0,02$ .

Тепловий баланс деаератора

$$G_{\text{ЖВ}} \cdot h'_{\text{ЖВ}} = G'_{\text{роу2}} \cdot h'_{\text{роу}} + D_{\text{д}} \cdot h_{\text{д}} + G_{\text{зк}} \cdot h'_{\text{пцв}} + G_{\text{дв}} \cdot h'_{\text{дв}}, \quad (1.14)$$

Теплова потужність парової частини котельні

$$Q_{\text{к.пк}}^{\text{оп}} = [D_0 \cdot (1 + \alpha_{\text{ВП}}) \cdot (h_{\text{п}} - h'_{\text{ЖВ}}) + D_0 \cdot p \cdot (h_{\text{кв}} - h'_{\text{ЖВ}})] \cdot 10^{-3} \text{ [МВт]}, \quad (1.15)$$

Втрати теплоти з відхідними газами

$$q_2 = 0,01 \cdot \left[ (3,53 \cdot \alpha_{\text{вг}} + 0,63) \cdot \left( t_{\text{вг}} - \frac{\alpha_{\text{вг}} \cdot t_{\text{хп}}}{\alpha_{\text{вг}} + 0,18} \right) \right] [\%], \quad (1.16)$$

де  $t_{\text{вг}}$  – температура відхідних газів за котлом,  $t_{\text{вг}} = 135 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ;

$t_{\text{хп}}$  – температура холодного повітря,  $t_{\text{хп}} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ;

$\alpha_{\text{вг}}$  – коефіцієнт зайвини повітря у вихідних газах,  $\alpha_{\text{вг}} = 1,4$ .

Коефіцієнт корисної дії (ККД) котла SHP-E-10

$$\eta_{\text{пк}} = 100 - (q_2 + q_3 + q_5) [\%], \quad (1.17)$$

де  $q_3$  – втрати теплоти від механічної неповноти згоряння палива,  $q_3 = 1 \%$ ;

$q_5$  – втрати теплоти через огороження котла,  $q_5 = 1,75 \%$ .

Витрата умовного палива

$$B_{\text{у.пк}}^{\text{оп}} = \frac{Q_{\text{к.пк}}^{\text{оп}}}{\eta_{\text{пк}} \cdot Q_{\text{н.у}}^{\text{п}}} \text{ [кг/с]}, \quad (1.18)$$

де  $Q_{\text{н.у}}^{\text{п}}$  – нижча теплота згоряння умовного палива,  $Q_{\text{н.у}}^{\text{п}} = 29,3 \text{ МДж/кг}$ .



Витрата робочого палива

$$V_{p.пк}^{оп} = \frac{Q_{к.пк}^{оп}}{\eta_{пк} \cdot Q_H} \quad [M^3 / c], \quad (1.19)$$

де  $Q_H$  - теплота згоряння природного газу,  $Q_H = 33,4$  МДж/м<sup>3</sup>.

ККД парової частини котельні

$$\eta_{кот}^{п.к} = \frac{Q_{пс}}{V_{у.пк}^{оп} \cdot Q_{H,y}^p}, \quad (1.20)$$

Теплова потужність котла SHP-E-10 при повному завантаженні

$$Q_{к.пк} = [D_k \cdot (1 + \alpha_{вп}) \cdot (h_{п} - h'_{жв}) + D_k \cdot p \cdot (h_{кв} - h'_{жв})] \cdot 10^{-3} \quad [МВт], \quad (1.21)$$

де  $D_k$  – паровидатність котла, кг/с.  $D_k = 10$  т/год.

Витрата палива при повному завантаженні парового котла

$$V_{p.пк} = \frac{Q_{к.пк}}{\eta_{пк} \cdot Q_H} \quad [M^3 / c], \quad (1.22)$$

Перевірка тягодуттєвих установок та насосного обладнання

Подача вентилятора для парового котла

$$Q_{в.пк} = k_3 \cdot 3,6 \cdot V_{p.пк} \cdot V^0 \cdot \alpha_T \quad [тис.м^3 / год], \quad (1.23)$$

де  $k_3$  – коефіцієнт запасу.  $k_3 = 1,1$ ;

$V^0$  – об'єм повітря.  $V^0 = 9,5$  м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>;

$\alpha_T$  – коефіцієнт зайвини повітря в топці.  $\alpha_T = 1,05$ .

### Потужність електропривода вентилятора

$$N_{\text{в.пк}} = B_{\text{р.пк}} \cdot V^0 \cdot \alpha_{\text{т}} \cdot H_{\text{в}} / (\eta_{\text{в}} \cdot \eta_{\text{ем}}) \text{ [кВт]}, \quad (1.24)$$

де  $H_{\text{в}}$  – напір вентилятора, кПа;

$\eta_{\text{в}}$  – ККД вентилятора;

$\eta_{\text{ем}}$  – електромеханічний ККД.  $\eta_{\text{ем}} = 0,96$ .

Подача димососа для парового котла

$$Q_{\text{д.пк}} = k_3 \cdot 3,6 \cdot B_{\text{р.пк}} \cdot [V_{\text{г}}^0 + (\alpha_{\text{вг}} - 1) \cdot V^0] \cdot [(t_{\text{вг}} + 273) / 273] \text{ [тис.м}^3 \text{ / год]}, \quad (1.25)$$

де  $V_{\text{г}}^0$  – об'єм газів.  $V_{\text{г}}^0 = 10,62 \text{ м}^3/\text{м}^3$ ;

$\alpha_{\text{вг}}$  – коефіцієнт зайвини повітря у вихідних газах.  $\alpha_{\text{вг}} = 1,4$ ;

$t_{\text{вг}}$  – температура відхідних газів за котлом.  $t_{\text{вг}} = 135 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Потужність електропривода димососа

$$N_{\text{д.пк}} = B_{\text{р.пк}} \cdot V_{\text{г}}^0 \cdot \alpha_{\text{вг}} \cdot H_{\text{д}} / (\eta_{\text{д}} \cdot \eta_{\text{ем}}) \text{ [кВт]}, \quad (1.26)$$

де  $H_{\text{д}}$  – напір димососа, кПа;

$\eta_{\text{д}}$  – ККД димососа.

Загальна електрична потужність тягодуттєвих установок в опалювальний період

$$N_{\text{тд.пк}} = 2 \cdot N_{\text{в.пк}} + 2 \cdot N_{\text{д.пк}} \text{ [кВт]}, \quad (1.27)$$

Об'ємна подача насоса живильної води

$$Q_{\text{жн.пк}} = \frac{k_3 \cdot G_{\text{жв}} \cdot 3600}{\rho_{\text{жв}}} \text{ [м}^3 \text{ / год]}, \quad (1.28)$$

де  $\rho_{\text{жв}}$  – густина живильної води після деаератора. При  $t_{\text{жв}} = 104 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  
 $\rho_{\text{жв}} = 955,34 \text{ кг/м}^3$ .

Напір живильного насоса

$$N_{\text{жн.пк}} = 1,2 \cdot (P_{\text{п}} - P_{\text{д}} + \Delta H_{\text{б-д}}) \text{ [МПа]}, \quad (1.29)$$

де  $\Delta H_{\text{б-д}}$  – втрата напору між барабаном і деаератором, МПа.

$$\Delta H_{\text{б-д}} = (\rho_{\text{жв}} \cdot g \cdot \Delta z) \cdot 10^{-6} \text{ [МПа]}, \quad (1.30)$$

де  $g$  – прискорення вільного падіння,  $\text{м}^2/\text{с}$ .  $g = 9,8 \text{ м}^2/\text{с}$ .

$\Delta z$  – висота від полу до барабана, м.  $\Delta z = 20 \text{ м}$ .

Потужність, яку споживає електропривод живильного насоса

$$N_{\text{жн.пк}} = Q_{\text{жн.пк}} \cdot H_{\text{нжв}} / (3600 \cdot \eta_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{ем}}) \text{ [кВт]}, \quad (1.31)$$

де  $H_{\text{нжв}}$  – напір насоса, кПа;

$\eta_{\text{н}}$  – ККД насоса.

Об'ємна подача насоса сирій води

$$Q_{\text{нсв.пк}} = \frac{k_3 \cdot G_{\text{св}} \cdot 3600}{\rho_{\text{хво}}} \text{ [м}^3/\text{год]}, \quad (1.32)$$

де  $\rho_{\text{хво}}$  – густина води після ХВО. При  $t_{\text{хво}} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$   $\rho_{\text{хво}} = 998,2 \text{ кг/м}^3$ .

Потужність, яку споживає електропривод насоса сирій води

$$N_{\text{нсв.пк}} = Q_{\text{нсв.пк}} \cdot H_{\text{нсв}} / (3600 \cdot \eta_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{ем}}) \text{ [кВт]}, \quad (1.33)$$

де  $H_{\text{нсв}}$  – напір насоса сирій води, кПа.



Об'ємна подача насоса ХВО

$$Q_{\text{HXBO.ПК}} = \frac{G_{\text{ДВ}} \cdot 3600}{\rho_{\text{ХВО}}} \left[ \text{М}^3 / \text{ГОД} \right], \quad (1.34)$$

Потужність, яку споживає електропривод насоса ХВО

$$N_{\text{HXBO.ПК}} = Q_{\text{HXBO.ПК}} \cdot H_{\text{HXBO}} / (3600 \cdot \eta_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{ем}}) \left[ \text{кВт} \right], \quad (1.35)$$

де  $H_{\text{HXBO}}$  – напір насоса ХВО, кПа.

Сумарна споживна потужність насосів

$$N_{\text{н.ПК}} = N_{\text{ЖН.ПК}} + N_{\text{НСВ.ПК}} + N_{\text{HXBO.ПК}} \left[ \text{кВт} \right], \quad (1.36)$$

Загальна потужність власних потреб

$$N_{\text{ВП.ПК}} = (N_{\text{ТД.ПК}} + N_{\text{н.ПК}}) \cdot k \left[ \text{кВт} \right], \quad (1.37)$$

де  $k$  – коефіцієнт, що враховує потужність освітлювальних приладів.  $k = 1,1$  [4].

### 1.1.2 Розрахунок водогрійної частини котельні

1. Один робочий і один резервний котли ПТВМ-30.
2. Потужність опалення  $Q_{\text{оп}} = 22$  МВт.
3. Потужність гарячого водопостачання  $Q_{\text{ГВ}} = 8$  МВт.
4. Температура гарячої води на виході з котлів  $t'' = 130$  °С.
5. Температурний графік мережі  $t_{\text{МВ}}/t_{\text{ЗМВ}} = 120/70$  °С.
6. Температура сирої води  $t_{\text{СВ}} = 5$  °С.
7. Деаератор вакуумний (температура після деаератора  $t_{\text{д}} = 70$  °С, температура на вході в деаератор  $t_{\text{ЗМ}} = 68$  °С).

8. Температура після підігрівника сирієї води (ПСВ)  $t_{\text{ПСВ}} = 70 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .  
 9. Температура води після хімоводоочистки (ХВО)  $t_{\text{ХВО}} = t_{\text{ДВ}} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Витрата мережної води на опалення

$$G_{\text{МВ}}^{\text{оп}} = \frac{Q_{\text{оп}}}{C_{\text{В}} \cdot (t_{\text{МВ}} - t_{\text{ЗМВ}}) \cdot \eta_{\text{ТО}}} \quad [\text{кг/с}], \quad (1.38)$$

де  $C_{\text{В}}$  – теплоємність води. В подальших розрахунках наближено беремо  $C_{\text{В}} = 4,19 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ ;

$\eta_{\text{ТО}}$  – коефіцієнт корисної дії теплообмінника.  $\eta_{\text{ТО}} = 0,98$ .

Витрата води на підігрівник гарячого водопостачання

$$G_{\text{МВ}}^{\text{ГВ}} = \frac{Q_{\text{ГВ}}}{C_{\text{В}} \cdot (t_{\text{МВ}} - t_{\text{ЗМВ}}) \cdot \eta_{\text{ТО}}} \quad [\text{кг/с}], \quad (1.39)$$

Загальна витрата мережної води на систему теплофікації

$$G_{\text{МВ}} = G_{\text{МВ}}^{\text{оп}} + G_{\text{МВ}}^{\text{ГВ}} \quad [\text{кг/с}], \quad (1.40)$$

Витрата додаткової води

$$G_{\text{ДВ}} = G_{\text{МВ}} \cdot \alpha_{\text{ВТР}} \quad [\text{кг/с}], \quad (1.41)$$

де  $\alpha_{\text{ВТР}}$  – частка втрат додаткової води.  $\alpha_{\text{ВТР}} = 0,02$ .

Витрата сирієї води

$$G_{\text{СВ}} = 1,2 \cdot G_{\text{ДВ}} \quad [\text{кг/с}], \quad (1.42)$$

Теплова потужність підігрівника сирі води

$$Q_{\text{псв}} = G_{\text{св}} \cdot C_{\text{в}} \cdot (t_{\text{дв}} - t_{\text{св}}) \text{ [кВт]}, \quad (1.43)$$

Витрата грійної води на ПСВ

$$G_{\text{псв}} = \frac{Q_{\text{псв}}}{C_{\text{в}} \cdot (t_{\text{к}}'' - t_{\text{псв}})} \cdot \eta_{\text{то}} \text{ [кг/с]}, \quad (1.44)$$

Витрата котлової води на змішувач

$$G_{\text{зм}} = \frac{G_{\text{дв}} \cdot C_{\text{в}} \cdot (t_{\text{зм}} - t_{\text{дв}})}{C_{\text{в}} \cdot (t_{\text{к}}'' - t_{\text{зм}})} \text{ [кг/с]}, \quad (1.45)$$

Витрата котлової води на підживлення мережі з теплового балансу деаератора

$$G_{\text{пм}} = G_{\text{д}} + G_{\text{зм}} + G_{\text{дв}} \text{ [кг/с]}, \quad (1.46)$$

Витрата води на деаератор з рівняння матеріального балансу деаератора

$$G_{\text{пм}} \cdot t_{\text{д}} = G_{\text{д}} \cdot t_{\text{к}}'' + (G_{\text{зм}} + G_{\text{дв}}) \cdot t_{\text{зм}}, \quad (1.47)$$

Витрата мережної води перед мережним насосом (МН)

$$G_{\text{мн}} = G_{\text{мв}} \cdot (1 - \alpha_{\text{впр}}) + G_{\text{пм}} + G_{\text{псв}} \text{ [кг/с]}, \quad (1.48)$$

Температура води перед мережним насосом

$$t_{\text{MH}} = \frac{G_{\text{MB}} \cdot (1 - \alpha_{\text{втр}}) \cdot t_{\text{зMB}} + (G_{\text{HM}} + G_{\text{псв}}) \cdot t_{\text{д}}}{G_{\text{MH}}} \text{ [}^{\circ}\text{C]}. \quad (1.49)$$

Витрата води в лінії перепуску

$$G_{\text{пер}} = \frac{G_{\text{MB}} \cdot (t_{\text{к}}'' - t_{\text{MB}})}{t_{\text{к}}'' - t_{\text{MH}}} \text{ [кг/с]}, \quad (1.50)$$

Витрата води в лінії рециркуляції

$$G_{\text{рец}} = \frac{(G_{\text{MH}} - G_{\text{пер}}) \cdot (t_{\text{к}}' - t_{\text{MH}})}{t_{\text{к}}'' - t_{\text{к}}'} \text{ [кг/с]}, \quad (1.51)$$

Витрата мережної води в котлі

$$G_{\text{к}} = G_{\text{MH}} - G_{\text{пер}} + G_{\text{рец}} \text{ [кг/с]}, \quad (1.52)$$

Теплова потужність котельні

$$Q_{\text{к.вк}}^{\text{оп}} = G_{\text{к}} \cdot C_{\text{в}} \cdot (t_{\text{к}}'' - t_{\text{к}}') \cdot 10^{-3} \text{ [МВт]}, \quad (1.53)$$

ККД котла ПТВМ-30

$$\eta_{\text{вк}} = 100 - (q_2 + q_3 + q_5) \text{ [%]}, \quad (1.54)$$

де  $q_3$  – втрати тепла через механічну неповноту згоряння палива.  $q_3 = 1 \%$ ;  
 $q_5$  – втрати тепла через огородження котла.  $q_5 = 1\%$ .

Витрата умовного палива

$$B_{y.BK}^{op} = \frac{Q_{k.BK}^{op}}{\eta_{BK} \cdot Q_{H.Y}^p} \text{ [кг/с]}, \quad (1.55)$$

Витрата робочого палива

$$B_{p.BK}^{op} = \frac{Q_{k.BK}^{op}}{\eta_{BK} \cdot Q_H} \text{ [м}^3\text{/с]}, \quad (1.56)$$

Витрата палива при повному завантаженні котла

$$B_{p.BK} = \frac{Q_{BK}}{\eta_{BK} \cdot Q_H} \text{ [м}^3\text{/с]}, \quad (1.57)$$

де  $Q_{BK}$  - потужність водогрійного котла ПТВМ-30, МВт Із марки котла  $Q_{BK} = 30 \text{ Гкал/год}$ .

Подача вентилятора

$$Q_{v.BK} = k_3 \cdot 3,6 \cdot B_{p.BK} \cdot V^0 \cdot \alpha_T \text{ [тис.м}^3\text{/год]}, \quad (1.58)$$

Потужність електропривода вентилятора

$$N_{v.BK} = B_{p.BK} \cdot V^0 \cdot \alpha_T \cdot H_B / (\eta_B \cdot \eta_{cm}) \text{ [кВт]}, \quad (1.59)$$

Подача димососа

$$Q_{d.BK} = k_3 \cdot 3,6 \cdot B_{p.BK} \cdot [V_\Gamma^0 + (\alpha_{вг} - 1) \cdot V^0] \cdot [(t_{вг} + 273) / 273] \text{ [тис.м}^3\text{/год]}, \quad (1.60)$$

Потужність електропривода димососа

$$N_{\text{д.вк}} = V_{\text{р.вк}} \cdot V_{\text{г}}^0 \cdot \alpha_{\text{вг}} \cdot H_{\text{д}} / (\eta_{\text{д}} \cdot \eta_{\text{ем}}) \text{ [кВт]}, \quad (1.61)$$

Загальна електрична потужність тягодуттєвих установок

$$N_{\text{тд.вк}} = N_{\text{в.вк}} + N_{\text{д.вк}} \text{ [кВт]}, \quad (1.62)$$

Об'ємна подача мережного насоса

$$Q_{\text{мн.вк}} = \frac{G_{\text{мн}} \cdot 3600}{\rho_{\text{мв}}} \text{ [м}^3 \text{ / год]}, \quad (1.63)$$

де  $\rho_{\text{мв}}$  – густина мережної води перед насосом. При  $t_{\text{мн}} = 70 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $\rho_{\text{мв}} = 977,5 \text{ кг/м}^3$  [5].

Потужність, яку споживає електропривод мережного насоса

$$N_{\text{мн}} = Q_{\text{мн.вк}} \cdot H_{\text{мн}} / (3600 \cdot \eta_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{ем}}) \text{ [кВт]}, \quad (1.64)$$

Об'ємна подача насоса сирій води

$$Q_{\text{нсв.вк}} = \frac{k_3 \cdot G_{\text{св}} \cdot 3600}{\rho_{\text{св}}} \text{ [м}^3 \text{ / год]}, \quad (1.65)$$

де  $\rho_{\text{св}}$  – густина сирій води перед насосом. При  $t_{\text{св}} = 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $\rho_{\text{св}} = 999,8 \text{ кг/м}^3$ .

Потужність, яку споживає електропривод насоса сирій води

$$N_{\text{нсв}} = Q_{\text{нсв.вк}} \cdot H_{\text{нсв}} / (3600 \cdot \eta_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{ем}}) \text{ [кВт]}, \quad (1.66)$$



## Об'ємна подача підживлювального насоса

$$Q_{\text{пн.вк}} = \frac{G_{\text{пн}} \cdot 3600}{\rho_{\text{пм}}} \text{ [м}^3 \text{ / Год]}, \quad (1.67)$$

де  $\rho_{\text{пм}}$  – густина підживлювальної води перед насосом. При  $t_{\text{д}} = 70 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  
 $\rho_{\text{мв}} = 977,5 \text{ кг/м}^3$ .

