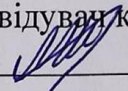
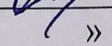


Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Машинобудівний навчально-науковий інститут
Кафедра експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетика

«Допущений до захисту»

Завідувач кафедри ЕСЕУ та ТЕ

 к.т.н., доцент Б.М. Личко

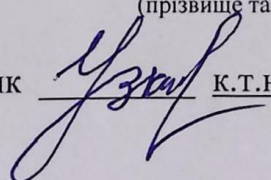
«  » _____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття ступеня вищої освіти МАГІСТР

на тему: Модернізація автономної котельні житлового комплексу шляхом
впровадженням конденсаційного газового котла D=20 т/год та оцінки
енергоефективності

Виконав: студент 2-го курсу групи 6241мх,
Спеціальність 144 «Теплоенергетика»
Освітня програма «Теплоенергетика»

 Казенов Є.Є.
(прізвище та ініціали)

Керівник  к.т.н., Корнієнко В.С.

Миколаїв – 2025

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Машинобудівний навчально-науковий інститут
Кафедра експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетика

Ступінь	магістр
Галузь знань	14 «Електрична інженерія»
Спеціальність	144 «Теплоенергетика»
Освітня програма	«Теплоенергетика»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант освітньої програми

Ю.Шай *Шанованов В.О.*
“ 5 ” 12 2025 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
на здобуття ступеня вищої освіти МАГІСТР
Казенов Єгор Євгенович

(прізвище, ім'я, по батькові)

I. Тема роботи Модернізація автономної котельні житлового комплексу шляхом впровадженням конденсаційного газового котла D=20 т/год та оцінки енергоефективності

(проект, реконструкція, модернізація енергетичної установки, інженерних систем та ін. з розробкою конструктивного елемента об'єкту)
керівник роботи Корнієнко Вікторія Сергіївна, канд.техн.наук, доцент

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від “ ” 2025 року №

II. Строк подання студентом роботи

III. Вихідні дані до роботи

(призначення, умови експлуатації, технічні дані з потреб в енергії чи енергоносіях)

IV. Зміст розрахунково-пояснювальної записки та графічного матеріалу

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів (за необхідності)
Вступ (Обґрунтування актуальності теми роботи)

1. Загальний розділ (Сучасні Smart Thermal Grid технології та їх компоненти. Енергоефективність та оптимізація систем тепlopостачання житлових будівель. Досвід впровадження та економічне обґрунтування Smart Thermal Grid. Постановка мети та завдань дослідження).
2. Теоретичний розділ (Основні методи дослідження. Методи оцінки споживання теплової та електричної енергії. Коротка характеристика теплотехнічного обладнання системи тепlopостачання).
3. Розрахунковий розділ (Аналіз метеорологічних даних. Загальна характеристика об'єкта дослідження. Теплотехнічний розрахунок будинку. Розробка технічних рішень системи тепlopостачання).
4. Дослідницький розділ. (Моделювання характеристик системи опалення в залежності від зміни температури зовнішнього повітря. Оцінка економії коштів за рахунок застосування схемних рішень для системи опалення по місяцях за опалювальний період. Оцінка

економії коштів за рахунок застосування схемних рішень для системи опалення за опалювальний період протягом трьох років).

5. Розділ з охорони праці (Заходи з охорони праці при експлуатації котелень).

6. Заключний розділ (Висновки).

7. Перелік презентаційних матеріалів (План розташування обладнання у приміщенні чи на території (2-3 креслення), аналіз метеорологічних даних (1 креслення), розробка технічного рішення (1 креслення), результати моделювання характеристик системи тепlopостачання (1 креслення), оцінка економічної ефективності застосування нового схемного рішення (1 креслення).

Список використаних джерел.

Додатки(за необхідності)

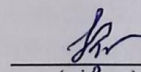
V. Дата видачі завдання _____

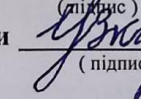
КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
	Отримання завдань у керівника та консультантів		
	Вступ		
	Загальний розділ		
	Теоретичний розділ		
	Розрахунковий розділ		
	Дослідницький розділ		
	Розділ з охорони праці		
	Заключний розділ		
	Графічна частина		
	Підпис у керівника. Розглядання роботи на кафедрі		
	Захист роботи перед ЕК		

Студент

Керівник роботи


(підпис)


(підпис)

Казенов Є.Є.
(прізвище та ініціали)

Корнієнко В.С.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Казенов Єгор Євгенович, «Модернізація автономної котельні житлового комплексу шляхом впровадженням конденсаційного газового котла D=20 т/год та оцінки енергоефективності», 2025 р.

Кваліфікаційна робота складається з пояснювальної записки на 95 арк., 16 таблиць, 12 рисунків, списку з 24 використаних джерел та графічної частини з 10 арк.

Важливість даної роботи визначається необхідністю підвищення ККД котельні. Старі чавунні економайзери пропонується замінити на газонепроникні сталеві. В роботі представлені характеристики котельні до модернізації та пропозиції щодо використання нового обладнання. Наведено розрахунок теплового навантаження котельні на опалення, розрахунок теплової схеми котельні після модернізації, вибір основного обладнання, розрахунок хімводопідготовки та системи газопостачання.

Розглянуто методи підвищення ККД парових котлів, розглянуто шляхи поліпшення процесів в топках, зниження коефіцієнта надлишку повітря, зменшення тепловтрат у навколишнє середовище та зниження температури відхідних газів.

Виконано теплові розрахунки котла ДЕ-10-14 та економайзера котельні.

Ключові слова (українською)

Котельня, модернізація, паровий котел, економайзер, теплопостачання, енергоефективність, ККД, газове паливо, теплове навантаження, автоматизація.

					ВКР.144.6241мх.05.00.ПЗ	Лист
						4
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

ABSTRACT

Kazenov Yegor Yevgenovich, "Modernization of an autonomous boiler room of a residential complex by introducing a condensing gas boiler D=20 t/h and assessing energy efficiency", 2025.

The qualification work consists of an explanatory note on 95 sheets, 16 tables, 12 figures, a list of 24 sources used and a graphic part of 10 sheets.

The importance of this work is determined by the need to increase the efficiency of the boiler room. It is suggested to replace the old cast iron economizers with gas-tight steel ones. The work presents the characteristics of the boiler room before modernization and proposals regarding the use of new equipment. The calculation of the thermal load of the boiler room for heating, the calculation of the thermal scheme of the boiler room after modernization, the selection of the main equipment, the calculation of the chemical water treatment and gas supply system are given.

The methods of increasing the efficiency of steam boilers were considered, the ways of improving the processes in the furnaces, reducing the coefficient of excess air, reducing heat losses to the environment and reducing the temperature of waste gases were considered.

Thermal calculations of the DE-10-14 boiler and the boiler house economizer were performed.

Keywords

Boiler house, modernization, steam boiler, economizer, heat supply, energy efficiency, efficiency, natural gas, thermal load, automation.

					BKP.144.6241MX.05.00.ПЗ	Лист
						5
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

	стор.
Вступ	9
1. ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ	10
1.1 Призначення та основні технічні дані котельні.....	10
1.2 Мета роботи.....	14
2. ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ	16
2.1 Теплова схема котельні до модернізації.....	17
2.2 Характеристика основного обладнання котельні до модернізації..	18
2.2.1 Опис встановлених котельних агрегатів.....	18
2.2.2 Теплопункт котельної.....	25
2.2.3 Деаераційно-живильна установка.....	30
2.2.4 Установка хімводоочищення.....	34
2.2.5 Конденсатна система.....	40
2.2.6 Тягодуттєві машини.....	41
3. РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ	45
3.1 Визначення витрати електроенергії на власні потреби котельної.....	46
3.2 Розробка теплової схеми котельної	47
3.3 Визначення параметрів енергоносіїв.....	49
3.4 Розрахунок графіка теплопостачання.....	50
3.5 Підбір обладнання котельної.....	51
3.6 Розрахунок системи газопостачання котельної.....	54
3.7 Розрахунок натрій-катіонітних фільтрів.....	55
4. ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ. ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРОВИХ КОТЛІВ	60
4.1 Шляхи підвищення ефективності парових котлів.....	61
4.2 Розрахунок котла.....	63
4.3 Дослідження методів підвищення економічності котлів.....	75

					ВКР.144.6241мх.05.00.ПЗ	Лист
						6
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

5. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ. РОЗРОБКА ЕКОНОМАЙЗЕРА...	84
5.1 Вихідні данні для розрахунку.....	85
5.2 Геометрія поверхні теплообміну.....	86
5.3 Розрахунок економайзера.....	87
6. ЗАКЛЮЧНИЙ РОЗДІЛ.....	92
Список використаних джерел.....	93

					ВКР.144.6241мх.05.00.ПЗ	Лист
						7
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

КГПТУ – контактна газо-паротурбінна установка

САК – система автоматичного керування

КВТ – компресор високого тиску

РК – ручне керування

ТС – турбіна силова

КНТ – компресор низького тиску

ТНТ – турбіна низького тиску

ХП – Холодна прокрутка

ТП – технологічна прокрутка

РЧТіН – регулятор частоти току і напруги

ЕМННД – електромасляний насос нагнітання двигуна

ЕМНВД – електромасляний насос відкачки двигуна

КУ – котельна установка.

ОРТ – обмежувач розкручення турбіни

СПЗ система плазових запальників

КПГ – клапан паливного газу

СК – стоп кран

РК – регулюючий кран

ХХ – холостий хід

ВОД – вентилятор охолодження двигуна

АЗ – аварійна зупинка

КЖС – конднесатно-живильна система

ЦН – циркуляційний насос котла

ПАРР – початок автоматичної роботи регулятора

					ВКР.144.6241мх.05.00.ПЗ	Лист
						8
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

ВСТУП

Аналіз роботи котельні, де розглядається проект модернізації котельні, показує, що теплогенеруюче обладнання знаходиться у вкрай важкому стані. Останніми роками не було джерел фінансування повномасштабних відновлювальних кампаній. Підприємства вели свою діяльність у межах наявних можливостей. Додатковим чинником, що погіршує економічний стан котельні, є системне підвищення цін на паливо.

Внаслідок цього відбувся знос обладнання, інженерних мереж, зменшення обсягів виробництва теплової та електричної енергії, зниження температури теплоносія тощо. Тому модернізація та реконструкція цих котелень є актуальною завданням.

У даному районі є котельня. Більша частина району забудована дев'яти-п'ятиповерховими будинками, в тому числі магазинами, аптеками, дитячими садками та банківськими установами, значну територію займає військова частина.

Підвищення якості системи централізованого опалення та гарячого водопостачання потребує підвищення ефективності опалювальних приладів котельні та встановлення нових високоефективних пристроїв.

Роботи передбачають модернізацію котельні з метою підвищення парової ефективності та ефективності роботи.

Підвищення ККД котельні досягається заміною застарілих чавунних економайзерів типу ЕВ 2-142 Кусинського машинобудівного заводу на сучасні сталеві з газонепроникним кожухом. Завдяки обміну зменшується підсмоктування повітря в газовий тракт, що підвищує загальний ККД котла, оскільки зменшуються втрати тепла разом з вихлопними газами. Крім того, знижується енергоспоживання приводу димососа за рахунок зменшення витрати вихлопних газів.

					ВКР.144.6241мх.05.00.ПЗ	Лист
						9
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

					ВКР.144.6241мх.05.01.ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
					Загальний розділ	Літ.	Арк.	Аркушів
Студент	Казенов Є.Є.							
Керівник	Корнієнко В.С.							
Консульт.						НУК		
								10

1. ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Технічні характеристики котельної установки

Метою роботи є модернізація установки та обладнання котельні загальною паропродуктивністю 20 т/год., що забезпечує теплопостачання житлового району та роботу теплоцентралі (вод. опалення на опалювальні потреби), власні потреби котельні, паливне господарство (як резервне паливо використовується мазут). Нижче наведені технічні характеристики котельні до модернізації.

Вид і параметри теплоносія на виході з котельні:

- насичена пара тиском 1,4 МПа (температура 180°C);
- вода з температурою 90...70°C на опалення;
- вода з температурою 70°C для потреб гарячого водопостачання.

Вид палива – природний газ середнього тиску 0,142 МПа з нижчою теплотою згорання 8100 ккал/м³.

Теплове навантаження котельні:

- максимальна паропродуктивність котельні – 18,0 т/год.;
- паропостачання на технологічні потреби – 1,95 т/год.;

Сумарна потужність споживачів електроенергії – 114,4 кВт.

ККД нетто котельної установки – 81,1%.

Кількість конденсату, що повертається – 90%.

Характеристики сирій води:

- твердість загальна – 5,0 мг-екв/кг;
- твердість карбонатна – 1,9 мг-екв/кг;
- вміст іонів натрію – 14,0 мг/кг.

Для покриття теплового навантаження в котельні установлені два котли марки *ДЕ-10-14* виробництва Бійського котельного заводу номінальною паропродуктивністю $D_u=10$ т/год, які працюють на природному газі.

					ВКР.144.6241мх.05.01.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		11

У котельні встановлені:

- водопом'якшувальна установка,
- тепловпункт мережевої установки,
- тепловпункт гарячого водопостачання,
- бак запасу гарячої води.