Потужність, яку споживає електропривод підживлювального насоса

$$N_{\text{пн}} = Q_{\text{пн.вк}} \cdot H_{\text{пн}} / (3600 \cdot \eta_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{см}}) \text{ [кВт]}, \quad (1.68)$$

Сумарна споживна потужність насосів

$$N_{\text{н.вк}} = N_{\text{мн}} + N_{\text{исв}} + N_{\text{пн}} \text{ [кВт]}, \quad (1.69)$$

Загальна потужність власних потреб

$$N_{\text{вп.вк}} = (N_{\text{тд.вк}} + N_{\text{н.вк}}) \cdot k \text{ [кВт]}, \quad (1.70)$$

Результати розрахунків, згідно формул 1.1-1.70 наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Результати розрахунків в максимальноопалювальний період

Величини	Позначення	Розмірність	Результати
1	2	3	4
Парова частина котельні			
Витрата пари на промислові споживачі	$D_{\text{тф}}$	кг/с	5,02
Витрата зворотного конденсату	$G_{\text{зк}}$	кг/с	4,016
Витрата додаткової води	$G_{\text{дв}}$	кг/с	1,004
Витрата сирієї води перед ХВО	$G_{\text{св}}$	кг/с	1,205
Витрата охолодної води на кг гострої пари	$g$		0,286
Витрата живильної води	$G_{\text{жв}}$	кг/с	5,488
Витрата пари на деаератор	$D_{\text{д}}$	кг/с	0,021

## Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4
Теплова потужність парової частини котельні	$Q_{к.пк}$	МВт	14,35
Втрати теплоти з відхідними газами	$q_2$	%	6,53
ККД SHP-E-10	$\eta_{вк}$	%	90,72
Витрата умовного палива	$B_{у.пк}$	кг/с	0,54
Витрата робочого палива	$B_{р.пк}$	м <sup>3</sup> /с	0,474
ККД парової частини котла	$\eta_{кот}^{п.к}$	%	70,8
Теплова потужність котла SHP-E-10 при повному завантаженні	$Q_{к.пк}$	МВт	8,26
Витрата палива при повному завантаженні парового котла	$B_{р.пк}$	м <sup>3</sup> /с	0,273
Потужність електропривода вентилятора	$N_{в.пк}$	кВт	6,48
Потужність електропривода димососа	$N_{д.пк}$	кВт	16,98
Загальна електрична потужність тягодуттєвих установок	$N_{тд.пк}$	кВт	46,92
Потужність електропривода живильного насоса	$N_{жн.пк}$	кВт	59,74
Потужність електропривода насоса сирії води	$N_{нсв.пк}$	кВт	0,83
Потужність електропривода насоса ХВО	$N_{нхво.пк}$	кВт	0,63
Сумарна споживна потужність насосів	$N_{в.пк}$	кВт	60,2
Загальна потужність власних потреб	$N_{вп.пк}$	кВт	115,8
Водогрійна частина котельні			
Витрата мережної води на опалення	$G_{мв}^{оп}$	кг/с	107,2
Витрата води на підігрівник гарячого водопостачання	$G_{мв}^{гв}$	кг/с	39
Загальна витрата мережної води на систему теплофікації	$G_{мв}$	кг/с	146,2
Теплова потужність підігрівника сирії води	$Q_{псв}$	кВт	220,6
Витрата грійної води на ПСВ	$G_{псв}$	кг/с	0,877
Витрата котлової води на змішувач	$G_{зм}$	кг/с	2,26
Витрата котлової води на підживлення мережі	$G_{пм}$	кг/с	5,357
Витрата води на деаератор	$G_{д}$	кг/с	0,173
Витрата мережної води в котлі	$G_{к}$	кг/с	125,14
Теплова потужність котельні	$Q_{к.вк}$	МВт	31,46
ККД котла ПТВМ-30	$\eta_{вк}$	%	91,47
Витрата умовного палива	$B_{у.вк}$	кг/с	1,174
Витрата робочого палива	$B_{р.вк}$	м <sup>3</sup> /с	1,03
Витрата палива при повному завантаженні котла	$B_{р.вк}$	м <sup>3</sup> /с	1,14
Потужність електропривода вентилятора	$N_{в.вк}$	кВт	88,8
Потужність електропривода димососа	$N_{д.вк}$	кВт	79,2
Загальна потужність тягодуттєвих установок	$N_{тд.вк}$	кВт	168
Потужність електропривода мережного насоса	$N_{мн}$	кВт	179,2

## Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4
Потужність електропривода насоса сирій води	$N_{нсв}$	кВт	1,06
Потужність електропривода підживлювального насоса	$N_{пн}$	кВт	2,74
Потужність електропривода насоса рециркуляції	$N_{рн}$	кВт	0
Сумарна споживна потужність насосів	$N_{н.вк}$	кВт	183
Загальна потужність власних потреб	$N_{вл.вк}$	кВт	386,1
Питома витрата умовного палива на виробництво одиниці енергії	$b_y$	кг/МДж	0,0416

Так як розрахунок парової частини котельні залишається незмінним на протязі усіх періодів, то подальші розрахунки здійснені для водогрійної частини котельні.

## 1.2 Розрахунок середньоопалювального періоду

Початкові дані:

1. Працюють два парові котли SHP-E-10 та один водогрійний ПТВМ-30.
2. Потужність промислового споживача  $Q_{пс}^{cp} = Q_{пс} = 11,2$  МВт .
3. Потужність гарячого водопостачання  $Q_{гв}^{cp} = Q_{гв} = 8$  МВт .
4. ККД водогрійного котла  $\eta_{вк}^{cp} = 0,85$  .

Результати розрахунків теплової схеми котельні, в середньоопалювальний період, наведені в таблиці 1.2

Таблиця 1.2 – Результати розрахунків в середньоопалювальний період

Величини	Позначення	Розмірність	Результати
1	2	3	4
Водогрійна частина котельні			
Витрата мережної води на опалення	$G_{мв}^{оп}$	кг/с	54,65
Витрата води на підігрівник гарячого водопостачання	$G_{мв}^{гв}$	кг/с	39
Загальна витрата мережної води на систему теплофікації	$G_{мв}$	кг/с	93,65
Теплова потужність підігрівника сирій води	$Q_{псв}$	кВт	141,3
Витрата грійної води на ПСВ	$G_{псв}$	кг/с	0,574
Витрата котлової води на змішувач	$G_{зм}$	кг/с	1,45
Витрата котлової води на підживлення мережі	$G_{пм}$	кг/с	3,434
Витрата води на деаератор	$G_{д}$	кг/с	0,111

## Продовження таблиці 1.2

1	2	3	4
Витрата мережної води в котлі	$G_k$	кг/с	80,175
Теплова потужність котельні	$Q_{k,вк}$	МВт	20,16
Витрата умовного палива	$B_{y,вк}$	кг/с	0,809
Витрата робочого палива	$B_{p,вк}$	м <sup>3</sup> /с	0,710
Потужність електропривода вентилятора	$N_{в,вк}$	кВт	55,33
Потужність електропривода димососа	$N_{д,вк}$	кВт	49,33
Загальна потужність тягодуттєвих установок	$N_{тд,вк}$	кВт	104,66
Потужність електропривода мережного насоса	$N_{мн}$	кВт	114,83
Потужність електропривода насоса сирії води	$N_{нсв}$	кВт	0,68
Потужність електропривода підживлювального насоса	$N_{пн}$	кВт	1,76
Потужність електропривода насоса рециркуляції	$N_{рн}$	кВт	0
Сумарна споживна потужність насосів	$N_{н,вк}$	кВт	117,27
Загальна потужність власних потреб	$N_{вл,вк}$	кВт	244,12
Питома витрата умовного палива на виробництво одиниці енергії	$b_y$	кг/МДж	0,0443

## 1.3 Розрахунок міжопалювального періоду

Початкові дані:

1. Працюють два парові котли SHP-E-10 та один водогрійний ПТВМ-30.
2. Потужність промислового споживача  $Q_{пс}^{мо} = Q_{пс} = 11,2$  МВт .
3. Потужність гарячого водопостачання  $Q_{гв}^{мо} = Q_{гв} = 8$  МВт .
4. Потужність опалення  $Q_{оп}^{мо} = 0$  МВт .
5. ККД водогрійного котла  $\eta_{вк}^{мо} = 0,78$ .
6. Температурний графік мережі  $t_{мв}^{мо} / t_{зmv}^{мо} = 80/40^0$  С .
7. Температура сирії води  $t_{св}^{мо} = 7^0$  С ( $\rho_{св} = 999,76$  кг/м<sup>3</sup>).

Результати розрахунків теплової схеми котельні, в міжопалювальний період, наведені в таблиці 1.3

Таблиця 1.3 – Результати розрахунків в міжопалювальний період

Величини	Позначення	Розмірність	Результати
1	2	3	4
Водогрійна частина котельні			
Витрата мережної води на опалення	$G_{\text{МВ}}^{\text{оп}}$	кг/с	0
Витрата води на підігрівник гарячого водопостачання	$G_{\text{МВ}}^{\text{ГВ}}$	кг/с	48,71
Загальна витрата мережної води на систему теплофікації	$G_{\text{МВ}}$	кг/с	48,71
Теплова потужність підігрівника сирі води	$Q_{\text{ПСВ}}$	кВт	63,68
Витрата грійної води на ПСВ	$G_{\text{ПСВ}}$	кг/с	0,258
Витрата котлової води на змішувач	$G_{\text{ЗМ}}$	кг/с	0,2
Витрата котлової води на підживлення мережі	$G_{\text{ПМ}}$	кг/с	1,213
Витрата води на деаератор	$G_{\text{Д}}$	кг/с	0,039
Витрата мережної води в котлі	$G_{\text{К}}$	кг/с	32,57
Теплова потужність котельні	$Q_{\text{К.ВК}}$	МВт	8,19
Витрата умовного палива	$B_{\text{У.ВК}}$	кг/с	0,358
Витрата робочого палива	$B_{\text{Р.ВК}}$	м <sup>3</sup> /с	0,314
Потужність електропривода вентилятора	$N_{\text{В.ВК}}$	кВт	24,47
Потужність електропривода димососа	$N_{\text{Д.ВК}}$	кВт	21,81
Загальна потужність тягодуттєвих установок	$N_{\text{ТД.ВК}}$	кВт	46,28
Потужність електропривода мережного насоса	$N_{\text{МН}}$	кВт	58,99
Потужність електропривода насоса сирі води	$N_{\text{НСВ}}$	кВт	0,35
Потужність електропривода підживлювального насоса	$N_{\text{ПН}}$	кВт	0,62
Потужність електропривода насоса рециркуляції	$N_{\text{РН}}$	кВт	0,51
Сумарна споживна потужність насосів	$N_{\text{Н.ВК}}$	кВт	60,47
Загальна потужність власних потреб	$N_{\text{ВП.ВК}}$	кВт	117,43
Питома витрата умовного палива на виробництво одиниці енергії	$b_{\text{У}}$	кг/МДж	0,0468

#### 1.4 Техніко-економічні показники

Математична модель складена за методикою [3, 4].

Сумарна потужність власних потреб

$$\Sigma N_{\text{ВП}} = N_{\text{ВП.ПК}} + N_{\text{ВП.ВК}} \quad [\text{кВт}], \quad (1.71)$$

## Загальна витрата палива

$$V_p = (V_{p.лк} + V_{p.вк}) \cdot \tau_{оп} \cdot 3,6 \text{ [тис.м}^3\text{]}, \quad (1.72)$$

де  $\tau_{оп}$  – період сезону, год. Для опалювального періоду  $\tau_{оп} = 4500$  год, для міжопалювального -  $\tau_{мо} = 3700$  год.

## Витрата на паливо

$$Z_p = V_p \cdot C_p \cdot 10^{-6} \text{ [млн.грн]}, \quad (1.73)$$

де  $C_p$  – ціна природного газу за  $1000 \text{ м}^3$ , грн/(тис.м<sup>3</sup>).  $C_p = 34500$  грн/(тис.м<sup>3</sup>).

## Споживана електроенергія на власні потреби

$$E_{вп} = \sum N_{вп} \cdot \tau_{оп} \cdot 10^{-3} \text{ [МВт} \cdot \text{год]}. \quad (1.74)$$

## Витрати за споживану електроенергію

$$Z_e = E_{вп} \cdot C_{ел} \cdot 10^{-6} \text{ [млн.грн]}, \quad (1.75)$$

де  $C_{ел}$  – ціна електроенергії (постачання та розподіл) за  $1 \text{ МВт} \cdot \text{год}$ , грн/(МВт·год).  $C_{ел} = 430,25$  грн/(МВт·год).

## Витрати на воду

$$Z_v = G_{дв} \cdot C_v \cdot \tau_{оп} \cdot 3,6 \cdot 10^{-6} \text{ [млн.грн]}, \quad (1.76)$$

де  $C_v$  – ціна  $1 \text{ м}^3$  води, грн/м<sup>3</sup>.  $C_v = 33,97$  грн/м<sup>3</sup>.

## Загальна відпущена теплова енергія

$$Q_v = (Q_{оп} + Q_{гв} + Q_{тф}) \cdot \tau_{оп} \text{ [МВт} \cdot \text{год]}. \quad (1.77)$$



Виручка за відпущену теплоту

$$V_T = Q_B \cdot C_T \cdot 10^{-6} \text{ [млн.грн]}, \quad (1.78)$$

де  $C_T$  – ціна за теплоту, грн/(МВт·год).  $C_T = 1769,17$  грн/(МВт·год).

Різниця між виручкою і витратами

$$\Delta R = V_T - Z_{\text{п}} - Z_{\text{е}} - Z_{\text{в}} \text{ [млн.грн]}. \quad (1.79)$$

Результати економічних показників котельні розрахунків наведені в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Економічні показники роботи діючої котельні

Величини	Позначення	Розмірність	Періоди		
			Середньо-опалювальний	Міжопалювальний	Середньорічний
Сумарна потужність власних потреб	$\Sigma N_{\text{вп}}$	кВт	434,26	256,07	690,33
Загальна витрата палива	$V_p$	тис.м <sup>3</sup>	19180,80	4182,48	23363,28
Витрата на паливо	$Z_{\text{п}}$	млн.грн	661,738	144,296	806,034
Споживана електроенергія на власні потреби	$E_{\text{вп}}$	МВт·год	1954,17	947,459	2901,629
Витрати за споживану електроенергію	$Z_{\text{е}}$	млн.грн	0,841	0,407	1,248
Витрати на воду	$Z_{\text{в}}$	млн.грн	0,663	0,245	0,908
Загальна відпущена теплова енергія	$Q_B$	МВт·год	136890	71040	207930
Виручка за відпущену теплоту	$V_T$	млн.грн	242,181	125,682	367,863
Різниця між виручкою і витратами	$\Delta R$	млн.грн	-332,805	19,266	-303,539

Середньорічна питома витрата умовного палива на виробництво одиниці енергії

$$b_y^{\text{cp}} = (b_y^{\text{оп}} \cdot \tau_{\text{оп}} + b_y^{\text{мо}} \cdot \tau_{\text{мо}}) / (\tau_{\text{оп}} + \tau_{\text{мо}}) \text{ [кг/МДж]}, \quad (1.80)$$

$$b_y^{\text{cp}} = (0,03892 \cdot 4500 + 0,01635 \cdot 3700) / (4500 + 3700) = 0,0287 \text{ (кг/МДж)}.$$

Таким чином, розрахунок питомої витрати умовного палива в середньорічний період  $b_y^{cp} = 0,0287$  (кг/МДж), а в середньопалювальний  $b_y = 0,03892$  кг/МДж, можна зробити висновок про неекономічність роботи котельні. Витрати за споживану електроенергію в середньорічний період становлять  $Z_e = 1,248$  млн.грн., витрати на паливо  $Z_{\text{п}} = 806,034$  млн.грн, а витрати на воду  $Z_{\text{в}} = 1,317$  млн.грн. Тобто в сумі всі витрати перевищують виручку за відпущену теплоту  $V_T = 367,863$  млн.грн на 303,539 млн.грн. Тому вже зараз можна говорити про неекономічність роботи котельні, навіть не враховуючи витрати на амортизацію обладнання, заробітну плату працівників та інші додаткові витрати. А так як спостерігається щомісячна тенденція збільшення цін на енергоресурси, то котельня працюватиме тільки в збиток. Саме тому необхідною умовою є запровадження енергозберігаючих технологій для підвищення показників роботи котельні.

## 2 РОЗРОБКА РЕКОНСТРУЙОВАНОЇ ТЕПЛОВОЇ СХЕМИ

### 2.1 Багатоваріантний аналіз шляхів модернізації котельні

Тенденція останніх років щодо збільшення ціни природного газу та електроенергії робота котельні стає нерентабельною. Із аналізу літературних джерел [5, 6] випливає, що найбільш дієвим засобом для підвищення ефективності роботи котельні є застосування сумісного виробництва теплоти та електроенергії. Це спонукає переобладнати котельню на ТЕЦ.

Також існує ряд інших можливих варіантів щодо модернізації роботи котельні для покращення економічних та не менш важливих екологічних показників:

1. Заміна газових парових котлів на твердопаливні парогенератори, наприклад, на вугіллі або деревині.

2. Встановлення додаткового твердопаливного водогрійного котла для забезпечення потреб опалення, вентиляції, гарячого водопостачання та власних потреб котельні.

3. Встановлення детандер-генераторного агрегату (ДГА), що призначений для виробництва електроенергії за рахунок використання перепаду тисків в газовій магістралі. Він встановлюється замість ГРП.

4. Встановлення на котельні газотурбінної установки для виробництва власної електроенергії і скидання теплоти відхідних газів в додатково встановлений паровий котел-утилізатор.

5. Встановлення когенераційної установки на базі газопоршневого двигуна для виробництва власної електроенергії і скидання теплоти на потреби опалення, вентиляції, гарячого водопостачання та власні потреби котельні.

6. Встановлення теплонасосної установки для виробництва теплоти на потреби опалення, вентиляції, гарячого водопостачання та власні потреби котельні, використовуючи теплоту систем охолодження оборотної води.

7. Встановлення протитискової парової турбіни на насиченій парі для виробництва власної електроенергії.

8. Встановлення протитискової парової турбіни на перегрітій парі для виробництва власної електроенергії.

Варіант 1 буде мати перевагу завдяки дешевшому паливу, але недоліки цього варіанту більш значні. Заміна газових парових котлів на твердопаливні вимагає, по-перше, великих капіталовкладень. По-друге, твердопаливні котли значно більші за габаритами, ніж газові, тому необхідно буде перебудувувати котельню, створення

додаткових приміщень для зберігання, а також транспортування палива у котли, додаткових робочих місць [7].

Варіант 2 є, на нашу думку, раціональним, тому що капіталовкладення в модернізацію відносно невеликі (котел, димова труба, невелике сховище для палива). Потужність твердопаливної частини схеми обмежена споживанням теплоти на опалення, вентиляцію, ГВП та власні потреби, яке складає не більше 850 кВт.

Варіант 3 пов'язаний із покращенням екологічного стану, а саме зменшення температури вихідних газів при викиді в навколишнє середовище, проте економічні показники будуть незначні. Робота котельні все одно, залишиться мало нерентабельною, тому необхідні більш радикальні методи покращення показників роботи котельні.

Варіант 4, на нашу думку, не є раціональним, оскільки капіталовкладення в систему високі (газова турбіна, котел-утилізатор, додаткові приміщення), габаритні розміри котельні не дозволять розмістити в ній все обладнання. Екологічні показники котельні погіршаться в зв'язку із значними викидами в атмосферу під час роботи газових турбін.

Варіант 5 є, на нашу думку, раціональним. Недоліками цього варіанту є значно підвищення рівню шуму в приміщенні котельні, незначне збільшення витрати природного газу, достатньо високі капіталовкладення. Перевага – можливість вироблення власної електроенергії з достатньо високою енергетичною та екологічною ефективністю [8, 9].

Потужність когенераційної установки обмежена споживанням теплоти на потреби опалення, вентиляції, гарячого водопостачання та власні потреби котельні.

Варіант 6 дозволяє виробляти обмежену кількість теплоти з високою енергетичною та економічною ефективністю за рахунок використання скидної теплоти систем охолодження компресорів та конденсаторів холодильних машин. Перевага – зменшення шкідливих викидів за рахунок використання електроенергії в теплових насосах, недолік значні капіталовкладення в теплонасосне обладнання.

Варіант 7 є раціональним, оскільки дозволяє виробляти невелику кількість власної електроенергії з використанням існуючого котельного обладнання за рахунок встановлення протитискової парової турбіни, що працює на насиченій парі. Недоліком є необхідність заміни живильних насосів на більш потужні та встановлення резервної редукційно-охолоджувальної установки.

Варіант 8 пов'язаний із можливістю виробляти власну електроенергію в межах існуючої котельні завдяки встановленню пароперегрівників на парогенераторах,

резервної редуційно-охолоджувальної установки та заміни насосів. Встановлення пароперегрівника дозволяє перегріти пару на виході з котла на  $50^{\circ}\text{C}$ , що відповідно збільшить вироблення електроенергії.

Для техніко-економічного обґрунтування обрані варіанти встановлення твердопаливного водогрійного котла, когенераційної установки на базі газопоршневого двигуна, протитискової турбіни на насиченій та перегрітій парі.

Проте наявність водогрійних котлів унеможлиблює такий варіант реконструкції котельні. Наявність парових котлів дозволяє перетворити котельню на ТЕЦ з паровими протитисковими турбінами і відмовитись від водогрійних котлів. Добре відомо, що протитискові турбіни є най економічними [8, 10].