Котельня обладнана допоміжним обладнанням:

- живильними і конденсатними насосами,
- деаератором атмосферного типу,
- конденсатним баком,
- баком запасу хімічно очищеної води.

Відведення продуктів згорання від кожного котла здійснюється в металевий димар діаметром 800мм та висотою 30м.

Приміщення котельні одноповерхове і має розміри в плані 24,0х12,0м. Висота до низу конструкцій перекриття – 12м. Приміщення котельної обладнано системою вентиляції, водопостачання, каналізації. По надійності відпущення теплоти споживачам котельня відноситься до II категорії.

Основне обладнання котельні:

- котли ДЕ-10-14,
- тепловпункт мережевої води,
- тепловпункт гарячого водопостачання,
- термічний деаератор атмосферного типу ДА-15,
- бак запасу гарячої води,
- водопом'якшувальна установка,
- конденсатна установка – розташовані в котельній залі.
- димар і продувальний колодязь - розміщені поза будівлі котельні.

Котли встановлені на відм. 0.000; деаератор ДА-15 – на відм. 6.000. На відм. 0.000 встановлений конденсатний бак, а конденсатні і живильні насоси – біля конденсатного бака.

					ВКР.144.6241мх.05.01.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		12

Живлення котлів здійснюється газом з газорегуляторного пункту (ГРП).
Прийнято, що тиск газу після ГРП на вході в котельню становить $1,42 \text{ кгс/см}^2$.
На вході газу в котельню встановлено запобіжний запірний клапан і поворотний клапан (зворотний клапан). Планується контроль концентрації вибухонебезпечного газу в котельні..

Котельня повністю автоматизована та обслуговується обслуговуючим персоналом. Кожен котел обладнаний шафою керування, яка автоматично контролює безпеку процесу горіння та автоматично контролює та захищає котел під час запуску, зупинки, нормальної роботи та аварійних ситуацій. Автоматика забезпечує підтримання заданих параметрів середовища в котлі, економне спалювання палива і безпечну роботу котла шляхом припинення подачі палива в пальник при: підвищенні або зниженні тиску газу перед пальником;

- зменшенні розрідження в топці;
- згасанні факела пальника;
- підвищенні тиску пари на виході з котла;
- підвищенні або зниженні рівня води в котлі;
- зниженні тиску повітря перед пальником;
- несправності кіл захисту.

Передбачається:

- місцевий контроль параметрів температури, тиску, розрідження і рівня різних середовищ показниковими і сигналізуючими контрольно-вимірювальними приладами, встановленими на технологічних трубопроводах і обладнанні;

- запис температури і тиску пари, що йде на технологічні потреби, і конденсату з обладнання самописними термометрами і манометрами;

- місцевий контроль наявності в повітрі приміщення котельні вибухонебезпечних концентрацій метану і мікроконцентрацій чадного газу сигналізатором типу «ДОЗОР»;

					ВКР.144.6241мх.05.01.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		13

- вимірювання температури і об'ємної концентрації азоту і вуглекислого газу в відхідних димових газах газоаналізатором типу ОКСИ-5М4;

- автоматичне закриття електромагнітного клапана на газопроводі при загазованості.

Встановлені в котельні деаераційна установка і тепlopункти мережевої води повністю автоматизовані.

Сигнали про порушення нормального режиму роботи котельні винесені на блок контролю і сигналізації типу БКС-04 і передбачають:

- обрив фази в трифазній мережі;
- загазованість в котельні;
- концентрація чадного газу вище за норму;
- тиск живильної води, що подається до котлів, нижче і вище за норму;
- аварія котлів;
- відхилення тиску газу від норми.

Потужність струмоприймачів складає 114,4 кВт. Живлення струмоприймачів по II категорії надійності електропостачання здійснюється від розподільного пристрою 0,4 кВ; загальне робоче і аварійне освітлення напругою ~220 В і ремонтне освітлення напругою ~12 В. Робоче освітлення приміщення виконується світильниками з лампами ДРЛ. Світильники аварійного освітлення приймаються з лампами розжарювання у вибухозахищеному виконанні.

Опалення котельні здійснюється повітро-опалювальними агрегатами. Повітря подається до котельної зали припливними системами і нагрівається повітро-опалювальними агрегатами А02 до температури 12°C.

1.2 Мета роботи

Мета роботи полягає у можливості підвищення паливної ефективності котельні паропродуктивністю $D=20$ т/год з

					ВКР.144.6241мх.05.01.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		14

модернізацією парових котельних установок. Це пропонується досягти заміною застарілих чавунних економайзерів ЕБ2-142 Кусінського машинобудівного заводу на сучасні сталеві з газотермічним кожухом.

Завдяки заміні має зменшитися підсос повітря в газовий тракт, що підвищить загальний ККД котла, оскільки зменшиться витрата тепла з вихідними газами q_2 . Крім того, зменшиться витрата електроенергії на привід димоочисника за рахунок зменшення потоку димових газів.

Необхідно провести розрахунки: теплової схеми котельні після її модернізації; системи хімічної очистки води; системи газопроводів; тепловий розрахунок котлоагрегатів типу ДЕ-10-14 на дане паливо; розрахунок економайзера.

Провести дослідження характеристик і конструкцій парових котлів з метою визначення шляхів підвищення їх ефективності.

					ВКР.144.6241мх.05.01.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		15

					ВКР.144.6241мх.05.02.ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
					Теоретичний розділ				Літ.	Арк.	Аркушів
Студент	Казенов Є.Є.										
Керівник	Корнієнко В.С.										
Консульт.									НУК		
					16						

2. ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Теплова схема котельні до модернізації

Котельня працює на двох котлах ДЕ-10-14, що працюють на газовому паливі (резервне паливо — мазут). Котли виробляють насичену пару з тиском 1,4 МПа. За котлами встановлені чавунні економайзери, в які після деаератора надходить живильна вода температурою 104°C.

Насичена пара з котлів надходить у парозбірник. З парозбірника пара після редуційно-охолоджувального пристрою (РОП) направляється в вентиляційно-припливну установку і на теплові пункти.

Для підготовки водопровідної води для системи опалення передбачений пункт підігріву водопровідної води. Зворотна вода з мережі надходить на фільтр, звідки за допомогою мережевих насосів подається в паровий теплообмінник. Мережева установка працює за температурним графіком 90...70°C. Для приготування гарячої води температурою 70°C передбачений пункт підігріву гарячої води. Оскільки 20% конденсату не повертається від промислових споживачів, котли живляться сумішшю конденсату та хімічищеної води. Відповідно до стандартів якості живильної води, жорсткість водоживильних трубчастих котлів з тиском 1,4 МПа не повинна перевищувати 20 мкг-екв/кг[10]. Пом'якшення води здійснюється за допомогою водоочисної установки з катіонуванням Na за одноступінчастою схемою. Після нагрівання до 30°C в парообміннику сира вода надходить в установку пом'якшення води, а хімічищена — в деаераційну колону. Хімічно очищена вода дегазується в деаераційній колоні, яка потім збирається в деаератор, звідки живильними насосами направляється в котли. Для деаерації живильної води передбачений термодеаератор атмосферного типу. Пара з деаератора використовується для підігріву хімічно очищеної води.

					ВКР.144.6241мх.05.02.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		17

Конденсат від виробничих споживачів надходить у конденсатосем, звідки за допомогою конденсатних насосів подається в деаератор. Постійне очищення котлів забезпечується установкою сепараторів безперервної очистки і використанням киплячої вторинної пари в деаераторі, а відокремлена вода використовується для підігріву хімічно очищеної води. Також передбачена періодична чистка котлів. Дренажні води з котлів і резервуарів (конденсат і деаерація), а також зі станції пом'якшення води і резервуара ГВП відводяться в муловідстійний колодязь.

2.2 Характеристика основного обладнання котельні до модернізації

2.2.1 Опис котельних агрегатів, що експлуатуються

До складу обладнання котельні входять два котли типу ДЕ-10-14. Газові парові вертикальні водотрубні котли номінальною паропроductивністю 10т/год призначені для виробництва насиченої пари тиском 1,4МПа, яка використовується для технологічних потреб, опалення.

Технічні характеристики котельного агрегату ДЕ-10-14 з блочним чавунним економайзером ЕБ2-142 системи ВТІ наведені у табл. 2.1.

Таблиця 2.1 Технічні характеристики котельного агрегату ДЕ-10-14

Характеристика	Значення
Максимальна паропроductивність, т/год	10,00
Тиск пари (надлишковий), МПа	1,4
Об'єм топки, м ³	11,21
Поверхня нагріву котла, м ² :	
радіаційна	39,0
конвективна	116,0

Характеристика	Значення
ККД брутто, %, при спалюванні газу $Q=35290 \text{ кДж/м}^3$	92,1
Витрата газу (на один котел), $\text{м}^3/\text{год.}$	504
Коефіцієнт надлишку повітря (відхідні гази)	1,4

Конструктивною відмінністю таких котлів є розташування камери згоряння з боку конвекційного променя, утвореного вертикальними трубами, згорнутими у верхній і нижній барабани (рис. 2.1). Діаметр верхнього і нижнього барабанів 1000 мм, відстань між барабанами 2750 мм, для екранів і конвекційної балки використовуються труби діаметром 51х2,5 мм. Довжина циліндричних частин верхнього і нижнього барабанів однакова. У передній і задній днищах кожного барабана є люки, що дозволяють здійснювати внутрішній огляд і очищення їх внутрішніх поверхонь.

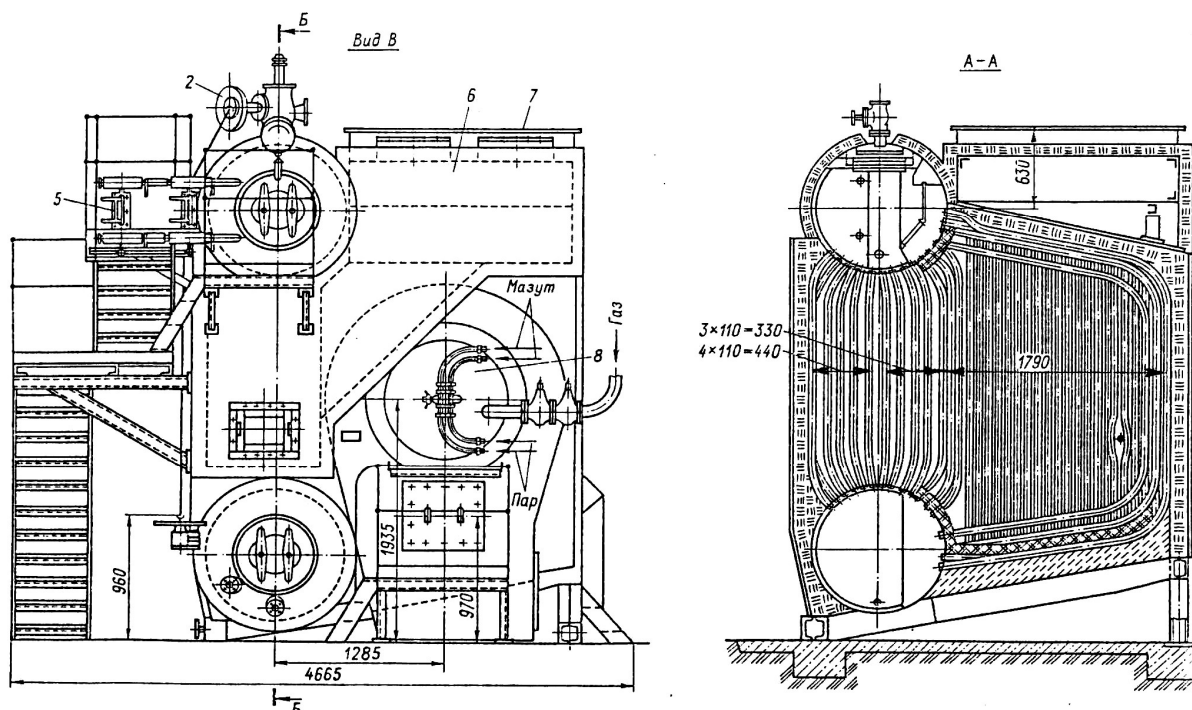


Рис.2.1 Конструкція та поперечний переріз котла марки ДЕ-10-14

Ширина камери згоряння 1790 мм (по осі труб). Середня висота камери згоряння 2400 мм. Камера згоряння відокремлена від конвекційної балки газонепроникною перегородкою з труб діаметром 51х2,5 мм, щільно встановлених на відстані 55 мм і зварених між собою. У задній частині перегородки є вікно, що забезпечує прохід газів до конвекційного променя. Склепіння, права бічна поверхня і під камерою згоряння закриті трубами діаметром 51 х 2,5 мм, створюючи рівномірний екран з відстанню між трубами 55 мм. Кінці ситових трубок кріпляться за допомогою накатування вгору і опускання барабанів. Патрубки заднього скла з'єднані зварюванням з верхнім і нижнім колекторами діаметром 159,5 мм. Колектори з'єднані з верхнім і нижнім барабанами і з'єднані 76 трубою рециркуляції без підігріву 3,5 мм. Піддон топки обкладається вогнетривкою цеглою.