Зважаючи на вищевикладене, пропонується такий варіант створення ТЕЦ на базі котельні. Замінити існуючі парові котли, які вже давно вичерпали нормативний ресурс роботи, на котли ТС-35, які мають такі самі параметри пари. Пропонується установити три (два робочих і один резервний) парові котли і демонтувати водогрійні котли з наступною їх реалізацією. Оскільки промислові споживачі споживають пару з тиском  $0,6\text{ МПа}$ , то належить установити протитискову турбіну з тиском пари за нею  $0,6\text{ МПа}$ . Пропонується установити бойлери для постачання гарячої води в систему теплофікації. Бойлери мають бути заживлені паром низького тиску ( $0,18 - 0,2\text{ МПа}$ ). В зв'язку з цим пропонується також установити протитискову прибудовану турбіну, яка буде заживлена паром з протитиску основної турбіни ( $P_{\text{пр}} = 0,6\text{ МПа}$ ).

## 2.2 Аналіз реконструкції котельні

Схема ТЕЦ наведена на рисунку 2.1. Для надійності постачання пари паралельно з турбінами передбачається відпуск пари від редуційно-охолоджувальних установок: РОУ-1 і РОУ-2. Для постачання сухої насиченої пари промисловим споживачам за основною турбіною установлюється охолодна установка (ОУ).

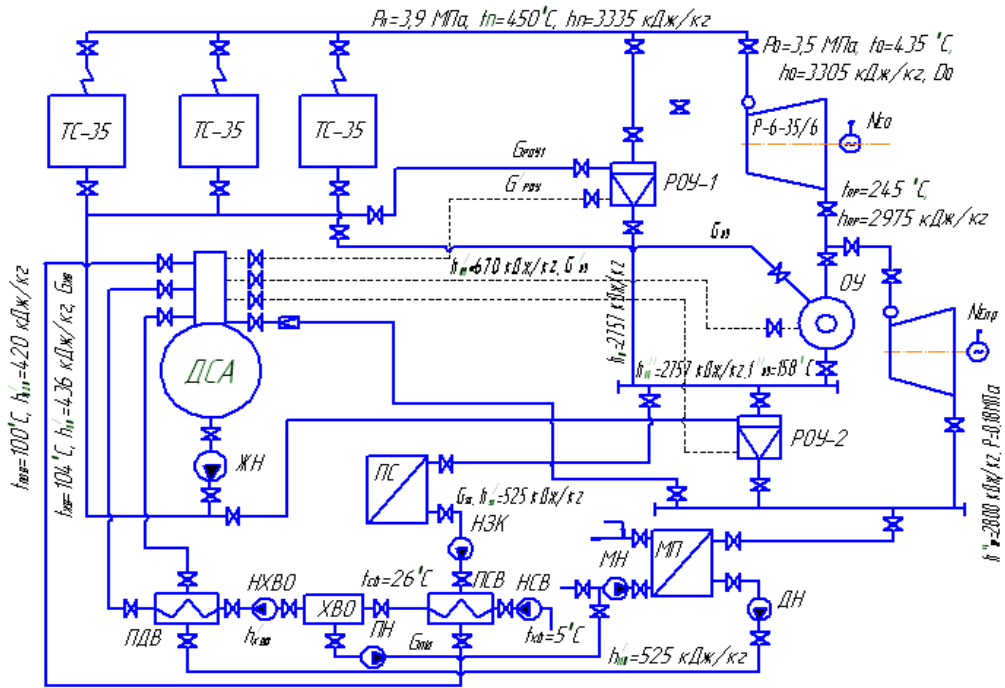


Рисунок 2.1 – ТЕЦ на базі котельні

### 2.2.1 Математична модель для розрахунку ТЕЦ

Дана математична модель [5] визначає основні витрати теплоносіїв та потужності насосів в даній схемі ТЕЦ, які не залежать від виду палива.

Загальна потужність системи теплофікації

$$Q_{\text{тф}} = Q_{\text{оп}} + Q_{\text{гв}} \text{ [МВт]}. \quad (2.1)$$

Витрата пари на теплофікацію

$$D_{\text{тф}} = \frac{Q_{\text{тф}} \cdot 10^3}{(h_{\text{п}} - h'_{\text{мп}}) \cdot \eta_{\text{т}}} \text{ [кг/с]}. \quad (2.2)$$

Витрата пари на промислові споживачі

$$D_{\text{пс}} = \frac{Q_{\text{пс}} \cdot 10^3}{(h_{\text{п}} - h'_{\text{зк}}) \cdot \eta_{\text{т}}} \text{ [кг/с]}. \quad (2.3)$$

Витрата пари, що постачається з ОУ

$$D''_{\text{ОУ}} = D_{\text{пс}} \text{ [кг/с]}. \quad (2.4)$$



Питома витрата води, що випаровується на ОУ

$$W_{oy} = \frac{h_n - h''_{oy}}{h''_{oy} + (1 - \varphi) \cdot h'_d - h'_{oy} \cdot (2 - \varphi)} \quad [\text{кг/с}]. \quad (2.5)$$

Витрата пари, що надходить на ОУ із основної турбіни

$$D_{oy} = \frac{D''_{oy}}{1 + W} \quad [\text{кг/с}]. \quad (2.6)$$

Кількість води, що випаровується на ОУ

$$\Delta G_{oy} = D''_{oy} \cdot W \quad [\text{кг/с}]. \quad (2.7)$$

Витрата охолодної води на ОУ

$$G_{oy} = \frac{\Delta G_{oy}}{\varphi} \quad [\text{кг/с}]. \quad (2.8)$$

Витрата води, що зливається з ОУ в деаератор

$$G'_{oy} = G_{oy} - \Delta G_{oy} \quad [\text{кг/с}]. \quad (2.9)$$

Витрата додаткової води

$$G_{дв} = D_{пс} - G_{зк} \quad [\text{кг/с}]. \quad (2.10)$$

Витрата сирої води

$$G_{св} = (G_{дв} - G_{пв}) \cdot 1,2 \quad [\text{кг/с}]. \quad (2.11)$$

Ентальпія води після підігрівника сирі води

$$h'_{\text{псв}} = \frac{G_{\text{зк}}}{G_{\text{св}}} \cdot (h'_{\text{зк}} - h'_{\text{пдв}}) + h'_{\text{св}} \quad [\text{кДж/кг}]. \quad (2.12)$$

Витрата конденсату із мережного підігрівника системи теплофікації на підігрів додаткової води в підігрівнику ПДВ до 100 °С

$$G_{\text{пдв}} = \frac{G_{\text{тф}} \cdot (h'_{\text{мп}} - h'_{\text{пдв}})}{G_{\text{дв}} \cdot (h'_{\text{пдв}} - h'_{\text{псв}})} \quad [\text{кг/с}]. \quad (2.13)$$

Витрата конденсату із МП, який надходить в деаератор

$$G_{\text{мп}}^{\text{к}} = D_{\text{тф}} - G_{\text{пдв}} \quad [\text{кг/с}]. \quad (2.14)$$

Витрату пари на деаератор знайдемо з теплового балансу деаератора

$$(1 + \alpha_{\text{пр}}) \cdot D_0 \cdot h'_{\text{д}} + G_{\text{оу}} \cdot h'_{\text{д}} = (G_{\text{зк}} + G_{\text{дв}} + D_{\text{тф}}) \cdot h'_{\text{пдв}} + G'_{\text{оу}} \cdot h'_{\text{оу}} + D_{\text{д}} \cdot h_{\text{пр}}. \quad (2.15)$$

Витрата пари на основну турбіну

$$D_0 = D_{\text{пр}} + D_{\text{оу}} \quad [\text{кг/с}]. \quad (2.16)$$

Витрата пари на прибудовану турбіну

$$D_{\text{пр}} = D_{\text{тф}} - D_{\text{д}} \quad [\text{кг/с}]. \quad (2.17)$$

Робочий теплоперепад в основній турбіні

$$H_{\text{р}}^0 = h_0 - h_{\text{пр}} \quad [\text{кДж/кг}]. \quad (2.18)$$

Електрична потужність основної турбіни

$$N_{\text{е0}} = D_0 \cdot H_{\text{р}}^0 \cdot \eta_{\text{ем}} \cdot 10^{-3} \quad [\text{МВт}]. \quad (2.19)$$

Робочий теплоперепад в прибудованій турбіні

$$H_p^{np} = h_0^{np} - h_{np}^{np} \text{ [кДж/кг]}. \quad (2.20)$$

Електрична потужність прибудованої турбіни

$$N_{епр} = D_{np} \cdot H_p^{np} \cdot \eta_{ем} \cdot 10^{-3} \text{ [МВт]}. \quad (2.21)$$

Загальна електрична потужність ТЕЦ

$$N_e = N_{e0} + N_{епр} \text{ [МВт]}. \quad (2.22)$$

Необхідна витрата пари

$$D_0^H = D_0 \cdot 3,6 \text{ [т/год]}. \quad (2.23)$$

Коефіцієнт завантаження котлів

$$k_3 = D_0^H / (2 \cdot D_k). \quad (2.24)$$

Витрата живильної води

$$G_{жв} = (1 + p) \cdot D_0 + G_{oy} \text{ [кг/с]}. \quad (2.25)$$

Об'ємна витрата живильної води

$$V_{жв} = G_{жв} / \rho_{жв} \text{ [м}^3\text{/с]}. \quad (2.26)$$

Необхідна потужність електропривода живильного насоса

$$N_{жн} = V_{жн} \cdot (P_{п} - P_{д}) \cdot k_3 / (\eta_n \cdot \eta_{ем}) \text{ [кВт]}. \quad (2.27)$$

Потужність привода дренажного насоса

$$N_{др} = D_{др} \cdot \Delta P / (\rho_k \cdot \eta_n \cdot \eta_{ем}) \text{ [кВт]}. \quad (2.28)$$

Потужність насоса зворотного конденсату

$$N_{зк} = G_{зк} \cdot \Delta P / (\rho_{зк} \cdot \eta_{н} \cdot \eta_{ем}) \text{ [кВт]}. \quad (2.29)$$

Потужність насоса підживлення

$$N_{пж} = G_{пж} \cdot \Delta P / (\rho_{пж} \cdot \eta_{н} \cdot \eta_{ем}) \text{ [кВт]}. \quad (2.30)$$

Потужність насоса сирої води

$$N_{св} = G_{св} \cdot \Delta P / (\rho_{св} \cdot \eta_{н} \cdot \eta_{ем}) \text{ [кВт]}. \quad (2.31)$$

Витрата мережної води

$$G_{мв} = \frac{Q_{тф} \cdot 10^3}{C_p \cdot (t_{мв} - t_{змв})} \text{ [кг/с]}. \quad (2.32)$$

Потужність насоса мережної води

$$N_{мв} = G_{мв} \cdot \Delta P / (\rho_{мв} \cdot \eta_{н} \cdot \eta_{ем}) \text{ [кВт]}. \quad (2.33)$$

Електрична потужність приводів насосів

$$N_{н} = N_{жн} + N_{др} + N_{зк} + N_{пж} + N_{св} + N_{мн} \text{ [кВт]}. \quad (2.34)$$

### 2.2.2 Початкові дані

1. Опалювальний період

1) Потужність системи теплофікації  $Q_{тф} = 19,22$  МВт.

2) Параметри пари перед основною турбіною:  $P_0 = 3,5$  МПа,  $t_0 = 435$  °С,  
 $h_0 = 3305$  кДж/кг.

3) Параметри пари за ОУ:  $P_{ОУ} = 0,6$  МПа,  $t_{ОУ} = 158$  °С,  $h''_{ОУ} = 2757$  кДж/кг,  
 $h'_{ОУ} = 670$  кДж/кг.

4) Параметри пари за прибудованою турбіною:  $P_{пр} = 0,18$  МПа,  
 $h_{пр} = 2800$  кДж/кг.

- 5) Потужність промислових споживачів  $Q_{\text{пс}} = 11,2$  МВт.
- 6) Витрата зворотного конденсату  $G_{\text{зк}} = 4$  кг/с.
- 7) Витрата підживлювальної води  $G_{\text{пв}} = 2,9$  кг/с.
- 8) Ентальпія підживлювальної води  $h'_{\text{пдв}} = 440$  кДж / кг .
- 9) Ентальпія зворотних конденсатів  $h'_{\text{зк}} = 525$  кДж / кг .
- 10) Температура та ентальпія сирі води, відповідно:  $t_{\text{св}} = 5$  °С,  $h'_{\text{св}} = 21$  кДж / кг
- 11) Частка безперервної продувки котлів  $p = 0,03$ .
- 12) Коефіцієнт корисної дії котлів  $\eta_{\text{к}} = 0,883$ .
- 13) Тривалість опалювального періоду  $\tau_{\text{оп}} = 4500$  год.

## 2. Міжопалювальний період

- 1) Потужність системи теплофікації:  $Q_{\text{тф}} = 8$  МВт.
- 2) Потужність промислових споживачів  $Q_{\text{пс}} = 11,2$  МВт.
- 3) Коефіцієнт корисної дії котлів  $\eta_{\text{к}} = 0,812$ .
- 4) Тривалість міжопалювального періоду  $\tau_{\text{мо}} = 3700$  год.
- 5) Параметри пари та води такі ж як і в опалювальному періоді.

### 2.2.3 Результати розрахунків теплової схеми ТЕЦ

Результати розрахунків для зазначеного періоду наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Результати розрахунків теплової схеми ТЕЦ

Величини	Позначення	Розмірність	Періоди	
			Серньо-опалювальний	Міжопалювальний
1	2	3	4	5
Витрата пари на теплофікацію	$D_{\text{тф}}$	кг/с	13,125	5,83
Витрата пари на промислові споживачі	$D_{\text{пс}}$	кг/с	5	5
Витрата пари, що постачається з ОУ	$D''_{\text{ОУ}}$	кг/с	5	5
Питома витрата води, що випаровується на ОУ	$W_{\text{ОУ}}$	кг/с	0,1	0,1
Витрата пари, що надходить на ОУ із основної турбіни	$D_{\text{ОУ}}$	кг/с	4,55	4,55
Кількість води, що випаровується на ОУ	$\Delta G_{\text{ОУ}}$	кг/с	0,5	0,5
Витрата охолодної води на ОУ	$G_{\text{ОУ}}$	кг/с	0,627	0,627
Витрата води, що зливається з ОУ в деаератор	$G'_{\text{ОУ}}$	кг/с	0,127	0,127
Витрата додаткової води	$G_{\text{дв}}$	кг/с	1	1

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5
Витрата сирі води	$G_{св}$	кг/с	4,68	4,68
Ентальпія води після підігрівника сирі води	$h'_{псв}$	кДж/кг	111	111
Витрата конденсату із мережного підігрівника системи теплофікації	$G_{пдв}$	кг/с	3,4	1,98
Витрата конденсату із МП, який надходить в деаератор	$G_{мп}^к$	кг/с	9,6	3,85
Витрату пари на деаератор	$D_d$	кг/с	1,42	0,15
Витрата пари на основну турбіну	$D_o$	кг/с	19,095	10,53
Витрата пари на прибудовану турбіну	$D_{пр}$	кг/с	14,545	5,98
Робочий теплоперепад в основній турбіні	$H_p^o$	кДж/кг	330	330
Електрична потужність основної турбіни	$N_{e0}$	МВт	6,049	3,36
Робочий теплоперепад в прибудованій турбіні	$H_p^{пр}$	кДж/кг	175	175
Електрична потужність прибудованої турбіни	$N_{епр}$	МВт	2,464	1,01
Загальна електрична потужність ТЕЦ	$N_e$	МВт	8,513	4,37
Необхідна витрата пари	$D_0^h$	т/год	68,742	37,908
Коефіцієнт завантаження котлів	$k_3$	-	0,982	0,542
Витрата живильної води	$G_{жв}$	кг/с	20,295	11,473
Об'ємна витрата живильної води	$V_{жв}$	м <sup>3</sup> /с	0,0212	0,012
Необхідна потужність електропривода живильного насоса	$N_{жн}$	кВт	133,5	75,6
Потужність привода дренажного насоса	$N_{др}$	кВт	9,7	4,31
Потужність насоса зворотного конденсату	$N_{зк}$	кВт	3	3
Потужність насоса підживлення	$N_{пж}$	кВт	2	2
Потужність насоса сирі води	$N_{св}$	кВт	0,7	0,7
Витрата мережної води	$G_{мв}$	кг/с	119	77,6
Потужність насоса мережної води	$N_{мв}$	кВт	134,5	87,7
Електрична потужність приводів насосів	$N_n$	кВт	283,4	173,31

Теплова потужність парових котлів

$$Q_{пк} = [D_0 \cdot (h_0 - h'_{жв}) + D_0 \cdot p \cdot (h_{кв} - h'_{жв})] \cdot 10^{-3} \text{ [МВт]}, \quad (2.35)$$

- в середньопалювальний період

$$Q_{\text{пк}}^{\text{оп}} = [19,095 \cdot (3305 - 440) + 19,095 \cdot 0,03 \cdot (1080 - 440)] \cdot 10^{-3} = 55,07 \text{ (МВт)}.$$

- в міжопалювальний період

$$Q_{\text{пк}}^{\text{мо}} = [10,53 \cdot (3305 - 440) + 10,53 \cdot 0,03 \cdot (1080 - 440)] \cdot 10^{-3} = 30,37 \text{ (МВт)}.$$

### 2.3 Аналіз роботи ТЕЦ

Таким чином розглянемо створення ТЕЦ на базі котельні при спалюванні різних видів палива: природного газу з  $Q_{\text{н}}^{\text{п}} = 33,4 \text{ МДж/м}^3$  та лушпиння соняшника  $Q_{\text{н}}^{\text{п}} = 16,73 \text{ МДж/кг}$  визначимо найбільш економічний варіант реконструкції. Зрозуміло, що переведення котельні на тверде паливо чи спалювання лушпиння соняшника потребує також створення відповідної системи паливопідготовки. Переведення котлів на спалювання лушпиння соняшника в камерних топках потребує тризмінної (цілодобової) роботи ТЕЦ.

#### 2.3.1 Математична модель [3, 5]

Витрата робочого палива

$$B_{\text{р}} = \frac{Q_{\text{пк}}}{\eta_{\text{к}} \cdot Q_{\text{н}}^{\text{п}}} \text{ [кг/с]}. \quad (2.36)$$

Витрата умовного палива

$$B_{\text{у}} = \frac{B_{\text{р}} \cdot Q_{\text{н}}^{\text{п}}}{Q_{\text{н.у}}^{\text{п}}} \text{ [кг/с]}. \quad (2.37)$$

Питома витрата умовного палива на виробництво енергії

$$b_{\text{у}} = \frac{B_{\text{у}} \cdot 10^3}{Q_{\text{пс}} + Q_{\text{тф}} + N_{\text{е}}} \text{ [кг/ГДж]}. \quad (2.38)$$

Подача вентилятора

$$V_b = 0,5 \cdot B_p \cdot V^0 \cdot \alpha_T \text{ [м}^3/\text{с]}. \quad (2.39)$$

Подача димососа

$$V_d = 0,5 \cdot B_p \cdot V_r^0 \cdot \alpha_{вг} \text{ [м}^3/\text{с]}. \quad (2.40)$$

Потужність вентиляторів

$$N_b = 2 \cdot V_b \cdot H_b / (\eta_b \cdot \eta_{ем}) \text{ [кВт]}. \quad (2.41)$$

Потужність димососів

$$N_d = 2 \cdot V_d \cdot H_d / (\eta_d \cdot \eta_{ем}) \text{ [кВт]}. \quad (2.42)$$

Потужність тягодуттєвих установок

$$N_{тд} = N_b + N_d \text{ [кВт]}. \quad (2.43)$$

Сумарна потужність насосів і тягодуттєвих установок

$$N_{сум} = N_{тд} + N_{сн} \text{ [кВт]}. \quad (2.44)$$

### 2.3.2 Початкові дані

Паливо:

- природній газ:  $Q_H^p = 33,4 \text{ МДж/м}^3$ ,  $V^0 = 9,5 \text{ м}^3/\text{м}^3$ ,  $V_r^0 = 10,62 \text{ м}^3/\text{м}^3$ ,  $\alpha_T = 1,05$ ,  
 $\alpha_{вг} = 1,4$ ;

- лушпиння соняшника:  $Q_H^p = 16,73 \text{ МДж/кг}$ ,  $V^0 = 4,27 \text{ м}^3/\text{кг}$ ,  $V_r^0 = 6,717 \text{ м}^3/\text{кг}$ ,  
 $\alpha_T = 1,25$ ,  $\alpha_{вг} = 1,42$ ,  $\text{Ц} = 5000 \text{ грн/т}$ .

### 2.3.3 Результати розрахунків

Згідно математичною моделлю (див. формули 2.36-2.43) здійснені розрахунки,



результати яких наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Результати розрахунків

Величина	Позначення	Розмірність	Паливо	
			природний газ	лушпиння соняшника
1	2	3	4	5
Витрата робочого палива	$V_p$	кг/с ( $m^3/c$ )	2,987	5,676
Витрата умовного палива	$V_y$	кг/с	3,405	3,241
Питома витрата умовного палива на виробництво енергії	$b_y$	кг/ГДж	108,83	102,684
Подача вентилятора	$V_v$	$m^3/c$	14,898	15,148
Подача димососа	$V_d$	$m^3/c$	22,206	27,07
Потужність вентиляторів	$N_v$	кВт	127,254	129,389
Потужність димососів	$N_d$	кВт	170,363	207,677
Потужність тягодуттєвих установок	$N_{тд}$	кВт	297,616	337,066
Сумарна потужність насосів і тягодуттєвих установок	$N_{сум}$	кВт	754,327	793,776

### 2.3.3 Техніко-економічні показники роботи ТЕЦ

Розрахуємо економічні показники роботи котельні згідно формул 1.73-1.79, результати наведені в таблиці 2.3

Таблиця 2.3 – Економічні показники роботи ТЕЦ

Величина	Позначення	Розмірність	Паливо	
			Природний газ	Лушпиння соняшника
Витрата на паливо	$Z_p$	млн.грн	842,476	232,716
Витрати на воду	$Z_v$	млн.грн	1,003	1,003
Виручка за електроенергію	$V_{ел}$	млн.грн	521,668	521,668
Загальна відпущена теплова енергія	$Q_v$	МВт·год	207930	207930
Виручка за відпущену теплоту	$V_t$	млн.грн	367,863	367,863
Різниця між виручкою і витратами	$\Delta R$	млн.грн	46,052	655,812

Таким чином, проаналізувавши результати розрахунків табл. 2.3 можна зробити висновки, що найбільш ефективно є створення ТЕЦ на лушпинні соняшника, адже таким чином різниця між виручкою і витратами складає 655,812 млн.грн в рік, з врахуванням ціни на день публікації. Тенденція збільшення ціни на «блакитне паливо» щороку набуває нових обертів, тому доцільно шукати інші доступні джерела енергії.

### 3 РОЗРОБКА ЕЛЕМЕНТІВ РЕКОНСТРУЙОВАНОЇ КОТЕЛЬНОЇ

3.1 Тепловий розрахунок парового котла ТС-35 при спалюванні гранул лушпиння соняшника

Робоче паливо – гранули лушпиння соняшника. Елементарний склад палива, %:

$W^p = 8,6 \%$ ;  $A^p = 2,35\%$ ;  $S^p = 0,06 \%$ ;  $C^p = 45,8 \%$ ;  $H^p = 5,37 \%$ ;  $N^p = 0,52 \%$ ;  
 $O^p = 37,3 \%$

Робочі параметри котла

Паровидатність –  $D = 35 \text{ т/год} = 9,72 \text{ кг/с}$ .

Тиск пари в барабані –  $P_6 = 4,4 \text{ МПа}$ .

Температура перегрітої пари –  $t_{\text{гп}} = 445 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Температура відхідних газів –  $t_{\text{вг}} = 150 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Температура живильної води –  $t_{\text{жв}} = 100 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Коефіцієнт надлишку повітря в топці –  $\alpha_t = 1,25$ .

Безперервна продувка –  $p = 3\%$ .

Температура холодного повітря –  $t_{\text{хп}} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Частка виносу золи для даного палива  $a_{\text{вз}} = 0,95$ .

Площа променесприймальної поверхні топки –  $151,54 \text{ м}^2$ .

Об'єм топки -  $206 \text{ м}^3$ .

Температура газів на виході з топки –  $950 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Повна площа поверхні нагріву пароперегрівника II ступеня –  $100,23 \text{ м}^2$ .

Температура газів на виході зі II ступеня –  $735 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Повна площа поверхні нагріву пароперегрівника I ступеня –  $173,25 \text{ м}^2$ .

Температура газів на виході зі I ступеня –  $550 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Повна площа поверхні нагріву економайзера II ступеня –  $79 \text{ м}^2$ .

Температура газів на виході з економайзера II ступеня –  $500 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Повна площа поверхні нагріву економайзера I ступеня –  $250 \text{ м}^2$ .

Температура газів на виході з економайзера I ступеня –  $350 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Повна площа поверхні нагріву повітропідігрівника II ступеня –  $940 \text{ м}^2$ .

Температура газів на виході з повітропідігрівника II ступеня – 200 °С.

Повна площа поверхні нагріву повітропідігрівника I ступеня – 940 м<sup>2</sup>.

Температура газів на виході з повітропідігрівника II ступеня – 125 °С.

Теплота згорання палива

$$Q_{\text{H}}^{\text{P}} = 338 \cdot C^{\text{P}} + 1025 \cdot \text{H}^{\text{P}} - 108,5 \cdot (\text{O}^{\text{P}} - \text{S}^{\text{P}}) - 25 \cdot \text{W}^{\text{P}}, [\text{МДж/кг}]. \quad (3.1)$$

Тепловий баланс і витрата палива наведені в таблиці 3.1

Таблиця 3.1 – Тепловий баланс і витрата палива

Найменування	Величина		Розмір-ність	Розрахунок
	Позна-чення	Розрахункова формула або спосіб визначення		
1	2	3	4	5
Наявна теплота палива	$Q_{\text{H}}$	$Q_{\text{H}}^{\text{P}}$	кДж/кг	16729,11
Втрати теплоти від хімічної неповноти згорання	$q_3$	Із таблиці 3.3 [15]	%	0,5
Втрати теплоти від механічної неповноти згорання	$q_4$	Те ж	%	3
Температура відхідних газів	$\vartheta_{\text{вг}}$	Приймаємо	°С	150
Ентальпія відхідних газів	$I_{\text{вг}}$	Із I – 9 таблиці	кДж/кг	1214,01
Ентальпія повітря в котельній	$I_{\text{хп}}^0$	$V^0 \cdot (ct)_{\text{хп}}$	кДж/кг	$4,27 \cdot 26 = 111,02$
Втрати теплоти з відхідними газами	$q_2$	$(I_{\text{вг}} - \alpha_{\text{вг}} \cdot I_{\text{хп}}^0) \times (100 - q_4) / Q_{\text{H}}$	%	$(1214,01 - 1,42 \cdot 111,02) \cdot (100 - 3) / 16729,11 = 6,13$
Втрати теплоти через обмурівку котла	$q_5$	Із рис. 3.1 [16]	%	1,1
Частка виносу золи	$a_{\text{вн}}$	Із таблиці 3.3 [16]	–	0,95
Зольність палива	$A^{\text{P}}$	За складом палива	%	2,35
Температура шлаку	$\vartheta_{\text{шл}}$	Приймаємо	°С	500
Втрати теплоти зі шлаком	$q_6$	$[(1 - a_{\text{вн}}) 100 \times (ct)_{\text{з}} \cdot 0,01 \cdot A^{\text{P}}] / Q_{\text{H}}$	%	$[(1 - 0,95) \cdot 100 \times 458 \cdot 0,01 \times 2,35] / 16729,11 = 0,0032$
Сума теплових втрат	$\sum q$	$q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6$	%	$6,13 + 0,5 + 3 + 1,1 + 0,0032 = 10,73$
ККД котлоагрегату	$\eta_{\text{пг}}$	$100 - \sum q$	%	$100 - 10,73 = 89,27$

Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4	5
Коефіцієнт збереження теплоти	$\varphi$	$1 - q_5 / (\eta_{\text{пг}} + q_5)$	—	$1 - 1,1 / (89,27 + 1,1) = 0,988$
Паровидатність агрегату	D	Номинальна	кг/с	9,72
Тиск пари в барабані	$P_6$	Згідно із завданням	МПа	4,4
Температура перегрітої пари Ентальпія перегрітої пари	$t_{\text{пп}}$ $h_{\text{пп}}$	Згідно із завданням Із H-S діаграми	$^{\circ}\text{C}$ кДж/кг	445 3323
Температура живильн. води Ентальпія живильної води	$t_{\text{жв}}$ $h_{\text{жв}}$	Згідно із завданням Із таблиць води в стані насичення [4]	$^{\circ}\text{C}$ кДж/кг	100 419,1
Ентальпія котлової води	$h_{\text{кв}}$	Із табл. води в стані насичення	кДж/кг	1110
Повна теплота, яка корисно витрачена в агрегаті	$Q_{\text{пг}}$	$D \cdot (h_{\text{пп}} - h_{\text{жв}}) + p \cdot D \cdot (h_{\text{кв}} - h_{\text{жв}})$	кВт	$9,72 \cdot (3323 - 419,1) + 0,03 \cdot 9,72 \cdot (1110 - 419,1) = 28427$
Повна витрата палива	B	$Q_{\text{пг}} / (Q_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{пг}})$	кг/с	$28427 / (16729,11 \cdot 0,8927) = 1,90$
Розрахункова витрата палива	$B_p$	$B \cdot (100 - q_4) / 100$	кг/с	$1,90 \cdot (100 - 3) / 100 = 1,84$

Таблиця 3.2 – Нев'язка теплового балансу [17-20]

Найменування	Величина		Розмірність	Розрахунок
	Позначення	Розрахункова формула, спосіб визначення		
Температура відхідних газів	$\vartheta_{\text{вг}}$	Із розрахунку хвостових поверхонь котла	$^{\circ}\text{C}$	125
Ентальпія відхідних газів	$I_{\text{вг}}$	Із I – $\vartheta$ – таблиці	кДж/кг	1072,1
Втрати теплоти з відхідними газами	$q_2$	$(I_{\text{вг}} - \alpha_{\text{вг}} \cdot I_{\text{хп}}^0) \cdot (1 - q_4) / Q_{\text{н}}$	%	$(1072,1 - 1,84 \cdot 111,02) \cdot (1 - 0,03) / 16729,11 = 0,05 = 5 \%$
ККД котлоагрегату	$\eta_{\text{пг}}$	$100 - \sum q$	%	$100 - (5 + 0,5 + 3 + 1,1 + 0,033) = 90,367$
Сприйнята теплота	$\Sigma Q$	$Q_{\text{т}}^{\text{пг}} + Q_{\text{ф}} + Q_{\text{пп2}} + Q_{\text{пп1}} + Q_{\text{ек2}} + Q_{\text{ек1}}$	кДж/кг	$9037,98 + 1137 + 1385 + 1759,11 + 898,55 + 69,69 = 14313,22$
Відхил балансу	$\varepsilon(Q)$	$[Q_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{пг}} - \Sigma Q \cdot (1 - q_4 / 100)] / Q_{\text{н}}$	%	$[16729,11 \cdot 0,90367 - 14313,22 \cdot (1 - 3/100)] / 16729,11 = 0,074$

Оскільки величина відхилу менше 0,5 %, то вважаємо розрахунок парогенератора закінченим.

### 3.2 Розрахунки пластинчастого теплообмінника

Спроекований теплообмінник пластинчастий нерозбірний зварний, що зображений на рисунку 3.1 [21]. Важливим фактором є те що робочими середовищами є водяна пара та хімічищена вода, що відповідають вимогам щодо забруднень поверхонь теплообміну. Створено математичну модель теплообмінника. В апараті застосовуються пластини типу Н 01, конструкція яких зображена на рисунку 3.2 [22].

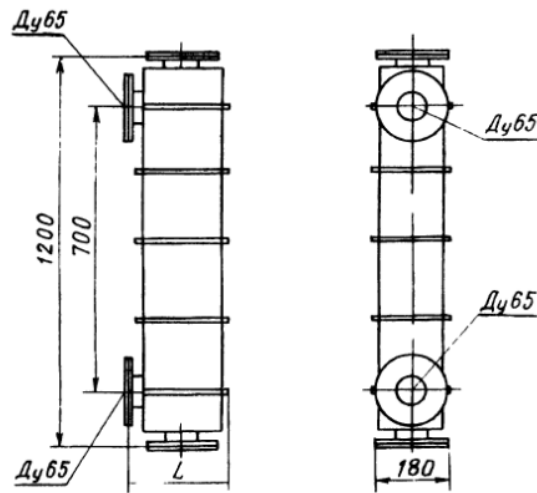


Рисунок 3.1 – Теплообмінник пластинчастий зварний



Рисунок 3.2 – Пластина Н 0,1

### 3.2.1 Початкові дані

Вихідні дані для розрахунку зварного пластинчатого ТА:

- грійне середовище – пара;
- нагріване середовище – вода;
- тиск пари  $P_{\text{п}} = 5 \text{ кгс/см}^2 = 0,5 \text{ МПа}$ ;
- температура конденсату  $t_{\text{к}} = 152 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- температура води, що нагрівається, на вході  $t_{\text{в}}' = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- температура води, що нагрівається, на виході  $t_{\text{в}}'' = 84 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- витрата води  $G_{\text{в}} = 3 \text{ кг/с}$ ;
- прихована теплота пароутворення  $r = 2204 \text{ кДж/кг}$ ;
- теплоємність води  $C_{\text{в}} = 4,19 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{K)}$ .

### 3.2.2 Тепловий розрахунок

Теплова потужність апарату [23]

$$Q = G_{\text{к}} \cdot C_{\text{в}} \cdot (t_{\text{в}}'' - t_{\text{в}}'), \quad (3.2)$$

$$Q = 3 \cdot 4,19 \cdot (84 - 20) = 804,48 \text{ (кВт)}.$$

Витрата грійної пари

$$D_{\text{п}} = \frac{Q}{r}, \quad (3.3)$$

$$D_{\text{п}} = \frac{804,48}{2204} = 0,37 \text{ (кг/с)}.$$

Середня температура води

$$\bar{t}_B = \frac{t_B'' + t_B'}{2}, \quad (3.4)$$

$$\bar{t}_B = \frac{84 + 20}{2} = 52 \text{ (}^\circ\text{C)}.$$

Теплофізичні властивості води при середній температурі [21]

$$\rho_B = 984 \text{ (кг/м}^3\text{)};$$

$$\lambda_B = 0,66 \text{ (Вт/(м}\cdot\text{К))};$$

$$C_{PB} = 4,18 \text{ (кДж/(кг}\cdot\text{К))};$$

$$\nu_B = 0,49 \cdot 10^{-6} \text{ (м}^2\text{/с)};$$

$$Pr_B = 3,1.$$

Теплофізичні властивості конденсату

$$\rho_K = 922 \text{ (кг/м}^3\text{)};$$

$$\lambda_K = 0,68 \text{ (Вт/(м}\cdot\text{К))};$$

$$C_{PK} = 4,34 \text{ (кДж/(кг}\cdot\text{К))};$$

$$\nu_K = 0,2 \cdot 10^{-6} \text{ (м}^2\text{/с)};$$

$$Pr_K = 1,15.$$

Температура стінки

$$\bar{t}_{CT} = \frac{\bar{t}_B + t_K}{2}, \quad (3.5)$$

$$\bar{t}_{CT} = \frac{52 + 152}{2} = 102 \text{ (}^\circ\text{C)}.$$

Критерій Прандтля при температурі стінки для води  $Pr_{CB} = 1,38$ .

Об'ємна витрата води

$$V_B = \frac{G_B}{\rho_B}, \quad (3.6)$$

де  $\rho_B$  – густина води при середній температурі,

$$V_B = \frac{3}{984} = 9,1 \cdot 10^{-3} \text{ (м}^3\text{/с)}.$$

Еквівалентний діаметр міжпластинного каналу [21]

$$d_E \approx 2 \cdot \delta, \quad (3.7)$$

Приймаємо ширину каналу  $\delta = 3\text{мм}$ ,

$$d_E = 2 \cdot 3 \cdot 10^{-3} = 6 \cdot 10^{-3} \text{ (м)}.$$

Приймаємо швидкість води  $\omega_B = 0,7 \text{ м/с}$ .

Беремо площу апарату  $F = 3 \text{ м}^2$ .

Питомий тепловий потік

$$q = \frac{Q}{F}, \quad (3.8)$$

$$q = \frac{804,48}{3} = 268,16 \text{ (кВт/м}^2\text{)}.$$

Приведена довжина одного каналу [22]



$$L_{\text{пр}} = \frac{F_{\text{пл}}}{b}, \quad (3.9)$$

де  $F_{\text{пл}} = 0,1 \text{ м}^2$  – площа однієї пластини,

$b = 0,16 \text{ м}$  – ширина пластини,

$$L_{\text{пр}} = \frac{0,1}{0,16} = 0,625 \text{ (м)}.$$

Критерій Рейнольдса для конденсату [24]

$$\text{Re}_k = \frac{q \cdot L_{\text{пр}}}{r \cdot \rho_k \cdot v_k}, \quad (3.10)$$

$$\text{Re}_k = \frac{268,16 \cdot 0,625}{2204 \cdot 922 \cdot 0,2 \cdot 10^{-6}} = 412,38.$$

Критерій Нуссельта для конденсату

$$\text{Nu}_k = 240 \cdot \text{Re}_k^{0,7} \cdot \text{Pr}_k^{0,4}, \quad (3.11)$$

$$\text{Nu}_k = 240 \cdot 412,4^{0,7} \cdot 1,15^{0,4} = 17187,53.$$

Коефіцієнт тепловіддачі від конденсату до стінки

$$\alpha_k = \frac{\text{Nu}_k \cdot \lambda_k}{L_{\text{пр}}}, \quad (3.12)$$

$$\alpha_k = \frac{17187,53 \cdot 0,68}{0,625} = 18700,03 \text{ (Вт/(м}^2 \cdot \text{К))}.$$

Площа для проходу конденсату і води

$$F_{\text{пр}} = \frac{V_{\text{в}}}{\omega_{\text{в}}}, \quad (3.13)$$

$$F_{\text{пр}} = \frac{9,1 \cdot 10^{-3}}{0,7} = 6,37 \cdot 10^{-3} \text{ (м}^2\text{)}.$$

Площа поперечного перерізу каналу

$$f_{\text{к}} \approx \delta \cdot b, \quad (3.14)$$

$$f_{\text{к}} = 0,003 \cdot 0,16 = 4,8 \cdot 10^{-4} \text{ (м)}.$$

Кількість проходів

$$n_{\text{пр}} = \frac{F_{\text{пр}}}{f_{\text{к}}}, \quad (3.15)$$

$$n_{\text{к}} = \frac{6,37 \cdot 10^{-3}}{4,8 \cdot 10^{-4}} = 13,27 \text{ (шт.)}.$$

Приймаємо  $n_{\text{к}} = 14$ .

Кількість пластин

$$n_{\text{пл}} = 2 \cdot n_{\text{пр}}, \quad (3.16)$$

$$n_{\text{пл}} = 2 \cdot 14 = 28 \text{ (шт.)}.$$

Критерій Рейнольдса для води

$$\text{Re}_B = \frac{\omega_B \cdot d_E}{\nu_B}, \quad (3.17)$$

де  $\nu_B$  – коефіцієнт кінематичної в'язкості для води

$$\text{Re}_B = \frac{0,7 \cdot 6 \cdot 10^{-3}}{0,49 \cdot 10^{-6}} = 8512,6.$$

Критерій Нуссельта для води

$$\text{Nu}_B = 0,135 \cdot \text{Re}_B^{0,73} \cdot \text{Pr}_B^{0,43} \cdot \left( \frac{\text{Pr}_B}{\text{Pr}_{CB}} \right)^{0,25}, \quad (3.18)$$

де  $\text{Pr}_B$  – число Прандтля для води,

$\text{Pr}_{CB}$  – число Прандтля для стінки,

$$\text{Nu}_B = 0,135 \cdot 8512,6^{0,73} \cdot 3,1^{0,43} \cdot \left( \frac{3,45}{1,47} \right)^{0,25} = 200.$$

Коефіцієнт тепловіддачі від води до стінки пластини

$$\alpha_B = \frac{\text{Nu}_B \cdot \lambda_B}{d_E}, \quad (3.19)$$

де  $\lambda_B$  – коефіцієнт теплопровідності для води

$$\alpha_B = \frac{200 \cdot 0,66}{6 \cdot 10^{-3}} = 21762,7 \text{ (Вт/(м}^2 \cdot \text{К))}.$$

## Коефіцієнт теплопередачі

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_B} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{\alpha_K}}, \quad (3.20)$$

де  $\delta_{ст}$  – товщина стінки пластини,

$\lambda_{ст} = 18$  Вт/(м·К) – коефіцієнт теплопровідності матеріалу пластини (нержавіюча сталь),

$$k = \frac{1}{\frac{1}{21762,7} + \frac{0,003}{18} + \frac{1}{18700,03}} = 3758 \text{ (Вт/(м}^2\cdot\text{К))}.$$

Дійсний коефіцієнт теплопередачі з врахуванням забруднень

$$k_d = \varphi \cdot k, \quad (3.21)$$

де  $\varphi = 0,9$  – коефіцієнт забруднення [25],

$$k_d = 0,9 \cdot 3758 = 3382,2 \text{ (Вт/(м} \cdot \text{К))}.$$

Різниця температур між теплоносіями

- більша

$$\Delta t_{\sigma} = t_k'' - t_B', \quad (3.22)$$

$$\Delta t_{\sigma} = 152 - 20 = 132 \text{ (}^{\circ}\text{C)}.$$

- менша

$$\Delta t_M = t_{II}' - t_{II}'', \quad (3.23)$$

$$\Delta t_G = 152 - 84 = 68 \text{ (}^\circ\text{C)}.$$

Середній температурний напір

$$\Delta t = \frac{\Delta t_G - \Delta t_M}{\ln \frac{\Delta t_G}{\Delta t_M}}, \quad (3.24)$$

$$\Delta t = \frac{132 - 68}{\ln \frac{132}{68}} = 96,5 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

Площа теплообміну

$$F = \frac{Q \cdot 10^3}{k_d \cdot \Delta t}, \quad (3.25)$$

$$F = \frac{804,48 \cdot 10^3}{3382,2 \cdot 96,5} = 2,46 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Приймаємо площу пластинчатого теплообмінника – 3 м<sup>2</sup>.