Конвекційна балка складається з вертикальних труб діаметром 51х2,5 мм у коридорному розташуванні, які кріпляться прокаткою до верхнього та нижнього барабанів (поздовжній крок труб 90 мм, поперечний 110 мм, середній ряд труб з поперечним інтервалом 120 мм). Для забезпечення необхідної швидкості газів в конвекційній балці встановлюють поздовжні ступінчасті перегородки.

Схема циркуляції включає чотири екрани (передній, задній і два бокових) і конвекційний промінь. Зливні труби випарної системи є останніми рядами труб у конвекційному промені, які слідують за рухом газів. У водяному просторі верхнього барабана розміщені підвідний патрубок і патрубок для введення фосфатів, а в паровому просторі встановлені сепараційні пристрої. У нижньому барабані знаходиться перфорована труба, яка служить для безперервного промивання котла в поєднанні з періодичним промиванням. Нижній барабан обладнаний пристроєм для парового підігріву води при розпалюванні і штуцером для зливу води.

Очищення поверхні нагріву від зовнішніх домішок здійснюється за допомогою стаціонарних обдувних пристроїв, розташованих з лівого боку котла. Обдувний пристрій складається з кріпильного елемента і патрубку з форсунками, які обертаються при обдуві через конвекційну частину котла. Труба обертається вручну. При продуванні використовується насичена пара з тиском не менше 0,7 МПа.

Котли мають несучий каркас, який передає всі навантаження на фундамент. Свобода переміщення температури елементів котла забезпечується стаціонарним кріпленням передньої опори нижнього барабана і рухомим кріпленням завдяки овальним гвинтовим отворами задньої опори до рами котла.

Газонепроникне покриття бічних стінок, склепіння і підлоги камери згоряння дозволило відмовитися від важкої цегляної кладки і застосувати полегшену трубну ізоляцію товщиною 100 мм, яка укладається на шар шамоту товщиною 25 мм. сітка. Для обмеження всмоктування повітря в газовий тракт котла ізоляцію труби ззовні покривають листовим металом, який приварюють до каркасу котла. Застосування трубчастої теплоізоляції покращує динамічні властивості котлів, зменшує втрати в навколишнє середовище і тепловтрати під час пуску та зупинки котла, пов'язані з нагріванням стінки.

Газомазутні пальники типу ГМГ застосовуються для спалювання газу і мазуту в котлах, пристосованих для роботи на газі з теплотою згоряння 35500 кДж/м³ (8500 ккал/м³) або мазуті М40 і М100. Допускається одночасне спалювання газу та мазуту. Будова дизельного пальника наведена на рис. 2.2.

					ВКР.144.6241мх.05.02.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		21

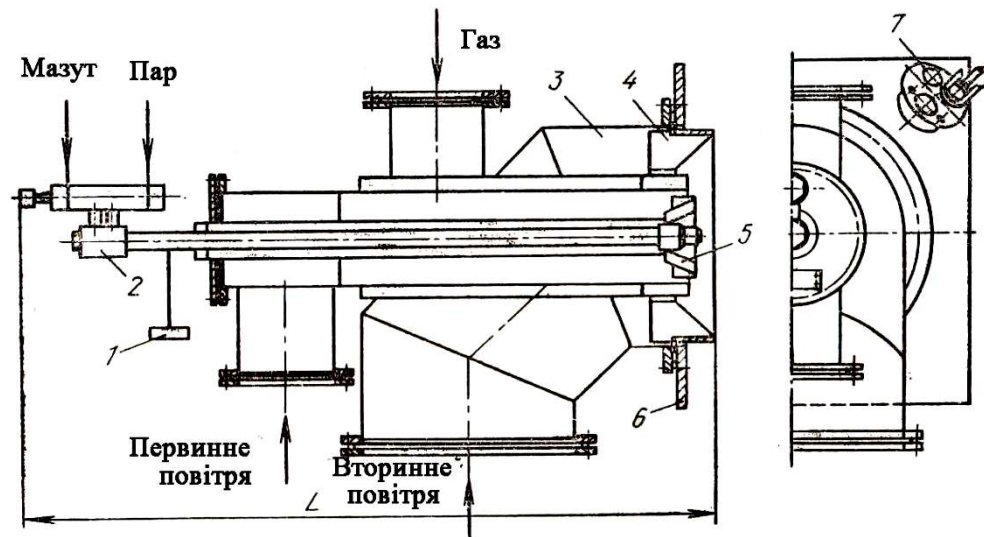


Рис. 2.2 Газомазутний пальник ГМГ:

1 – заглушка; 2 – мазутна форсунка; 3 – газоповітряна частина; 4 – лопатковий завихрювач вторинного повітря; 5 – лопатковий завихрювач первинного повітря; 6 – монтажна плита; 7 – місце установки запальника

Для розпилення рідкого палива в пальнику використовується паромеханічна форсунка, що забезпечує високу якість розпилення у всьому діапазоні регулювання навантаження. Форсунка складається з розпилювальної головки, циліндра, блоку, кронштейна з натискним гвинтом для приєднання парової та паливної арматури. Мазут, що надходить в форсунку по внутрішньому патрубку, подається через розподільний скруббер в кільцевий канал завихрювача, звідки по тангенціальним каналам надходить у завихрювальну камеру, здійснюючи обертально-поступальний рух, виходить з форсунки і в результаті розпилюється відцентровою силою. Діапазон регулювання розширюється за рахунок використання парозавихрювачів - із зовнішньої труби через канали в накидній гайці пара надходить у канали завихрителя і бере участь у розпилюванні мазуту завихреним потоком на виході. Ефективна робота форсунки на всіх режимах

забезпечується при тиску пари розпилення 0,07...0,2 МПа, при навантаженні понад 70% форсунка може стабільно працювати навіть без паророзпилення.

Повітря до основи пальника (до 15% від загального потоку) подається через редуктор первинного повітря, в якому потік закручений, що сприяє кращому змішуванню з паливом. Вторинний потік повітря закручується в реєстрі, який являє собою лопатковий пристрій з прямими лопатями, встановленими під кутом 45°. Первинний і вторинний повітряні реєстри виконані з правою і лівою обмотками. Потужність пальника регулюється зміною тиску мазуту або газу та відповідною зміною подачі повітря. При роботі на рідкому паливі подача первинного повітря не регулюється, а при роботі на газі подача первинного повітря регулюється пропорційно витраті газу. Пальники запалюються автоматично запальничкою або вручну пальником. Котлоагрегати оснащені чавунними блочними водяними економайзерами типу ЕВ2-142 системи ВТІ.