### 3.2.3 Компонувальний розрахунок

Площа пластини.

Приймаємо площу пластини  $f_{пл} = 0,1 \text{ м}^2$  за характеристикою пластин.

Необхідна кількість пластин

$$n_{\text{пл}} = \frac{F}{f_{\text{пл}}}, \quad (3.26)$$

$$n_{\text{пл}} = \frac{2,46}{0,1} = 25 \text{ (шт.)}.$$

### 3.2.4 Гідравлічний розрахунок

Коефіцієнт гідравлічного опору для води [26]

$$\xi_{\text{в}} = \frac{A}{\text{Re}_{\text{в}}^{0,25}}, \quad (3.27)$$

де  $A = 7,6$  з характеристики пластини;

$$\xi_{\text{в}} = \frac{7,6}{8512,6^{0,25}} = 0,79.$$

Гідравлічний опір для води

$$\Delta P_{\text{в}} = \xi_{\text{в}} \cdot \frac{L_{\text{пр}}}{d_{\text{Е}}} \cdot \frac{\rho_{\text{в}} \cdot \omega_{\text{в}}^2}{2}, \quad (3.28)$$

$$\Delta P_{\text{в}} = 0,79 \cdot \frac{0,625}{6 \cdot 10^{-3}} \cdot \frac{985 \cdot 0,7^2}{2} = 19889,1 \text{ (Па)}.$$

Результати розрахунку математичної моделі теплообмінника представлені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Результати розрахунку пластинчатого теплообмінника

Назва	Позначення	Розмірність	Значення				
			4	5	6	7	8
1	2	3	4	5	6	7	8
Початкові дані:							
Тиск пари	$P_p$	МПа	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Температура конденсату	$t_k$	°С	152	152	152	152	152
Температура води на вході	$t_v'$	°С	20	22	24	26	28
Температура води на виході	$t_v''$	°С	84	84	84	84	84
Витрата води	$G_v$	кг/с	3	3	3	3	3
Ширина каналу	$\delta$	м	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
Приймаємо швидкість води	$\omega_v$	м/с	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Площу апарату в першому наближенні	$F$	м <sup>2</sup>	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Площа однієї пластини;	$f_{пл}$	м <sup>2</sup>	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Ширина пластини;	$b$	м	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
Коефіцієнт теплопровідності матеріалу пластини	$\lambda_{ст}$	Вт/(м·К)	18	18	18	18	18
Коефіцієнт забруднення	$\phi$		0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
Параметр пластини	$A$		7,6	7,6	7,6	7,6	7,6
Середня температура води	$t_v$	°С	62	63	64	65	66
Товщина стінки	$\delta_{ст}$	м	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
Апроксимовані параметри:							
Прихована теплота пароутворення	$r$	кДж/кг	2204	2204	2204	2204	2204
Густина води	$\rho_v$	кг/м <sup>3</sup>	984,97	984,50	984,02	983,54	983,06
Теплопровідність води	$\lambda_v$	Вт/(м·К)	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66
Теплоємність води	$C_{p_v}$	кДж/(кг·К)	4,19	4,19	4,19	4,19	4,19
Кінематична в'язкість води	$\nu_v$	м <sup>2</sup> /с	$0,49 \cdot 10^{-6}$	$0,48 \cdot 10^{-6}$	$0,47 \cdot 10^{-6}$	$0,46 \cdot 10^{-6}$	$0,45 \cdot 10^{-6}$
Число Прандтля для води	$Pr_v$		3,10	3,05	3,01	2,96	2,92
Густина конденсату	$\rho_k$	кг/м <sup>3</sup>	921,83	921,83	921,83	921,83	921,83
Теплопровідність конденсату	$\lambda_k$	Вт/(м·К)	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68
Теплоємність конденсату	$C_{p_k}$	кДж/(кг·К)	4,34	4,34	4,34	4,34	4,34
Кінематична в'язкість конденсату	$\nu_k$	м <sup>2</sup> /с	$0,2 \cdot 10^{-6}$	$0,2 \cdot 10^{-6}$	$0,2 \cdot 10^{-6}$	$0,2 \cdot 10^{-6}$	$0,2 \cdot 10^{-6}$
Число Прандтля для конденсату	$Pr_k$		1,15	1,15	1,15	1,15	1,15

Продовження таблиці 3.3

1	2	3	4	5	6	7	8
Розрахунок:							
Теплова потужність апарату	Q	кВт	779,34	791,91	804,48	817,05	829,62
Витрата грійної пари	D <sub>п</sub>	кг/с	0,354	0,359	0,365	0,371	0,376
Температура стінки	$\bar{t}_{ст}$	°C	102	102	102	102	102
Критерій Прандля для стінки	Pr <sub>ст</sub>		1,47	1,47	1,47	1,47	1,47
Об'ємна витрата води	V <sub>в</sub>	м <sup>3</sup> /с	9,1·10 <sup>-3</sup>	9,1·10 <sup>-3</sup>	9,1·10 <sup>-3</sup>	9,1·10 <sup>-3</sup>	9,1·10 <sup>-3</sup>
Еквів. діаметр міжпластинного каналу	d <sub>Е</sub>	м	6·10 <sup>-3</sup>	6·10 <sup>-3</sup>	6·10 <sup>-3</sup>	6·10 <sup>-3</sup>	6·10 <sup>-3</sup>
Питомий тепловий потік	q	кВт/м <sup>2</sup>	259,78	263,97	268,16	272,35	276,54
Приведена довжина одного каналу	L <sub>пр</sub>	м	0,625	0,625	0,625	0,625	0,625
Критерій Рейнольдса для конденсату	Re <sub>к</sub>		399,50	405,94	412,38	418,83	425,27
Критерій Нуссельта для конденсату	Nu <sub>к</sub>		16750,8	16939,4	17127	17314,1	17500
Коефіцієнт тепловіддачі від конденсату до стінки	α <sub>к</sub>	Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	18224,88	18430,1	18634,2	18837,7	19040
Площа для проходу конденсату і води	F <sub>пр</sub>	м <sup>2</sup>	6,37·10 <sup>-3</sup>	6,37·10 <sup>-3</sup>	6,37·10 <sup>-3</sup>	6,37·10 <sup>-3</sup>	6,37·10 <sup>-3</sup>
Площа поперечного перерізу каналу	f <sub>к</sub>	м	4,8·10 <sup>-4</sup>	4,8·10 <sup>-4</sup>	4,8·10 <sup>-4</sup>	4,8·10 <sup>-4</sup>	4,8·10 <sup>-4</sup>
Кількість проходів	n <sub>пр</sub>	шт.	13,27	13,27	13,27	13,27	13,27
Приймаємо	n <sub>пр</sub>	шт.	14	14	14	14	14
Кількість пластин	n <sub>пл</sub>	шт.	28	28	28	28	28
Критерій Рейнольдса для води	Re <sub>в</sub>		8571,43	8750	8936,2	9130,4	9333,3
Критерій Нуссельта для води	Nu <sub>в</sub>		196,68	197,47	198,73	199,59	200,95
Коефіцієнт тепловіддачі від води до стінки пластини	α <sub>в</sub>	Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	21634,8	21721,7	21860,3	21954,9	22104,5
Коефіцієнт теплопередачі	k	Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	3785,91	3773,10	3761,11	3746,91	3733,46
Дійсний коефіцієнт теплопередачі	k <sub>д</sub>	Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	3407,32	3395,79	3385,0	3372,22	3360,12
Середній температурний напір	Δt	°C	93,93	93,13	92,33	91,53	90,72
Площа теплообміну	F	м <sup>2</sup>	2,67	2,62	2,57	2,52	2,47



## Продовження таблиці 3.3

1	2	3	4	5	6	7	8
Компонувальний розрахунок:							
Необхідна кількість пластин	$n_{пл}$	шт.	26,7	26,2	25,7	25,2	24,7
Приймаємо	$n_{пл}$		27	27	26	26	25
Гідрравлічний розрахунок:							
Коефіцієнт гідрравлічного опору для води	$\xi_v$		0,7899	0,7858	0,7817	0,7775	0,7732
Гідрравлічний опір для води	$\Delta P_v$	Па	19855,9	19743,4	19733,8	19515,8	19393

Площа теплообміну теплообмінника зменшується при зміні температурного напору та коефіцієнту теплопередачі. Таким чином, найбільш оптимальним є збільшення температури води на вході до 28 °С. В такому разі економимо витратні матеріали для виготовлення теплообмінника, тобто кількість пластин становить 25 штук, а площа теплообміну – 2,47 м<sup>2</sup> та зменшуємо гідрравлічний опір води до 19,3 кПа.

## 4 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЙ МОНТАЖУ ТЕПЛООБМІННИКА

### 4.1 Розрахунок трубопроводів у схемі пароводяного теплообмінника

Як матеріал для трубопроводів в тепловій схемі використаємо сталеві труби виконані за ДСТУ 8943:2019 [27].

Діаметр трубопровода

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot G_{ny}}{\pi \cdot w \cdot \rho_{ny}}}, \quad (4.1)$$

де  $w$  – швидкість теплоносія в трубопроводі, приймаємо для води  $w_v = 1$  м/с, для конденсату  $w_k = 0,8$  м/с, для пари  $w_p = 20$  м/с;

$\rho$  – густина теплоносія в трубопроводі,  $\rho_p = 2,618$  кг/м<sup>3</sup>,  $\rho_k = 916$  кг/м<sup>3</sup>,  $\rho_v = 998$  кг/м<sup>3</sup>.

Розрахунок діаметрів усіх трубопроводів наведено в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Розрахунок діаметрів трубопроводів системи

Назва трубопроводу	Витрата води, кг/с,	Розрахунковий діаметр, м	Стандартний діаметр, мм
Хімоочищеної води	3	0,0619	76×3
Конденсатопровід	0,379	0,0256	32×2,5
Паропровід	0,379	0,096	108×4

### 4.2 Документація, необхідна для монтажу теплообмінника

Продуктивність та якість монтажних робіт в значній мірі визначається комплектністю та якістю проектно-технічної документації, яку можна розділити на дві групи: проектно-кошторисна документація на монтаж обладнання та проектно-технологічна документація [28].

Проектно-кошторисна документація складається із робочих креслень і кошторисів та видається монтажній організації в двох екземплярах.

До складу основного комплексу робочих креслень включають: загальні дані по робочих кресленнях; креслення (плани та розрізи) розташування обладнання; схему трубопроводів; креслення (плани та розрізи) розташування трубопроводів; креслення (плани, розрізи та схеми) тепломеханічних установок.

Загальні дані за робочими кресленнями включають: відомість робочих креслень основного комплексу; відомість документів, на які посилаються та які додаються; відомість основних комплектів робочих креслень; відомість специфікацій (за наявності в основному комплекті кількох схем розташування); умовні позначення, не встановлені державними стандартами, і значення яких не вказані на інших аркушах основного комплексу робочих креслень; загальні вказівки за ДСТУ Б А.2.4-4; основні показники за робочими кресленнями (де для котелень вказують витрати теплоти на опалення та вентиляцію, гаряче водопостачання, технологічні цілі, загальну витрату теплоти і встановлену потужність електродвигунів для кожного розрахункового режиму роботи котельні). У загальних, які входять до складу загальних даних за робочими кресленнями марки ТМ, у доповнення до відомостей, що передбачені ДСТУ Б А.2.4-4, наводять: характеристики установок (блоків); розрахункові параметри зовнішнього повітря; дані про середовище, що транспортується (найменування, витрати, параметри); вид палива; вимоги до виготовлення, монтажу, випробування, антикорозійного захисту та теплової ізоляції трубопроводів, повітроводів та газоходів; особливі вимоги до установок (вибухобезпека, кислотостійкість тощо) ДСТУ Б А.2.4-12:2009.

#### 4.3 Загальна характеристика об'єкту, який підлягає монтажу

Розробляється варіант встановлення пластинчатого пароводяного теплообмінника потужністю 800 кВт для підігріву хімоочищеної води. Теплообмінник встановлюється на котельні ТОВ «Понінківська КПФ».

Підігрів води здійснюється за рахунок конденсації водяної пари від парогенераторів ТС-35 та SHP-E-10, що оснащені для спалення природного газу.

Теплообмінник паяним пластинчатим апаратом. Поверхня нагріву теплообмінника складає 2,8 м<sup>2</sup>.

Для відведення конденсату віз теплообмінників рекомендовано застосовувати конденсатовідвідники періодичної дії поплавцевого типу з механічним затвором. На даному об'єкті для відведення конденсату застосовується конденсатовідвідник поплавцевий Yoshitake TSF-11F-21 Ду 25 [29]. Даний конденсатовідвідник має вбудований термостатичний повітрявідвідник для відведення повітря і неконденсованих газів. Конденсатовідвідник TSF-11F може встановитися як горизонтально так і вертикально. Напрямок потоку легко перемикається без розбирання, наприклад від'єднанням кришки і поворотом крану. Даний конденсатовідвідник має фланцеве приєднання до конденсатопроводу та монтажну довжину 270 мм.

Необхідний напір для циркуляції грійного теплоносія у каналах теплообмінника і у системі теплофікації забезпечується циркуляційним насосом, що знаходиться поза межею проектування.

Необхідний тиск пари у паропроводі підтримується за допомогою регулювального клапану Clorius G2F large Ду 100.

Температура та тиск теплоносіїв контролюється за допомогою біметалевих трубчатих термометрів і манометрів.

Для забезпечення можливості ремонту обладнання передбачені дискові поворотні затвори типу «Батерфляй» та запірні клапани Bvalve BV25061.

Всі трубопроводи після монтажу та приєднання підігрівників згідно з "Правилами устройства и безопасной эксплуатации трубопроводов пара и горячей воды" повинні бути піддані гідравлічному випробуванню тиском, який дорівнює 1,25 робочого тиску.

#### 4.4 Розрахунок та комплектування основних і допоміжних матеріалів та виробів, складання відомостей

Комплектування основних та допоміжних матеріалів та виробів наведенні у таб. 4.2.

Таблиця 4.2 – 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	Пароводяний пластинчатий теплообмінник $F_{то} = 2,8 \text{ м}^2$	шт	1	39,7	39,7
2	Конденсаторівідвідник поплавцевий Yoshitake TSF-11F-21 Ду 25	шт	1	13,4	13,4
3	Клапан зворотний підйомний Ду 25	шт	1	3,84	3,84
4	Регулювальний клапан Clorius G2F large Ду 100	шт	1	32	32
5	Переривач вакууму Yoshitake VB-7, 7S	шт	1	0,5	0,5
6	Оглядове скло Yoshitake SL-1F Ду 25	шт	1	1,4	1,4
7	Затвор дисковий поворотний фланцевий Ду 65	шт	2	7	14
8	Запірний клапан Bvalve BV25061 фланцевий Ду 100	шт	1	40,3	40,3
9	Запірний клапан Bvalve BV25061 фланцевий Ду 25	шт	2	5,98	11,96
10	Труби сталеві електрозварні ДСТУ 8943:2019, 76×3 мм	м	18	5,4	97,2
11	Труби сталеві електрозварні ДСТУ 8943:2019, 108×4 мм	м	45,6	10,2	465,12
12	Труби сталеві електрозварні ДСТУ 8943:2019, 32×2,5 мм	м	56	1,76	98,56
13	Теплоізоляційний циліндр марки ТехИзол, діаметром 76 мм товщиною 30 мм	м	18	0,4	7,2
14	Теплоізоляційний циліндр марки ТехИзол, діаметром 108 мм товщиною 30 мм	м	45,6	0,52	23,71
15	Теплоізоляційний циліндр марки ТехИзол, діаметром 32 мм товщиною 30 мм	м	56	0,234	13,1
16	Перехід концентричний $\varnothing 100/65$ мм	шт	2	1,7	3,4
17	Перехід концентричний $\varnothing 100/50$ мм ГОСТ 17378-2001	шт	1	1,0	1,0
18	Перехід концентричний $\varnothing 50/25$ мм	шт	1	0,42	0,42

## Продовження таблиці 4.2

1	2	3	4	5	6
Потреба у допоміжних матеріалах [30 – 32]:					
для монтажу теплообмінника $F_{то} = 2,8 \text{ м}^2$ [30]					
19	Азбестовий картон (КАОН-1) загального призначення, товщина 2 мм	т	1	0,0027	2,7
20	Електроди марки Е42А, діаметр 4 мм	т	1	0,00051	0,51
21	Натуральна оліфа	кг	1	0,02	0,02
22	Вода технічна	м <sup>3</sup>	1	0,26	259,48
23	Пластина гумова технічна пресована (прокладки гумові)	кг	1	0,01	0,01
24	Гайки, шайби та болти, діаметр 16 мм	т	1	0,00254	2,54
25	Фланці плоскі приварні із сталі ВСтЗсп2, ВСтЗсп3, тиск 10 кгс/см <sup>2</sup> , діаметр 100 мм	шт	4	3,96	15,84
26	Пароніт	т	1	0,00022	0,22
27	Сурик залізний, мумія, фарба земляна густотерта олійна	т	1	0,00008	0,08
для монтажу конденсатовідвідника Yoshitake TSF-11F-21 Dy 25 [28]					
28	Електроди марки Е42, діаметр 4 мм	т	1	0,00019	0,19
29	Натуральна оліфа	кг	1	0,02	0,02
30	Розчин для кладки важкий цементний, М50	м <sup>3</sup> /кг	1	0,001	2,1
31	Очіс льняний	т	1	0,00001	0,01
32	Кронштейни та підставки під обладнання із сортової сталі	кг			1,67
33	Фланці плоскі приварні із сталі ВСтЗсп2, ВСтЗсп2, тиск 1,0 МПа, діаметр 25 мм	шт	2	0,89	1,78
34	Болти з гайками та шайбам, діаметр 12 м	т	1	0,00066	0,66
35	Пароніт	т	1	0,00005	0,05
36	Сурик залізний, мумія, фарба земляна густотерта олійна	т	1	0,00003	0,03
для монтажу трубопроводів [29]					
37	Дріт зварний легований, діаметр 2 м	т	0,098	0,0023	0,225
38	Круги армовані абразивні зачисні $\varnothing$ 180 х 6 мм	шт	0,465*0,50 8 0,0972*0,7 62 0,098*1,7	0,36	0,36
39	Пароніт	т	0,465 0,0972 0,098	0,003 0,005 0,01	2,861
40	Електроди , діаметр 4 мм, марка Е55	т	0,465 0,0972	0,005 0,005	2,811

## Продовження таблиці 4.2

1	2	3	4	5	6
для монтажу теплової ізоляції трубопроводів [31]					
41	Стрічка сталеві пакувальна, м'яка, нормальної точності 0,7 мм х (20 мм - 50 мм)	т	4,56 1,8 5,6	0,00287 0,00253 0,00163	26,77
42	Пряжки	кг	4,56 1,8 5,6	0,09 0,09 0,09	1,08
для гідравлічного випробування трубопроводів [29]					
43	Сурик залізний, мумія, фарба земляна густотерта олійна	т	1,196	0,00005	0,06
44	Натуральна оліфа	кг	1,196	0,02	0,024
45	Очіс льняний	т	1,196	0,00002	0,024
46	Вода	м <sup>3</sup>	0,56 0,636	1 3,8	2971
Для монтажу регулювального клапану Clorius G2F large Dy 100, дискових поворотних затворів, запірних клапанів та оглядового скла [30]					
47	Болти з гайками з шестигранною голівкою діаметром 12 (14) мм	т	0,4 0,2 0,2	0,071 0,071 0,0084	44,28
48	Пластина гумова рулонна вулканізована	кг	0,4 0,2 0,2	1,7 1,7 0,3	1,08
49	Фланці плоскі приварні із сталі ВСтЗсп2, ВСтЗсп2, тиск 1,0 МПа, діаметр 25 мм	шт	8	0,89	7,12
50	Фланці плоскі приварні із сталі ВСтЗсп2, ВСтЗсп3, тиск 10 кгс/см <sup>2</sup> , діаметр 100 мм	шт	4	3,96	15,84
51	Фланці плоскі приварні із сталі ВСтЗсп2, ВСтЗсп3, тиск 10 кгс/см <sup>2</sup> , діаметр 65 мм	шт	4	2,8	11,2

Маса основного обладнання і матеріалів – 866,81 кг.

Маса допоміжних матеріалів (без води) – 142,17 кг.

Необхідна кількість води – 3,23 т.

#### 4.5 Визначення складу і об'ємів робіт

Склад робіт:

1. Доставка основних, допоміжних матеріалів, виробів та допоміжного обладнання до місць монтажу та їх складування.
2. Розмічування місць прокладання трубопроводів води, пари та конденсату.

3. Монтаж пластинчастого пароводяного теплообмінника.

4. Прокладання сталевих електрозварних трубопроводів діаметром 108×4 мм.

5. Встановлення регулювального клапану Clorius G2F large, запірною клапану Bvalve BV25061 Ду 100.

6. Прокладання сталевих електрозварних трубопроводів діаметром 76×3 мм.

7. Встановлення дискових поворотних затворів типу «Баттерфляй» Ду 65.

8. Прокладання сталевих електрозварних трубопроводів  $\varnothing$  32×2,5 мм.

9. Встановлення конденсатовідвідника Yoshitake TSF-11F-21 Ду 25.

10. Встановлення запірно-регулювальної арматури, оглядового скла Ду 25.

11. Випробування трубопроводів.

12. Ізоляція трубопроводів мінераловатними циліндрами діаметром 100 мм і товщиною 30 мм.

13. Ізоляція трубопроводів мінераловатними циліндрами діаметром 76 мм і товщиною 30 мм.

14. Ізоляція трубопроводів мінераловатними циліндрами діаметром 32 мм і товщиною 30 мм.

15. Повернення допоміжного обладнання на склад.

Об'єми робіт:

1. Доставка основних, допоміжних матеріалів, виробів та допоміжного обладнання до місць монтажу та їх складування. Одиниці вимірювання – тони. Загальна вага усіх деталей 1248 кг (1,248 т). Приймаємо об'єм  $V=1,248$ .

2. Розмічування місць прокладання трубопроводів води, пари та конденсату. Одиниці вимірювання – 100 м. Довжина паропроводів, конденсатопроводів та трубопроводів хімічною води складає  $L=119,6$  м. Приймаємо  $V=1,196$ .

3. Монтаж пластинчастого пароводяного теплообмінника. Одиниці вимірювання – штуки. На котельні встановлюється один теплообмінник. Отже, приймаємо  $V=1$ .

4. Прокладання сталевих електрозварних трубопроводів діаметром 108×4 мм. Одиниці вимірювання – тони. Вага паропроводів з діаметром 108×4 мм складає 0,465 т, отже, приймаємо  $V=0,465$ .



5. Встановлення регулювального клапану Clorius G2F large, запірного клапану Bvalve BV25061 Ду 100. Одиниці вимірювання – 10 штук. На котельні встановлюється один регулювальний та один запірний клапан. Отже, приймаємо  $V=0,2$ .

6. Прокладання сталевих електрозварних трубопроводів діаметром 76×3 мм. Одиниці вимірювання – тони. Вага трубопроводів хімічещеної води з діаметром 76×3 мм складає 0,0972 т. Отже, приймаємо  $V=0,0972$ .

7. Встановлення дискових поворотних затворів типу «Баттерфляй» Ду 65. Одиниці вимірювання – 10 штук. На котельні встановлюється два дискових поворотних затвори. Отже, приймаємо  $V=0,2$ .

8. Прокладання сталевих електрозварних трубопроводів  $\varnothing 32\times 2,5$  мм. Одиниці вимірювання – тони. Вага трубопроводів хімічещеної води з діаметром 32×2,5 мм складає 0,09856 т, отже, приймаємо  $V=0,098$ .

9. Встановлення конденсатовідвідника Yoshitake TSF-11F-21 Ду 25; Одиниці вимірювання – штуки. У схемі обв'язки теплообмінника встановлюється один конденсатовідвідник. Отже, приймаємо  $V=1$ .

10. Встановлення запірно-регулювальної арматури, оглядового скла Ду 25. Одиниці вимірювання – 10 штук. У схемі встановлюється один зворотний клапан, одне оглядове скло та два запірних клапани. Отже, приймаємо  $V=0,4$ .

11. Випробування трубопроводів. Одиниці вимірювання – 100 м. Об'єм приймається як загальна довжина трубопроводів пари, конденсату та хімічещеної води, яка становить 119,6 м. Отже, приймаємо  $V=1,196$ .

15. Ізоляція трубопроводів мінераловатними циліндрами діаметром 108 мм і товщиною 30 мм. Одиниці вимірювання – 10 м. Довжина трубопроводу 45,6 м. Отже, приймаємо  $V=4,56$ .

14. Ізоляція трубопроводів мінераловатними циліндрами діаметром 76 мм і товщиною 30 мм. Одиниці вимірювання – 10 м. Довжина трубопроводу 18 м. Отже, приймаємо  $V=1,8$ .

15. Ізоляція трубопроводів мінераловатними циліндрами діаметром 32 мм і товщиною 30 мм. Одиниці вимірювання – 10 м. Довжина трубопроводу 56 м. Отже,

приймаємо  $V=5,6$ .

16. Повернення допоміжного обладнання на склад. Одиниці вимірювання – тони. Загальна вага допоміжного обладнання 239 кг. Приймаємо об'єм  $V = 0,239$ .

#### 4.6 Вибір і обґрунтування методів виконання робіт

Монтаж трубопроводів. В котельні трубопроводи розташовані відкрито вздовж підлоги та стін. Щоб запобігти випадковому або навмисному наступанню на трубопроводи, що може загрожувати як цілісності системи так і людському здоров'ю – встановимо поверх трубопроводів місточки зварені з сталевих листків, які легко монтуються поверх труб і також легко демонтуються для зручності огляду та при необхідності – заміни трубопроводів. При прокладанні трубопроводів мінімальний уклон становить 0,003. Уклони трубопроводів спрямовуються в сторону повітровипускних пристроїв. Трубопроводи, які проходять через будівельні конструкції прокладаються в гільзах.

Монтаж трубопроводів виконати в такій послідовності:

- а) розмітити вісі прокладання та установити підвіски і кронштейни;
- б) прокласти труби, вузли і заготовки по наміченим вісям;
- в) зібрати трубопроводи та приєднати до них монтажні вузли;
- г) вивірити та установити задані уклони;
- д) при необхідності встановити і закріпити гільзи.

Результати гідравлічного випробування вважаються задовільні, якщо під час випробування не спостерігалось падіння тиску по контрольному манометру, а в зварних швах, трубах, корпусах арматури і фасонних частинах не виявлено ознак розриву, течі і запотівання а також видимих залишкових деформацій.

#### 4.7 Підбір машин, механізмів, пристосувань для монтажних робіт

Труби, деталі, конструкції та обладнання завозяться централізовано автомашиною Fiat Ducato 2.3 MT 35 L3H2. Технічні характеристики автомашини

наведені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Технічні характеристики Fiat Ducato 2.3 MT 35 L3H2 [32]

Найменування	Одиниця виміру	Значення
Вантажопідйомність	кг	1495
Корисний об'єм	м <sup>3</sup>	13
Вантажна висота	мм	1932
Діаметр повороту	м	14,4
Колісна база	мм	4035
Витрата палива	л/100 км	7,1
Габарити:		
Довжина		5998
Ширина		2050
Висота		2524
Маса	кг	3500

Для зварювання використовується зварювальний інвертор Becker MMA 300G [33]. Його технічні характеристики:

- потужність, кВт – 5,6;
- частота струму в мережі, Гц – 50;
- діаметр використовуваного електрода, мм – 1,5 – 4;
- коефіцієнт корисної дії, % - 85;
- маса – 4 кг.

Для випробування трубопроводів на міцність та щільність використовуємо ручний пресувальник Wezer, його характеристики наведені в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Технічні характеристики ручний пресувальник Wezer [34]

Найменування	Одиниця виміру	Значення
Обсяг бака	л	10
Максимальний тиск	бар	40
Розміри	мм	330x180x240
Діаметр	дюйми	3/4
Маса	кг	3,5

Для підйому вантажу використовуємо лебідку з електроприводом ЛЕЧ-0.4-80 м. Її характеристики вказані в таблиці 4.5.

Для переміщення вантажу використовуємо візок гідравлічний ручний СВУ-АС25 з подовженими вилами. Його характеристики вказані в таблиці 4.6

Таблиця 4.5 – Технічні характеристики лебідки з електроприводом ЛЭЧ-0.4-80 м [35]

Найменування	Одиниця виміру	Значення
Тягове зусилля в канаті	кг	400
Швидкість намотування	м/с	0,12
Діаметр троса	мм	6,9
Довжина троса	м	80
Потужність двигуна	кВт	1,1
Габарити:		
Довжина	мм	696
Ширина	мм	515
Висота	мм	400
Маса	кг	140

Таблиця 4.6 – Візок гідравлічний ручний СВУ-АС25 з подовженими вилами [36]

Найменування	Одиниця виміру	Значення
Вантажопідйомність	кг	2500
Довжина вил	мм	1500
Ширина вил	мм	550
Маса	кг	73

Для монтажу конденсатовідвідника використовуємо електричний перфоратор бочковий TRH-1200 SDS-PLUS з характеристиками [37]:

- максимальна потужність 1200 Вт;
- номінальна частота обертів 900 об/хв;
- отвори у бетоні – 4 – 32 мм;
- енергія удару – 5 Дж;
- маса 6,8 кг;
- рівень звукової потужності 102 дБА.

Таблиця 4.7– Набір інструментів та пристосувань для монтажників [38]

Найменування	ДСТУ	Кількість, шт.	Загальна маса, кг
Ключ гайковий двохсторонній М17х19 мм М19х22 мм	ДСТУ 10112-2003 (ІСО 1085-99)	6	0,9
		6	1,2
Плоскогубці комбіновані	ДСТУ 5547-93 (ІСО 5743-88)	6	1,6
Викрутки	ДСТУ EN 60745-2-2:2014	6	0,31
Молоток слюсарний	ДСТУ Б В.2.8-23:2009	6	1,8
Зубило слюсарне довжиною 200 мм	ДСТУ 6931-2000	6	2,1
Молоток гумовий		6	1,9
Стрічка вимірювальна, 20 м	ДСТУ EN 1942:2007	6	0,12
Рівень металевий	ДСТУ Б В.2.8-19:2009	2	0,22
Ящик переносний для інструменту		12	3,2
Всього:			11,75

Загальна маса допоміжного обладнання складає 239 кг.

## 5 ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона здоров'я працівників, забезпечення безпеки умов праці, ліквідація професійних захворювань і виробничого травматизму складає одну з головних турбот людського суспільства. Звертається увага на необхідність широкого вживання прогресивних форм наукової організації праці, зведення до мінімуму ручної, малокваліфікованої праці, створення обстановки, що виключає професійні захворювання і виробничий травматизм [39, 40].

У суспільстві із соціально орієнтованою економікою охорона праці має бути одним з найважливіших завдань соціально-економічної політики як держави, так і кожного підприємства й організації.

### 5.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта

Раціональне планування робочого місця має забезпечувати: найкраще розміщення знарядь і предметів праці, не допускати загального дискомфорту, зменшувати втомлюваність працівника, підвищувати його продуктивність праці. Площа робочого місця має бути такою, щоб працівник не робив зайвих рухів і не відчував незручності під час виконання роботи. Важливо мати також можливість змінити робочу позу, тобто положення корпусу, рук, ніг. Проте доцільно виключати або мінімізувати всі фізіологічно неприродні і незручні положення тіла.

Проведені дослідження показують, що при раціональній організації робочих місць продуктивність праці зростає на 15-25% [40-42].

Так як оператор ТЕЦ має пряме відношення до контрольно-вимірювальних приладів, щитів, систем ЕОМ, то необхідно враховувати також гігієнічні вимоги, які визначають умови життєдіяльності і працездатності людини у процесі взаємодії з технікою і середовищем; показниками яких є рівень освітлення, температура, вологість, шум, вібрація, токсичність, загазованість тощо.

Антропометричні вимоги визначають відповідність конструкцій техніки антропометричним характеристикам людини (зріст, розміри тіла та окремі рухові ланки). Показниками є раціональна робоча поза, оптимальні зони досягнення, раціональні трудові рухи.

Фізіологічні та психофізіологічні вимоги визначають відповідність техніки і середовища можливостям працівника щодо сприйняття, переробки інформації, прийняття і реалізації рішень.

Основними вимогами безпеки, що ставляться до конструкцій машин та механізмів, є безпека для здоров'я та життя людей, надійність та зручність

експлуатації. Безпека виробничого обладнання забезпечується:

- вибором безпечних принципів дії, конструктивних схем, елементів конструкції;
- використанням засобів механізації, автоматизації та дистанційного керування;
- застосуванням в конструкції засобів захисту;
- дотриманням ергономічних вимог;
- включенням вимог безпеки в технічну документацію з монтажу, експлуатації, ремонту та транспортування і зберігання обладнання;
- застосуванням в конструкції відповідних матеріалів.

Небезпечні зони виробничого обладнання (рухомі вузли, елементи з високою температурою тощо) як потенційні джерела небезпеки травматизму повинні бути огорожені відповідно до Державного реєстру нормативно-правових актів з охорони праці, а також теплоізовані або розміщені в місцях, що виключають контакт з ними персоналу [40-43].

Зажимні, вантажно-захоплювальні та вантажно-підіймальні пристрої, тощо повинні виключати можливість виникнення небезпеки при раптовому відключенні електроенергії, а також самовільну зміну стану цих пристроїв при відновленні енергоживлення.

В разі потреби, виробниче обладнання повинно бути пожежовибухобезпечним та не накопичувати зарядів статичної електрики в небезпечних для працюючих кількостях.

Виробниче обладнання, робота якого супроводжується виділенням шкідливих речовин чи організмів або пожежо- та вибухонебезпечних речовин, повинно включати у себе вмонтовані пристрої для локалізації цих виділень. За відсутності таких пристроїв, в конструкції обладнання мають бути передбачені місця для підключення автономних пристроїв локалізації виділень. За необхідності згадані пристрої мають бути виконані з урахуванням чинних вимог щодо стану повітря робочої зони та захисту довкілля.

Якщо виробниче обладнання є джерелом шуму, ультра та інфразвуку, вібрації, виробничих випромінювань (електромагнітних, лазерних тощо), то воно повинно бути виконано таким чином, щоб дія на працюючих перерахованих шкідливих виробничих факторів не перевищувала меж, встановлених відповідними чинними нормативами.

Виробниче обладнання повинно бути забезпечене місцевим освітленням, виконаним відповідно до вимог чинних нормативів з урахуванням конкретних виробничих умов, якщо його відсутність може спричинювати перенапруження

органів зору або інші небезпеки, пов'язані з експлуатацією цього обладнання.

Однією із складових безпеки виробничого обладнання є конструкція робочого місця, його розміри, взаємне розміщення органів управління, засобів відображення інформації, допоміжного обладнання тощо. Розробляючи конструкції робочого місця слід дотримуватися вимог "Правил будови та безпечної експлуатації парових та водогрійних котлів" та Зміни до Правил будови та безпечної експлуатації парових та водогрійних котлів (ДНАОП 0.00-1.08-2007; НПАОП 0.00-1.08-2007) та інших чинних нормативів. При цьому розміри робочого місця і його елементів мають забезпечувати виконання операцій в зручних робочих позах і не ускладнювати рухи працюючих.

Електричне обладнання включає два електрогенератори протитискових турбін (основної та прибудованої), силові і освітлювальні щити, велику кількість електродвигунів різного призначення з пусковою і захисною апаратурою, пристрої автоматичного регулювання і безпеки, прилади теплотехнічного контролю, систему кабелів і проводів.

На ТЕЦ існує як пускова так і захисна апаратура, ручного і автоматизованого управління. Основними апаратами ручного управління є рубильники, перемикачі і пакетні вимикачі. Основною апаратурою автоматичного управління є кнопки управління, магнітні пускачі і автоматичні вимикачі (автомати).

Електроприймачі по надійності електропостачання відносяться до I та II категорії, визначеною у відповідності до ПУЭ і ДНАОП 0.00-1.21-98. Електропостачання має бути забезпечено по II категорії надійності від двох незалежних джерел живлення напругою 3~380/220 В, 50 Гц двома взаємозарезервованими вводами [40-45].

Кабелі живлення підібрані такого перерізу, що забезпечує дію довготривалого допустимого струму у 400 А, втрату напруги до 5 % і спрацювання захисту на щиті керування. Підключення котельні до зовнішніх мереж електропостачання здійснюється через шафу обліку.

Захист електрообладнання від струму короткого замикання здійснюється автоматичними вимикачами, що розташовані у розподільчій шафі. Керування електродвигунами здійснюється магнітними пускачами з тепловим реле, які забезпечують захист електродвигунів від перевантаження

## 5.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

У системі заходів із забезпечення безпеки праці важливе місце займають заходи щодо попереджувального і поточного санітарного нагляду.



На робочому місці повинні бути передбачені заходи захисту від можливої дії небезпечних і шкідливих чинників виробництва. Рівні цих чинників не повинні перевищувати граничних значень, обумовлених правовими, технічними і санітарно-технічними нормами. Ці нормативні документи зобов'язують до створення на робочому місці умов праці, при яких вплив небезпечних і шкідливих чинників на працюючих або усунений зовсім, або знаходиться в допустимих межах.

### 5.2.1 Мікроклімат

Мікрокліматичні умови виробничих приміщень характеризуються такими показниками:

- температура повітря ( $^{\circ}\text{C}$ ),
- відносна вологість повітря (%),
- швидкість руху повітря (м/с).

На сьогодні основним нормативним документом, що визначає параметри мікроклімату виробничих приміщень є ДБНВ.2.5-67:2013.

Оптимальні та допустимі параметри мікроклімату у робочій зоні виробничого приміщення оператора ТЕЦ, категорії робіт Па на постійних робочих місцях, в теплий та холодний періоди року наведені в таблиці 9.1. Період року визначається за середньодобовою температурою зовнішнього середовища  $t_{\text{нс}}$ . При  $t_{\text{нс}} < +10^{\circ}\text{C}$  - холодний період, а якщо  $t_{\text{нс}} > +10^{\circ}\text{C}$  - теплий період року.

Таблиця 5.1 - Оптимальні та допустимі норми температури, відносної вологості та швидкості руху повітря у робочій зоні виробничих приміщень [45-49]

Період року	Температура, $^{\circ}\text{C}$			Відносна вологість, %		Швидкість руху, (не більше) м/с	
	Оптимальна	Допустима		Оптимальна	Допустима, не більше ніж	Оптимальна	Допустима
		верхня межа	нижня межа				
Холодний	18-20	23	17	40-60	75	0,2	0,3
Теплий	21-23	27	18	40-60	65 (при $26^{\circ}\text{C}$ )	0,3	0,2-0,4

Отже, згідно із ДБНВ.2.5-67:2013 та даних таблиці 9.1 для роботи середньої важкості в холодний період року оптимальна температура  $18-20^{\circ}\text{C}$ , при відносній вологості 40-60% та швидкості руху повітря 0,2 м/с; в теплий період року оптимальна температура  $21-23^{\circ}\text{C}$ , при відносній вологості 40-60% та швидкості руху повітря 0,3 м/с

### 5.2.2 Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентуються гранично-допустимими концентраціями згідно ДСТУ-Н Б А.3.2.1:2007. В умовах, що розглядаються в роботі, можливими забруднювачами є: двоокис азоту, ангідрид сірчаний, пил. Гранично допустимі концентрації яких наведені в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – ГДК шкідливих речовин [49]

Назва речовини	ГДК, мг/м <sup>3</sup>	Клас небезпечності	Агрегатний стан
Азоту двоокис NO <sub>x</sub>	5	2	пари
Ангідрид сірчаний SO <sub>x</sub>	10	3	пари
Пил нетоксичний	6	4	аерозоль

Саме тому для зменшення шкідливих викидів передбачені наступні рішення:

- встановити електрофільтри та вчасно замінювати їх, відповідно до регламентів роботи;
- добавляти вапняк при спалюванні твердих видів палива.

### 5.2.3 Виробниче освітлення

Виробниче освітлення на підприємствах нормується згідно з ДБН В.2.5-28:2018. Для створення оптимальних умов зорової роботи слід враховувати не лише кількість та якість освітлення, а й кольорове оточення.

Норми штучного та природного освітлення для оператора ТЕЦ наведені в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 - Норми штучного та природного освітлення [50-53]

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розпізнавання, мм	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Штучне освітлення			Природне освітлення		Суміщене освітлення			
				Освітленість, лк			КПО, %					
				комбіноване			верхнє або комбіноване	бокове	верхнє або комбіноване		бокове	
				всього	в т. ч. загального	загальне						
середньої точності	0,5-1	IV	в	400	200	200	4	1,5	2,4	0,9		

За нормативними вимогами приміщення ТЕЦ освітлюється суміщеним освітленням.