Технічні характеристики блочного чавунного економайзера ЕВ2-142:

Поверхня нагріву, м ²	142
Кількість колонок	2
Довжина труб, мм	2000
Кількість рядів труб	15
Кількість труб у ряді	3
Габаритні розміри, мм:	
довжина х ширина х висота	2600 х 1200 х 2000
Маса, кг	5290

Цей економайзер складається з чавунних оребрених труб довжиною 2,0 м, поміщених у легку металеву кладку, і поставляється зібраним у переносному блоці. Економайзер являє собою двоблочну конструкцію зі сталевую перегородкою, встановленої між колонами. Бічні стінки

економайзера мають подвійну обшивку, всередині якої розміщені теплоізоляційні матеріали. Трубки економайзера з'єднані змійовиками таким чином, що живильна вода протікає по них послідовно знизу вгору. Живильна вода подається в другу колону (за рухом газів); напрямом течії води в обох колонах - знизу вгору. Використання описаної схеми руху води знизу вгору забезпечує вимивання зі стінок труби бульбашок повітря, які виділяються з води при її нагріванні і можуть викликати внутрішню корозію металу труб економайзера. Швидкість води в економайзері повинна бути від 0,5 до 1,0 м/с. Рух води зверху вниз не допускається, щоб запобігти гідравлічним ударам і тому, що важко видалити бульбашки повітря. Продукти згоряння в економайзері необхідно направляти зверху вниз, щоб організувати протитечієвий рух і поліпшити умови тепловіддачі.

Приймається, що температура нагрітої води на виході з чавунних економайзерів ВТІ не менше ніж на 20°C нижче температури кипіння при розрахунковому тиску пари в котлі. При кипінні води можливі гідроудари і руйнування чавунних труб. Температура води на вході в економайзер повинна бути не менше ніж на 10°C вище точки роси відпрацьованих газів. Рух води і газів в двоколонному економайзері послідовно змішується. Блочні економайзери оснащені стаціонарними повітродувками.

У комплект поставки економайзера входять необхідні кріплення і гарнітура. У верхньому газопроводі економайзера є люк для очищення труб, а також вибуховий клапан. Економайзери підключаються до останнього газового каналу котла через металеву ізольовану коробку. Економічно вигідні швидкості відпрацьованих газів у блочних економайзерах 6...8 м/с. Для високотеплотворних палив швидкість газу слід збільшити до 9...10 м/с через небезпеку покриття поверхні нагріву золою.

Чавунні економайзери надійні в експлуатації завдяки більшій товщині стінок труб, довговічніші сталевих навіть за наявності зовнішньої та

					ВКР.144.6241мх.05.02.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		24

внутрішньої корозії труб. Тому вони стали звичайними в котлах малої потужності. Основним недоліком чавунних економайзерів є їх великі габарити і маса, що зумовлено низькими коефіцієнтами тепловіддачі; вони дорожчі, ніж гладкі сталеві труби, і більш чутливі до забруднення золою. Крім того, значне підсмоктування холодного повітря в димохідний канал економайзера збільшує втрати тепла з відпрацьованими газами та енерговитрати димососа, а отже, знижує ККД котлоагрегату та ККД котельної установки.

2.2.2 Теплопункт котельної

Теплопункт котельної призначений для підігріву мережевої води в пароводяних підігрівачах до температури 90°C для опалювальних потреб, а також приготування гарячої води.

До складу теплопункту входять:

- два підігрівача мережевої води ПП 1-35-2-II;
- три мережеві насоси НКУ-90;
- один підігрівач гарячої води ПП 1-6-2-II;
- три насоси гарячої води 2К-6;
- трубопроводи прямої та зворотної мережевої води, трубопроводи ГВП прямий та зворотний, паропроводи, конденсатопроводи; запірні й регулююча арматура;
- КВП та прилади обліку витрати мережевої води.

Таблиця 2.2 Параметри теплопункту

Параметри				Од. виміру	Величина
Установлена теплова потужність на опалення				МВт	7,86
Номинальна теплова потужність на				МВт	2,5

опалення		
Номінальна витрата мережевої води	м ³ /год	107
Тиск мережевої води після насосів	МПа	0,58
Тиск мережевої води у зворотному трубопроводі	МПа	0,2
Температура мережевої води після підігрівачів	°С	90
Установлена теплова потужність на ГВП	МВт	0,68
Номінальна теплова потужність на ГВП	МВт	0,34
Температура нагрівальної пари	°С	120
Тиск нагрівальної пари	МПа	0,2

Паровий підігрівач мережевої води типу ПП 1-35-2-II з еліптичним днищем являє собою пароводяний теплообмінник вертикального типу, основними вузлами якого є корпус, трубна система, верхня й нижня водяні камери. Корпус підігрівача складається із циліндричної обичайки, до нижньої частини якої приварене штамповане еліптичне днище, а до верхньої частини – фланець для з'єднання із трубою системою й верхньою камерою. У верхній частині корпусу розташований патрубок для підведення пари, патрубок відсисання повітря, муфти для приєднання водовказівного скла, а також патрубки для приєднання датчика регулятора рівня конденсату в корпусі. До еліптичного днища приварений фланець для приєднання патрубка виходу конденсату. Трубна система складається із двох трубних дощок, каркаса, прямих теплообмінних трубок 19х1мм, виконаних з латуні марки Л68, кінці яких розвальцьовані в трубних дошках. Каркас трубої системи має поперечні сегментні перегородки, які направляють потік пари в корпусі для поліпшення теплообміну й одночасно служать проміжними опорами для теплообмінних труб. Для запобігання руйнівній дії струменя

пари на теплообмінні трубки напроти патрубків підведення пари встановлений відбійний щит.

Таблиця 2.3 Технічні характеристики підігрівача мережевої води типу ПП 1-35-2-II з еліптичним днищем

Показник	Од. виміру	Значення
Теплопродуктивність номінальна	МВт	3,93
Температура води: на вході	°С	70
на виході	°С	90
Площа поверхні нагріву	м ²	35,3
Витрата води номінальна	т/год.	169
Діаметр корпусу	мм	630
Кількість трубок	—	392
Довжина трубок	мм	2000
Довжина підігрівача	мм	2915
Тиск пари	МПа	0,2
Кількість ходів по воді	—	2
Переріз для проходу води	м ²	0,0302
Гідравлічний опір	МПа	0,021
Маса	кг	1290

Верхня водяна камера складається з циліндричної гільзи, до якої у верхній частині приварено пресоване еліптичне дно, а до нижньої частини приварений фланець, що забезпечує з'єднання з системою трубопроводів і корпусом. Водяна камера оснащена входним і вихідним патрубками для водопровідної води. Внутрішній простір камери розділений перегородкою, завдяки якій водопровідна вода проходить двічі. Нижня водяна камера складається з екструдованого еліптичного дна та фланця для підключення до

системи труб. У нижній частині днища є отвір для зливу води. Основні вузли нагрівача кріпляться за допомогою рознімного фланцевого з'єднання, що дозволяє проводити профілактичний огляд і ремонт.