Оператори на ТЕЦ котельного цеху ведуть постійне спостереження за ходом технологічного процесу, слідкують за показаннями приладів (термометри, манометри, гідрографи та інші прилади). Найменший розмір розпізнавання об'єкта від 0,5 до 1 мм. Характеристика зорової роботи – середньої точності. Контраст об'єкту розпізнавання з фоном – середній, фон – світлий. Відповідно до розряд зорової роботи VI, підрозряд Г. При штучному загальному освітленні освітленість становить 200 люкс, при комбінованому – 400 люкс.

Для освітлення ТЕЦ вибираємо світильники з люмінесцентними лампами. Висота підвісу світильників над робочою поверхнею 3,5 метра. Природне освітлення бокове і здійснюється через вікна, які орієнтовані на південь та на північ.

Для забезпечення нормативних параметрів в приміщенні ТЕЦ використовується змішана система освітлення:

- природна: за допомогою світлових променів;
- штучна: за допомогою лампи денного світла.

При недостатньому природному освітленні рекомендується встановлювати в місцях, де є потреба в додатковому освітленні, потужні лампи, збільшувати їх кількість.

#### 5.2.4 Виробничий шум

Основним джерелом шуму на ТЕЦ є димососи, вентилятори, насоси, пальники котлів. Дія шуму на людину шкідлива. Нормування проводиться за граничним спектром шуму і за рівнем звуку. За характером спектру шум – широкосмуговий з безперервним спектром більше октави, за тональною характеристикою – постійний, за походженням – гідродинамічний. Допустимі рівні звукового тиску, рівні звуку та еквівалентні рівні звуку на робочих місцях ТЕЦ наведені в таблиці 5.4.

Граничні величини шуму на робочих місцях регламентується згідно з ДСН 3.3.6-037-99.

Таблиця 5.4 - Допустимі рівні звукового тиску, рівні звуку та еквівалентні рівні звуку на робочих місцях ТЕЦ [53]

Вид трудової діяльності, робоче місце	Рівні звукового тиску, дБ в октавних смугах із середньгеометричними частотами, Гц									Рівні звуку та еквівалентні рівні звуку, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Робочі місця за пультами в кабінах, в приміщеннях лабораторій з шумним обладнанням, в приміщеннях для розміщення шумних агрегатів ЕОМ	103	91	83	77	73	70	68	66	64	75

Для зменшення рівня шуму до допустимого застосовують малошумні вентилятори, насоси в металевому кожусі. Внутрішні поверхні обшивки вентиляторів облицьовують звукопоглинальними матеріалами.

### 5.2.5 Виробничі вібрації

В приміщенні ТЕЦ знаходиться обладнання, яке є джерелом вібрації. Це в першу чергу насоси, вентиляційні установки, котли. Дія вібрації на людину-оператора класифікується по способу передачі: загальна і локальна (місцева).

На ТЕЦ на працівників діє загальна і місцева вібрація. Загальна вібрація по джерелу виникнення відноситься до 3 категорії типу «а» - технологічна, критерій оцінки – межа зниження продуктивності праці. Для зменшення вібрації використовується віброізоляція.

### 5.2.6 Виробничі випромінювання

У виробничих умовах випромінювання можуть стати небезпечним або шкідливим виробничим фактором. Випромінювання поділяється на: іонізуюче, ультрафіолетове, електромагнітне, лазерне. Іонізуючим є будь-який вид випромінювання, взаємодія якого із середовищем спричиняє виникнення електричних зарядів різних знаків.

Допустимі рівні іонізуючого випромінювання регламентуються „Нормами



- обладнання, зкомплектоване необхідними засобами захисту та сигналізації в разі відхилення технологічних параметрів від нормативних;
- тепловипромінююче обладнання, трубопроводи ізольовані, температура на їх поверхнях не перевищує +40 °С;
- використано насосне обладнання з низьким рівнем шуму та вібрації;
- стінові панелі заповнені звукопоглинаючими та термоізолюючими матеріалами;
- припливне повітря, в зимовий час, підігрівається калориферами;
- штучне та природне освітлення забезпечують нормативну освітленість приміщень котельні та допоміжних приміщень;
- робоче місце оператора знаходиться в окремому, від працюючого обладнання приміщенні, відділеного стіновими панелями зі звукопоглинаючим матеріалом, що не утворює факторів, небезпечних по шуму та вібрації для здоров'я працюючих.

## ВИСНОВКИ

У бакалаврській дипломній роботі розглянута котельня ТзОВ «Понінківської картонно-паперової фабрики». Розраховані техніко-економічні показники роботи котельні для максимального режиму роботи, середньорічного та опалювального.

Таким чином, визначені показники парової та водогрійної частин котельні. В результаті визначено, що витрата умовного палива парової частини котельні складає 0,54 кг/с, а водогрійної – 1,174 кг/с. Витрата умовного палива котельні в середньорічний період становить 0,0287 кг/МДж, в середньо-опалювальний - 0,03892 кг/МДж.

В результаті розрахунків показників роботи існуючої схеми зроблений висновок, що робота котельні не є рентабельною, так як витрати перевищують виручку за відпущену теплоту на 303,539 млн.грн та ціна на паливні та енергетичні ресурси має тенденцію лише збільшуватися

Саме тому, було проаналізовані можливі варіанти модернізації роботи котельні. Найоптимальнішим варіантом визначено створення ТЕЦ з протитисковими турбінами, а також переведення парових котлів ТС-35 на спалювання гранул лушпиння соняшника, адже такий варіант значно економить витрати.

Визначено основні витрати теплоносіїв та потужності насосів в схемі ТЕЦ з протитисковими турбінами, які не залежать від виду палива для різних періодів роботи. Теплова потужність парових котлів в середньоопалювальний період становить 55,07 МВт, в міжопалювальний – 30,37 МВт.

Проаналізована робота ТЕЦ на двох джерелах палива: природному та лушпинні соняшника. В результаті розрахунків визначено, що найбільш ефективнішим варіантом є створення ТЕЦ на лушпинні соняшника, адже таким чином різниця між виручкою і втратами складає 655,812 млн.грн в рік.

Розрахунок котла ТС-35 складається з конструктивного і теплового розрахунку кожної поверхні нагріву, за допомогою якого знайшли адіабатну температуру горіння 1820 °С, температуру відхідних газів на виході з топки 1010 °С, а

температура відхідних газів на завершальному етапі становить 125 °С. Нев'язка теплового балансу парогенератора складала 0,074 %.

Спроекований теплообмінник пластинчастий потужністю 800 кВт для підігріву хімоочищеної води. За результатами розрахунків знайдено, що потужність апарату 805 кВт, кількість пластин – 28 штук, площа теплообміну 3 м<sup>2</sup>. Для оптимальної роботи теплообмінника бажано досягати зменшення різниці температурного напору, що пропорційно вплине на гідравлічний опір.

Визначено діаметри трубопроводів для забезпечення транспортування теплоносіїв теплообмінника, а саме діаметр паропроводу обрано 108×4 мм, діаметр конденсатопровода – 32×2,5 мм, діаметр трубопровода хімоочищеної води – 76×3 мм.

Складено відомість основних та допоміжних матеріалів, необхідних для монтажу теплообмінника із комунікаціями. При цьому основного обладнання і матеріалів складала 866,81 кг, а допоміжного – 142,17 кг.

Також визначено склад і об'єми робіт, потребу в машинах. Так для транспортування матеріалів використовується автомашина Fiat Ducato 2.3 MT35 L3H2, для зварювання використовується зварювальний інвертор BeckerMMA 300G, для випробування трубопроводів на міцність та щільність – прес гідравлічний Wezer, для підйому вантажу – лебідку з електроприводом ЛЭЧ-0.4-80 м, для формування отворів під кріпінні елементи – електричний перфоратор бочковий TRH-1200 SDS-PLUS, для переміщення вантажу – візок гідравлічний ручний спеціальний Модель СВУ-АС25 з подовженими вилами.

Вибрано допоміжне обладнання для монтажу системи. Загальна маса обладнання – 239 кг.

Заходи з охорони праці включають технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта, гігієни безпеки та виробничої санітарії, а також пожежної безпеки.



## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Сторічні традиції паперового виробництва. URL: <https://uain.press/articles/storichni-traditsiyi-paperovogo-virobnitstva-1672445> (дата звернення: 10.01.2023 р.).
2. Понінківська картонно-паперова фабрика. URL: <https://poninkivskakartonnopaperova-fabrikaukrayina.business-guide.com.ua> (дата звернення: 10.01.2023 р.).
3. Ткаченко С. Й., Чепурний М.М., Степанов Д. В. Розрахунки теплових схем і основи проектування джерел тепlopостачання. Навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2005. 137 с.
4. Чепурний М. М., Степанов Д. В., Корженко С. Й. Теплові розрахунки парогенераторів. Вінниця: ВНТУ, 2005. – 154 с.
5. Чепурний М. М., Ткаченко С. Й. Розрахунки теплових схем ТЕЦ та ефективності при їх модернізації. Вінниця: ВДТУ, 2004. 60 с.
6. Чепурний М. М. Енергозбережні технології в теплоенергетиці. Навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2009. 115 с.
7. Чепурний М. М., Ткаченко С. Й. Джерела енергії теплотехнології. Вінниця: ВДТУ, 1998. 70 с.
8. Степанова Н. Д., Степанов Д. В. Теплові мережі. Вінниця: ВНТУ, 2009. 135 с.
9. Паротурбінна установка типу Р-0,75-0,4/0,03 в турбінному відділенні Охтирської ТЕЦ. Робочий проект. Розділ 2. Тепломеханічні рішення. Кіровоград: ВАТ «Укргіпроцукор», 2008. 60 с.
10. Чепурний М. М., Ткаченко С. Й., Пішеніна Н. В. Показники ефективності роботи енергетичних установок для сумісного виробництва теплової та електричної енергії. Наукові праці ВНТУ, 2010. С.65-70.
11. Загальні відомості про котельні установки, типи котлів для тепlopостачання URL: <https://rt82.ru/uk/security/obshchie-svedeniya-o-kotelnyh-ustanovkakh-tipu-kotlov-dlya/> (дата звернення: 10.05.2023 р.)
12. Котельне обладнання та устаткування. URL: <https://ekoalt.com.ua/services/kotelnya/> (дата звернення: 25.05.2023 р.).

13. Гічов Ю. О. Джерела теплопостачання промислових підприємств. Дніпропетровськ: НМетАУ, 2011. 50 с.
14. Державна інспекція енергетичного нагляду України URL: <https://sies.gov.ua/news/v-regionah-perevireno-teplovigospodarstva> (дата звернення: 31.05.2023 р.).
15. Чепурний М. М., Попов О. Я. Оперативний контроль використання палива в парогенераторах. Вісник Вінницького політехнічного інституту, 2007. № 2. С. 38-40.
16. Зеркалов Д. В. Експлуатація котельних установок. К.: "Техніка", 1992. 178 с.
17. Тарасюк В. М. Експлуатація котлов. К.: Основа, 2001. 288 с.
18. Тарасюк В. М. Експлуатація котлів. Навчальний посібник для операторів котельні. Луцьк, 1997. 286 с.
19. Чепурний М. М., Ткаченко С. Й. Розрахунки тепломасообмінних апаратів. Вінниця: ВНТУ, 2006. 130 с.
20. Іванов В. Г., Буреніков К. Є Графічна система автоматизованого проектування „КОМПАС-3D LT. К.: Либідь, 2001. 68 с.
21. Чепурний М. М., Ткаченко С. Й., Бержинський В. В. Застосування теорії подібності для розв'язування задач тепломасообмінну. Вінниця: ВНТУ, 2001. 110 с.
22. Пішенін В. О., Пішеніна Н. В. Основи конструювання в теплоенергетиці. Вінниця: ВНТУ, 2006. 86 с.
23. Гиршфельд В. Я., Князев А. М., Куликов В. Е. Расчет стационарных теплообменников. Москва, 1974. 107 с.
24. Бажан П. И., Каневец Г. Е., Селиверсток В. М. Справочник по тепломасообменным аппаратам. М.: Машиностроение, 1989. 365 с.
25. ДСТУ 8943:2019. Труби сталеві електрозварні. Технічні умови. URL : [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=86389](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=86389). (дата звернення: 10.01.2023 р.).
26. 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](https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_b_a_2_4_4_2009/5-1-0-781) (дата звернення: 10.01.2023 р.).

27. Конденсатовідвідник поплавцевий Yoshitake TSF-11F. URL: <https://opeks.ua/ua/kondensatovidvidnik-poplavcevij-yoshitake-tsf-11f/> (дата звернення: 10.01.2023 р.).

28. ДСТУ Б Д.2.4-15:2012. Ресурсні елементні кошторисні норми на ремонтно-будівельні роботи. Внутрішні сантехнічні роботи (Збірник 15). К.: Держстандарт України, 2012. 106 с.

29. ДСТУ Б Д.2.3-12:2012. Ресурсні елементні кошторисні норми на монтаж технологічних трубопроводів (Збірник 12): [Чинний від 2014-01-01]. Київ: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2012. 70 с.

30. ДСТУ Б Д.2.2-26:2016. Ресурсні елементні кошторисні норми на ремонтно-будівельні роботи. Теплоізоляційні роботи (Збірник 26): [Чинний від 2016-08-01]. Київ: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2016. 83 с.

31. Fiat Ducato 2.3 MT 35 L3H2. URL: [https://fiat.autoua.net/commercial\\_vehicles/ducato/ducato-2014/23-mt-35-l3h2/](https://fiat.autoua.net/commercial_vehicles/ducato/ducato-2014/23-mt-35-l3h2/). (дата звернення: 10.01.2023 р.).

32. Зварювальний інвертор Becker MMA 300G. URL: [https://svarka-ua.com/ua/svarochnyij-invertor-becker-mma-300g](https://svarka.ua.com/ua/svarochnyij-invertor-becker-mma-300g). (дата звернення: 10.01.2023 р.).

33. Ручний пресувальник Wezer. URL: <https://aquarus.com.ua/ua/p501810082-ruchnoj-opressovschik.html>. (дата звернення: 10.01.2023 р.).

34. Лебідка електрична ЛЕЧ-0.4-80 м. URL: <https://lebedka.ua/lebidka-elektrichna-lech-04-80-m>. (дата звернення: 10.01.2023 р.).

35. Гідравлічний візок СВУ-АС25 з подовженими вилами, NIULI, вила 1500 мм. URL: <https://www.zeus.ua/ua/catalog/307/gidravlicheskaya-telezhka-cby-ac25-s-udlinennyimi-vilami-niuli-vilyi-1500mm> (дата звернення: 10.01.2023 р.).

36. Каталог будівельних машин і інструментів. URL: <http://powertools.co.nz>. (дата звернення: 10.01.2023 р.).

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

38. Про затвердження Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». Наказ Міністерства охорони здоров'я України № 248 від 08.04.2014. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0472-14#Text> (дата звернення:30.05.2023 р.).

39. ДСТУ OHSAS 18002:2015. Системи управління гігієною та безпекою праці. Основні принципи виконання вимог OHSAS 18001:2007 (OHSAS 18002:2008, IDT). К.: ГП «УкрНИУЦ», 2016. 21 с.

40. ДСТУ ISO 45001:2019 Системи управління охороною здоров'я та безпекою праці. Вимоги та настанови щодо застосування (ISO 45001:2018, IDT). URL: [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=88004](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=88004) (дата звернення:25.05.2023 р.).

41. ДСТУ 8604:2015 Дизайн і ергономіка. Робоче місце для виконання робіт у положенні сидячи. Загальні ергономічні вимоги. URL: [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id\\_doc=71028](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=71028) (дата звернення:28.05.2023 р.).

42. ДБН А.3.2-2-2009. ССБП. Охорона праці і промислова безпека у будівництві: Основні положення. URL: [https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/dbn\\_a322\\_2009/1-1-0-945](https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/dbn_a322_2009/1-1-0-945) (дата звернення:28.05.2023 р.).

43. НПАОП 0.00-7.11-12. Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0226-12> (дата звернення: 29.05.2023 р.).

44. ДБНВ.2.5-27-2006. Захисні заходи електробезпеки в електроустановках будинків і споруд. К. : Мінбуд України, 2006. 154 с

45. ДСТУ В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. К.: ДП «УкрНДНЦ», 2016. 109 с.

46. Правила улаштування електроустановок. URL: <http://www.energiy.com.ua/PUE.html> (дата звернення: 30.05.2023 р.).

47. НПАОП 40.1-1.32-01 Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок (Правила устроювання електроустановок.

Электрооборудование специальных установок). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0272203-01#Text> (дата звернення: 30.05.2023 р.).

48. ДСТУ EN 62305:2012 Блискавкозахист (європейський стандарт ІЕС 62305:2010). URL: <https://tdsb.com.ua/ru/dstu-en-62305/> (дата звернення: 30.05.2023 р.).

49. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972> (дата звернення: 30.05.2023 р.).

50. ДБНВ.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. К.: Мінрегіонбуд України, 2013. 149 с.

51. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. URL: [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=79885](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79885) (дата звернення: 30.05.2023 р.).

52. ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. URL: [http://www.poliplast.ua/doc/dbn\\_v.1.1-7-2002.pdf](http://www.poliplast.ua/doc/dbn_v.1.1-7-2002.pdf) (дата звернення: 30.05.2023 р.).

53. Наказ Міністерства внутрішніх справ України «Про затвердження Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0225-18#Text> (дата звернення: 30.05.2023 р.).



ПРОТОКОЛ  
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ  
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: Реконструкція котельні товариства з обмеженою відповідальністю «Поніківська картонно-паперова фабрика»

Тип роботи: бакалаврська дипломна робота  
(БДР, МКР)

Підрозділ кафедра теплоенергетики, факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії  
(кафедра, факультет)

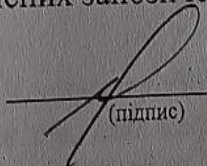
Показники звіту подібності Unischek

Оригінальність 81,7% Схожість 18,3%

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

1. Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
2. Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її виконання автором. Роботу направити на розгляд експертної комісії кафедри.
3. Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

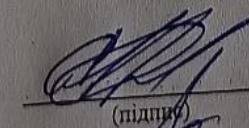
Особа, відповідальна за перевірку

  
(підпис)

Співак О.Ю.  
(прізвище, ініціали)

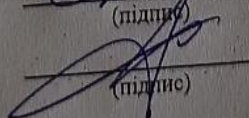
Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unischek щодо роботи.

Автор роботи

  
(підпис)

Оникієнко С.М.  
(прізвище, ініціали)

Керівник роботи

  
(підпис)

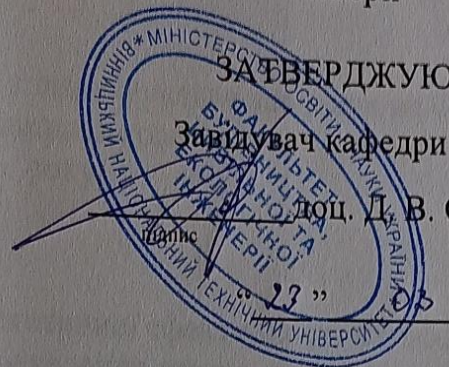
Степанов Д.В.  
(прізвище, ініціали)



Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет  
Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії

УЗГОДЖЕНО

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_



ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТЕ  
доц. Д. В. Степанов

23 03 2023 р.

**ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ**  
на бакалаврську дипломну роботу  
**Реконструкція котельні товариства з обмеженою відповідальністю**  
**«Понінківська картонно-паперова фабрика»**  
08-15.БДР.006.00.00.000 ТЗ

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

п.п.

Виконавець:

Студент гр. ТЕ-21мс  
Оникієнко С.М.

п.п.

## 1 Найменування об'єкта та область застосування

Розробка стосується муніципальної теплоенергетики і модернізації парової котельні, яка дозволить підвищити її економічність та енергетичну ефективність, а також зменшити залежність від природного газу.

## 2. Підстава для розробки

Підставою для виконання роботи є індивідуальне завдання на бакалаврську дипломну роботу, вхідні дані з підприємства, наказ ректора ВНТУ про затвердження теми БДР № від « » року.

### 1 Мета і призначення розробки

Підвищення економічності та енергетичної ефективності котельні шляхом створення ТЕЦ на базі котельні та переведення котлів на спалювання гранул лушпиння соняшника.

### 2 Джерела розробки

Основою для розробки є індивідуальне завдання на бакалаврську дипломну роботу, дані літературних джерел, інтернет джерел та інших, технічні матеріали про ефективність створення ТЕЦ та переведення котлів на альтернативні види палива, зокрема спалювання гранул лушпиння соняшника.

1. ДБН 2.5–77 : 2014. Котельні : [Чинний від 2015-01-01]. Київ : Мінрегіон України, 2014. 65 с.

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

3. Чепурний М. М., Ткаченко С. Й., Пішеніна Н. В. Показники ефективності роботи енергетичних установок для сумісного виробництва теплової та електричної енергії. Наукові праці ВНТУ. 2010. С. 65-70.

## 4 Технічні вимоги

### 4.1 Технічні характеристики

- потужність системи теплофікації .....  $Q_{\text{тф}} = 11,2 \text{ МВт}$
- потужність системи опалення.....  $Q_{\text{оп}} = 22 \text{ МВт}$
- потужність системи гарячого водопостачання .....  $Q_{\text{гвп}} = 8 \text{ МВт}$
- схема тепlopостачання ..... закрита

### 4.2 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.

### 4.3 Вимоги з надійності.

На ефективність роботи обладнання котельні впливають якість проекту та



якість монтажу. Параметри показників надійності встановлюються у відповідних державних стандартах.

## 5 Економічні вимоги

Створення об'єкту повинно вестись з мінімальними витратами праці та з мінімальними затратами виробництва. Здійснити економічне обґрунтування доцільності переведення котельні на альтернативні природному газу види палива, визначити річні витрати палива та економію палива.

## 6 Етапи розробки і терміни їх виконання

№ з/п	Назва етапів	Термін виконання етапів
1	Розрахунок теплової схеми котельні	22.03.2023-31.03.2023
2	Розробка реконструйованої теплової схеми	01.04.2023-10.04.2023
3	Тепловий розрахунок парового котла ТС-35 при спалюванні гранул лушпиння соняшника	11.04.2023-20.04.2023
4	Розрахунки пластинчастого теплообмінника	21.04.2023-30.04.2023
5	Розробка технології монтажу теплообмінника	01.05.2023-15.05.2023
6	Охорона праці	16.05.2023-25.05.2023
7	Оформлення БДР	11.05.2023-26.05.2023
8	Захист БДР	12.06.2023-19.06.2023

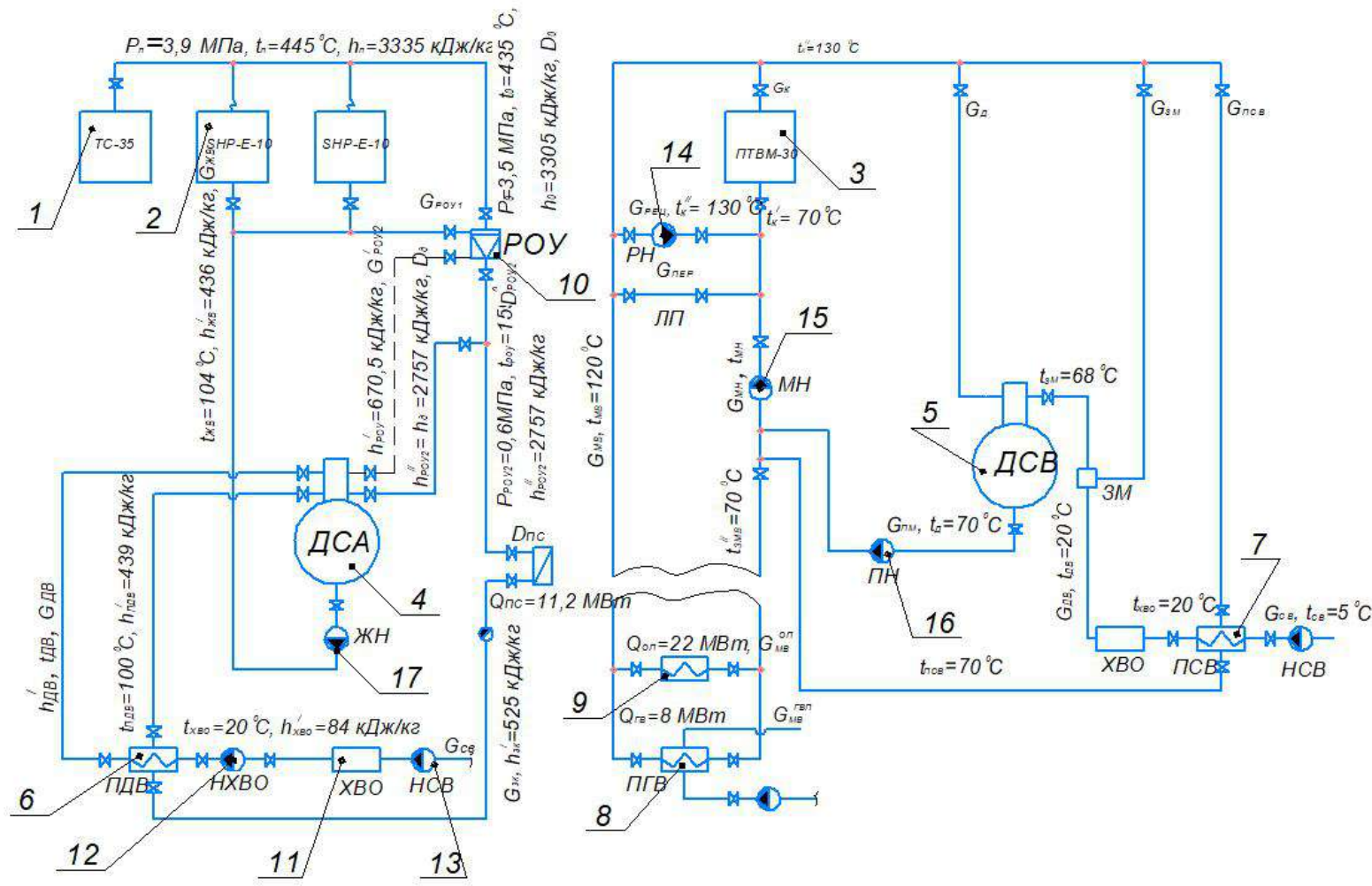
## 7 Порядок контролю і приймання

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

Додаток В  
(обов'язковий)

**ГРАФІЧНА ЧАСТИНА**

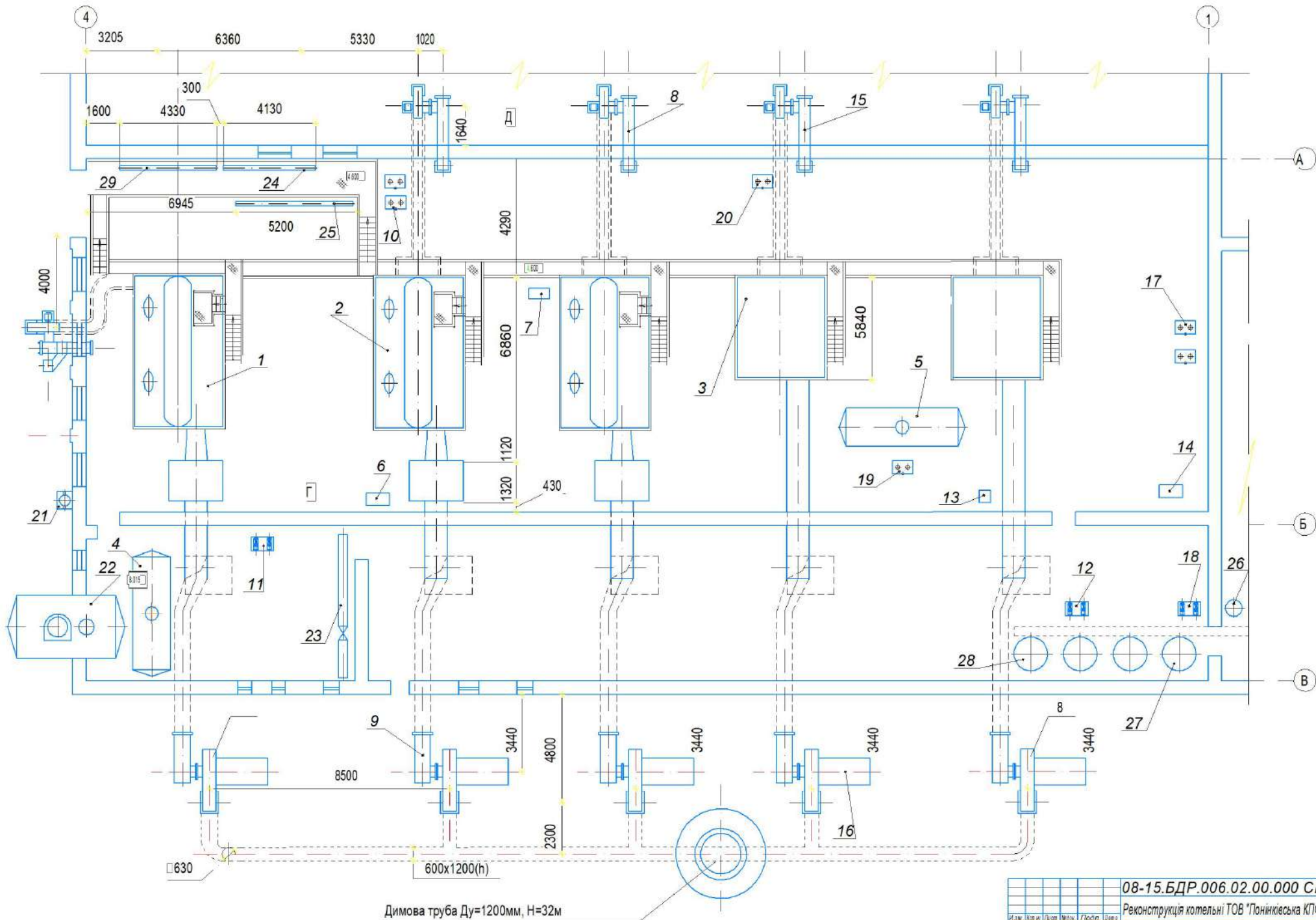
«Реконструкція котельні товариства з обмеженою відповідальністю  
«Понінківська картонно-паперова фабрика»



				08-15.БДР.006.01.00.000 Т3				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	<b>Схема принципова теплова котельні</b>	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.	Оникянко С.М.							
Пров.	Степанов Д.В.							
Т.контр.	Степанов Д.В.							
Реценз.	Андрухов В.М.							
Н.контр.	Слівак О.Ю.							
Уте.	Степанов Д.В.							
						Лист	Листов	1
						<b>ВНТУ, ар. ТЕ-21мс</b>		
						Копировал <span style="float: right;">Формат А3</span>		







Димова труба Ду=1200мм, Н=32м

08-15.БДР.006.02.00.000 СК				
Реконструкція котельні ТОВ "Тонікієська КПО"				
Ізм.	Кор.	Лист	Міст.	Лист
Розробив	Знак	С.М.		
Перевірив	Знак	Д.В.		
Т.контр.	Знак	Д.В.		
Розробив	Знак	Д.В.		
Н.контр.	Знак	О.О.		
Зам.	Знак	Д.В.		
План котельні			Лист	Листов
План котельні на відм 0.000			ВНТУ, гр. ТЕ-21мс	
Формат А1				



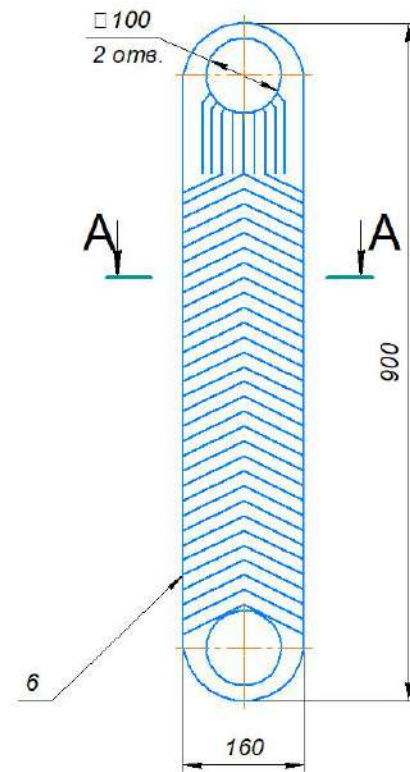
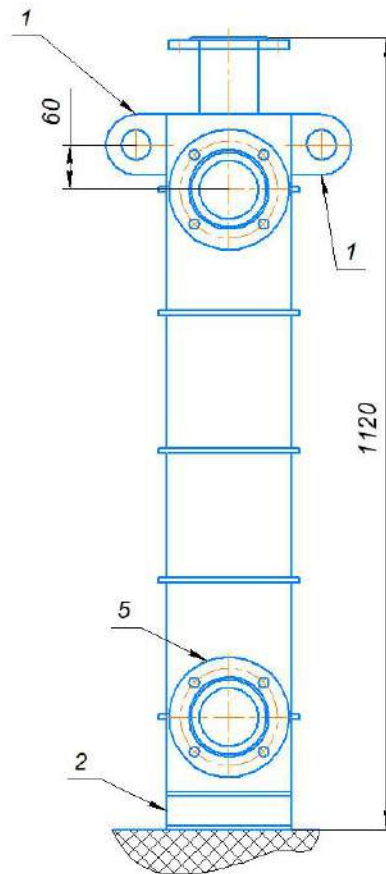
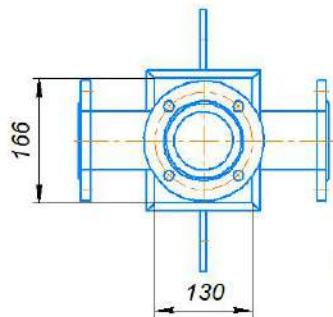
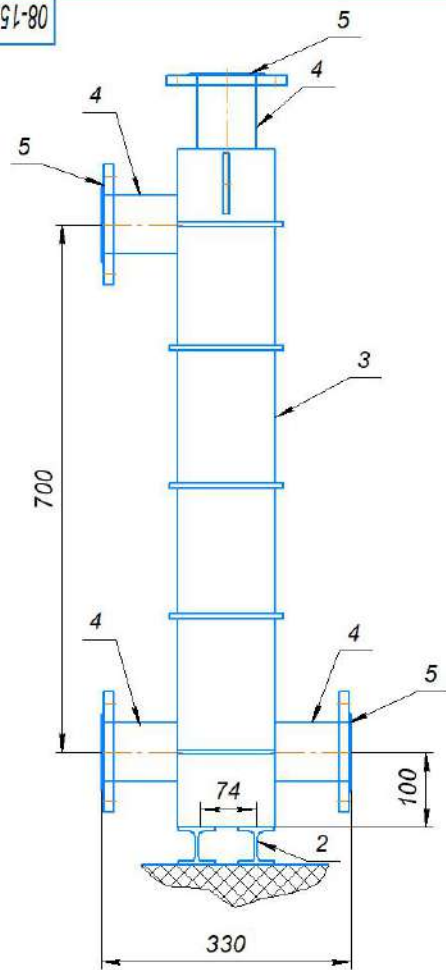




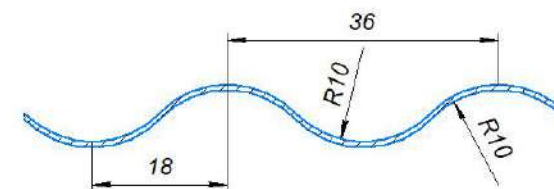








A-A (2:1)



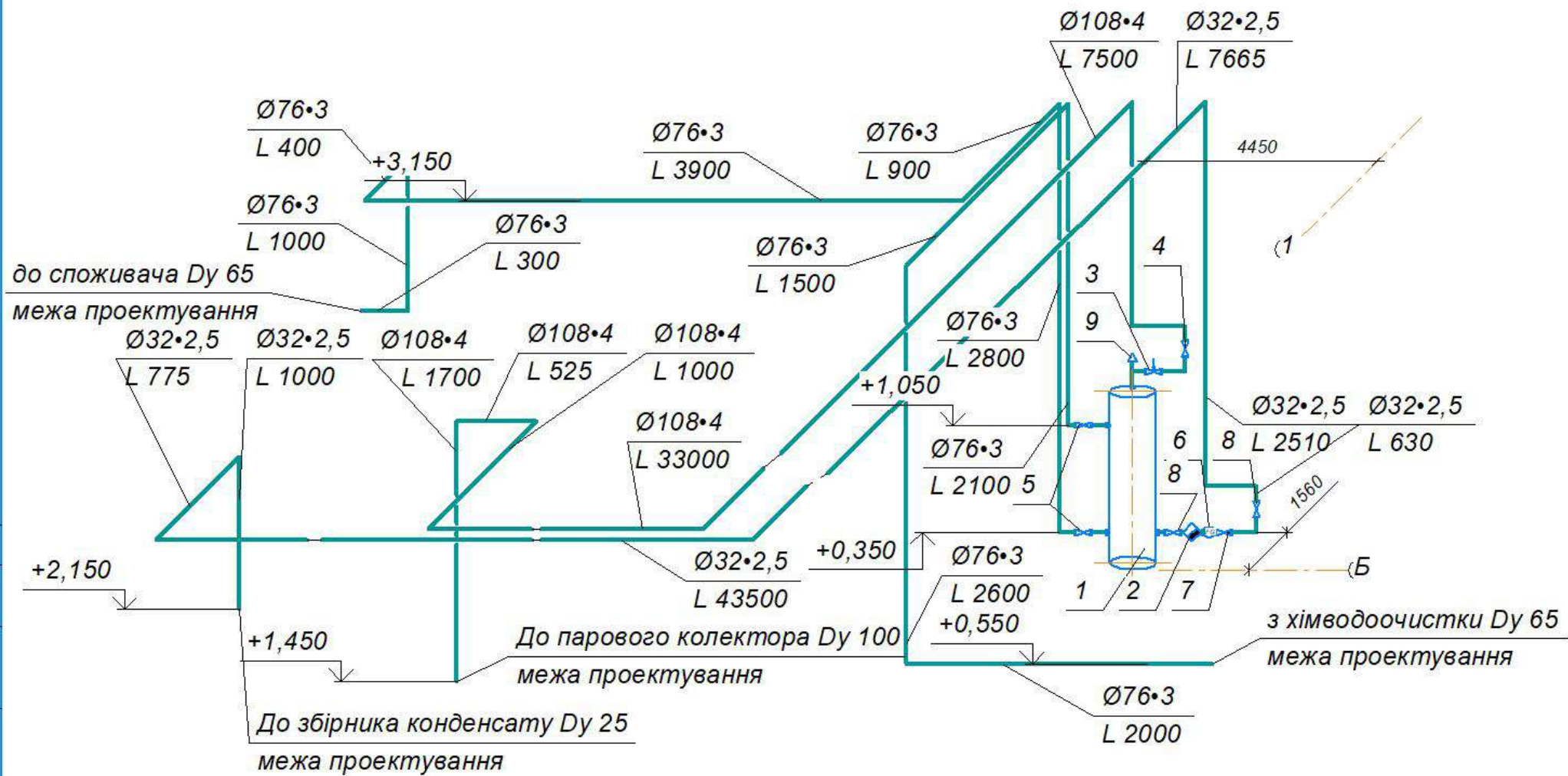
Технічна характеристика

- |  |                       |
|--|-----------------------|
| 1. Потужність                                | 800 кВт               |
| 2. Температура води на вході в теплообмінник | 20°C                  |
| 3. Витрата холодного теплоносія              | 3 кг/с                |
| 4. Тиск грійної пари                         | 5 кгс/см <sup>2</sup> |
| 5. Матеріал пластин                          | нержавіюча сталь Н01  |
| 6. Марка пластин                             | 3 мм                  |
| 7. Зазор між пластинами                      | 28 шт                 |
| 8. Кількість пластин                         |                       |

				08-15.БДР.006.04.00.000 СК				
Изм.	Лист	№ докум.	Год.	Дата	Гаровобійний пластинчастий теплообмінник потужністю 800 кВт Складальне креслення	Лит.	Масса	Масштаб
		Степанов Д.В.						1:5
		Степанов Д.В.				Лист	Листов	1
		Степанов О.Ю.				ВНТУ, зр. ТЕ-21мс		
		Степанов Д.В.				Копировал		
						Формат А2		







## ЕКСПЛІКАЦІЯ ОБЛАДНАННЯ

№	Найменування	Кількість	Примітка
1	Пароводяний пластинчатий теплообмінник	1	$F = 2,8 \text{ м}^2$
2	Конденсатовідвідник Yoshitake TSF-11F-21	1	Ду 25
3	Регулювальний клапан Clorius G2F large	1	Ду 100
4	Запірний клапан Bvalve BV25061 фланцевий	1	Ду 100
5	Затвор дисковий поворотний фланцевий	2	Ду 65
6	Оглядове скло Yoshitake SL-1F	1	Ду 25
7	Клапан зворотний підйомний	1	Ду 25
8	Запірний клапан Bvalve BV25061 фланцевий	1	Ду 25
9	Переривач вакууму Yoshitake VB-7, 7S	1	

					<b>08-15.БДР.006.05.00.000 ТЗ</b>				
					<b>Реконструкція котельні ТОВ "Понінківська КПФ"</b>				
Изм.	Коп.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Монтажна схема пластинчатого пароводяного теплообмінника потужністю 800 кВт	Стадія	Лист	Листов
Розробив	Онукієнко С.М.					Схема монтажна аксонометрична	<b>ВНТУ, ар. ТЕ-21мс</b>		
Перевірів	Степанов Д.В.								
Т. контр.	Степанов Д.В.								
Реценз.	Андрухов В.М.					Схема монтажна аксонометрична	<b>ВНТУ, ар. ТЕ-21мс</b>		
Н. контр.	Слівак О.Ю.								
Затв.	Степанов Д.В.								