Технічні характеристики парового підігрівача гарячої води типу ПП 1-6-2-II з еліптичним днищем наведені в табл. 2.4.

Таблиця 2.4 Технічні характеристики підігрівача гарячої води типу ПП 1-6-2-II з еліптичним днищем

Показник	Од. виміру	Значення
Теплопродуктивність номінальна	МВт	0,68
Площа поверхні нагріву	м ²	6,3
Витрата води номінальна	т/год.	29,2
Діаметр корпусу	мм	325
Кількість трубок	—	68
Довжина трубок	мм	2000
Довжина підігрівача	мм	2590
Тиск пари	МПа	0,2
Кількість ходів по воді	—	2
Переріз для проходу води	м ²	0,0052
Гідравлічний опір	МПа	0,021
Маса	кг	380

У водонагрівачі водопровідна вода тече по трубах, а пара протікає в просторі між трубами. Водопровідна вода надходить через вхідну трубу в ліву частину верхньої водяної камери і падає по трубах у нижню водяну камеру, звідки по другому каналу через труби тече вгору в праву частину верхньої водяної камери, а потім у вихідну трубу. Нагріта пара через вхідний патрубок потрапляє в міжтрубний простір, де віддає тепло водопровідній воді,

конденсується і стікає в нижню частину кожуха, звідки по конденсатопроводу направляється в деаератор.

Підігрівач призначений для підігріву води гарячого водопостачання до температури 70°C. Конструкція підігрівника гарячої води така, як і підігрівача мережевої води. Мережеві насоси відцентрові (3 шт.) типу НКУ-90 призначені для подачі мережевої води через підігрівачі на теплопостачання (табл. 2.5).

Таблиця 2.5 Технічні характеристики мережевого насоса НКУ-90

Показник	Од. виміру	Значення
Подача	м ³ /год	90
Напір	МПа	0,38
Максимальна температура води	°C	210
Електродвигун: марка потужність	кВт	4А180S4 22
Габарити: довжина	мм	1935
ширина	мм	571
висота	мм	760
Маса агрегату	кг	680

Насоси гарячої води (2 шт.) типу 2К-6 одноступінчасті відцентрові призначені для подачі води через підігрівач на гаряче водопостачання (табл. 2.6).

Таблиця 2.6 Технічні характеристики насоса гарячої води 2К-6

Показник	Од. виміру	Значення
Подача	м ³ /год	20
Напір	МПа	0,3
Потужність	кВт	2,65

Габарити:	довжина	мм	1450
	ширина	мм	438
	висота	мм	660
Маса агрегату		кг	310

2.2.3 Деаераційно-живильна установка

Деаераційно-подаюча установка (ДПВ) призначена для видалення розчинених газів з живильної води та подачі її в котельні та тепломережі. Видалення розчинених газів із живильної води засноване на властивості газів зменшувати свою розчинність із підвищенням температури води. При температурі кипіння води розчинність газів практично дорівнює нулю. Основним методом боротьби з корозією металу в енергетичному обладнанні є термічна деаерація живильної води. Вміст кисню (O_2) у воді живлення парових котлів не повинен перевищувати 100 мкг/л, для теплових мереж - 50 мкг/л, вуглекислого газу (CO_2) не повинно бути. Необхідні умови для найбільш повного видалення розчинених газів:

- підтримання температури в деаераторі близько до температури насичення при даному тиску;
- забезпечення відведення газів, що виділилися з води;
- дотримання принципу протитечії води й пари, що деаерується,.

Ці умови найбільш точно дотримуються в термічних деаераторах з колонками атмосферного типу.

До складу ДЖУ входять:

- деаератор атмосферного тиску ДА-15 – 1 шт.;
- охолоджувач випару ОВА-2 – 1 шт.;
- живильні електронасоси (ПЭН-10-16) – 4 шт.

Основні характеристики деаератора ДА-15:

тип деаератора атмосферний, змішувальний;

номінальна продуктивність	15т/год;
робочий тиск (абсолютний)	0,2МПа (1,2 кгс/см ²) ;
температура деаерованої води.	104°С;
корисна місткість бака-акумулятора	4м ³ .

Деаератор ДА-15 (рис.2.4) складається з горизонтального бака-акумулятора діаметром 1212×6мм і довжиною L=2800мм з двома конічними днищами, у верхній частині якого розташована деаераційна колонка діаметром 530×6мм і висотою Н=2195мм зі сферичним днищем.

Бак має два люки з трапами для внутрішнього огляду. Міцність конструкції акумуляторного бака забезпечують ребра жорсткості. У нижній частині бака розташований барботерний пристрій з легованої сталі Х18Н10Т. Барботерний пристрій складається з верхнього ящика, розділеного перегородками, і нижнього ящика з барботерною решіткою у верхній частині. Решітка має один отвір діаметром 300 мм, що дозволяє виводити пару через трубу діаметром 250 мм, і 1035 отворів діаметром 6 мм, через які пара пропускається через воду. Нагрівальна пара після ROP подається в барботерний пристрій після заповнення накопичувальних резервуарів до рівня від 70 до 80% у верхньому оглядовому склі води. Розпилення пари з барботера забезпечує ефективне змішування пари та води, нагріваючи воду та вивільняючи з води розчинені гази. Парогазова суміш збирається у верхній частині накопичувача і направляється в деаераційну колону.

У верхній частині деаераційна колона має змішувальний лоток і дві перфоровані тарілки (верхню і нижню), виготовлені з легованої сталі Х13. Верхня плита має центральний вихід для парогазової суміші та отвори діаметром 6 мм для потоку води. Нижня пластина не має центрального отвору. У деаераційну колону подається хімічно очищена вода і конденсат виробництва і підігрівачів. Хімічно очищена вода і конденсати змішуються в переливному піддоні. Через край переливного піддону вода у вигляді плівки

					ВКР.144.6241мх.05.02.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		31

стікає на верхню перфоровану пластину. Потоки води, що стікають з тарілок в деаератор, змішуються протитечією з потоком парогазової суміші, а гази виділяються з потоку рідини. У верхній частині сферичного днища колони розташований патрубок для відводу парогазової суміші.

Деаератор оснащений гідрозатвором, який захищає його від перевищення допустимого тиску: при підвищенні тиску вище допустимого тиску стовп рідини видавлюється з гідрозатвору і деаератор з'єднується з атмосферою. Гідравлічний клапан може заправлятися з накопичувальної ємності або з трубопроводу хімоочищеної води. На паропроводі встановлений регулюючий клапан, який регулює тиск пари в корпусі деаератора і підтримує температуру 104°C. Деаератор встановлений на двох роликів опорах для забезпечення вільного переміщення при підвищенні температури і захищений теплоізоляцією товщиною 80 мм.

Підживлення деаератора здійснюється:

- хімоочищеною водою з установки ХВО по трубопроводу діаметром 57×3мм;
- конденсатом після підігрівачів мережевої та гарячої води по трубопроводу діаметром 57×3мм;
- конденсатом після підігрівача сирієї води ХВО по трубопроводу діаметром 38×2мм;
- конденсатом із супутників мазутного господарства по трубопроводу діаметром 57×3мм;
- конденсатом з виробництва 108×3мм.

З нижньої частини бака-акумулятора деаерована вода з температурою 104°C надходить на всмоктування живильних насосів.

Основні характеристики живильного електронасоса ПЭН-10-24:

тип – багатоступінчастий відцентровий горизонтальний;

кількість 4 шт. ;

					ВКР.144.6241мх.05.02.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		32

продуктивність	10 м ³ /год;
напір	2,4МПа;
кількість обертів	2950об./хв;
потужність	9 кВт;
маса	500кг.

Корпус насоса складається з секцій направляючих пристроїв і кришок, скріплених дюбелями. Всі шви секцій ущільнені гумовими шнурами діаметром 6 мм. Ротор насоса розміщений в корпусі, що складається з восьми роторів. Опори ротора являють собою два радіальних сферичних роликотідшипника, які встановлені на опорах ковзання, які дозволяють ротору рухатися в осьовому напрямку. Підшипники жорстко закріплені на валу, місця виходу вала з корпусу підшипника ущільнені манжетами. Для запобігання потрапляння води в корпус підшипника встановлені відбійні кільця. Підшипники охолоджуються технічною водою.

Деаератор ДА-15 обладнується охолоджувачем випару типу ОВА-2 [5], який призначений для підігріву хімоочищеної води перед її надходженням до деаератора. Технічні характеристики охолоджувача випару наведені в табл. 2.7.

Таблиця 2.7 Технічні характеристики охолоджувача випару ОВА-2

Показник		Од. виміру	Значення
Поверхня охолоджувача випару		м ²	2
Загальна довжина		мм	1200
Діаметр і товщина труби корпусу		мм	325×6
Загальна висота		мм	562
Висота до центральної вісі		мм	294
Кількість ходів		—	6
Маса охолоджувача:	сухого	кг	218
	з водою	кг	350

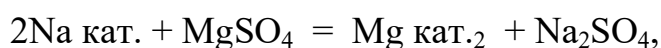
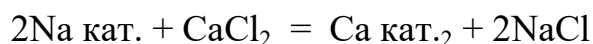
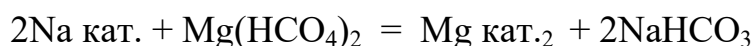
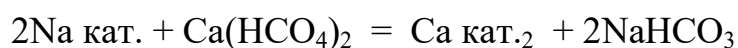
2.2.4 Установка хімводоочищення

У зв'язку з тим, що 20% конденсату не повертається з технологічних приймачів, котли живляться сумішшю конденсату і хімочищеної води. Згідно з нормами якості живильної води, жорсткість живильної води для кожухових котлів з тиском 1,4 МПа не повинна перевищувати 20 мкг-екв/кг. Тому в котельні передбачена установка пом'якшення води, побудована за одноступеневою схемою катіонізації натрію. Продуктивність установки ХВО 4,02 м³/год. Установка ХВО живиться водою з водопроводу.

Іонообмінні смоли (іоніти) використовують як фільтруючий матеріал на установках хімводоочищення. Іоніти — високомолекулярні полімерні сполуки з тривимірною гелієвою структурою і макропористою структурою, що містять основні або кислотні функціональні групи. Залежно від вмісту функціональних груп (кислі або основні) і напряму реакції обміну (катіонні або аніонні) іоніти поділяють на аніоніти і катіоніти.

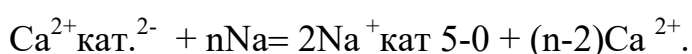
Очищення води методом Na-катіонування передбачає її фільтрацію через катіонітний шар, що містить обмінні катіони натрію. Катіонування - це процес обміну катіонів між речовинами, розчинними у воді, і твердою, нерозчинною речовиною, зануреною в цю воду і званою катіонітом. Коли жорстка вода фільтрується через шар катіонообмінника натрію, катіони натрію (Na) замінюються на катіони кальцію (Ca) і магнію (Mg).

Процес протікає за такими реакціями:



де кат. — складний комплекс катіоніту, нерозчинний у воді, що виконує роль багатовалентного аніоніту.

При Na-катіонуванні змінюється тільки катіонний склад оброблюваної води. Присутні в ній аніони HCO_3^- , SO_4^{4-} , Cl^{5-} , NO_3^- переходять у зм'якшену воду. Отже, лужність не зменшується, що є недоліком Na-катіонного процесу. Відбувається більш-менш повна заміна катіонів Ca^{2+} й Mg^{2+} натрієм (Na), внаслідок чого твердість води знижується до 10...15мкг-екв /кг, сухий залишок трохи зростає. Після заміни всіх обмінних катіонів Na катіонами Ca й Mg катіоніт виснажується, втрачає здатність з'якшувати воду й підлягає регенерації. Процеси іонного обміну оборотні, тому при високій концентрації іонів Na у розчині, реакція йде у зворотному напрямку.



Цей процес використовується для регенерації відпрацьованого катіоніту шляхом витиснення з нього раніше поглинених іонів Ca^{2+} й Mg^{2+} концентрованим розчином NaCl.

До установки ХВО входять паровий підігрівач сирієї води, Na-катіонітові фільтри, насоси хімічищеної води, насоси розчину солі, насоси розпушення фільтрів, солерозчинники й бакове господарство, трубопроводи й арматури.

Паровий підігрівач сирієї води призначений для попереднього підігріву води, що подається на Na-катіонітові фільтри. Підігрів води до температури від 30 до 40°C підвищує ефективність процесу зм'якшення. Конструкція підігрівача сирієї води така, як підігрівача гарячої води, а його технічні характеристики наведені в табл. 2.4.

Установка ХВО включає два Na-катіонітові фільтр типу ФИПа1-0,7-0,6-Na (рис. 2.5,а). Діаметр фільтра 700, а висота – 3320мм. Na-катіонітовий фільтр складається з корпусу, нижнього й верхнього розподільного пристрою, трубопроводів і запірної арматури, пробовідбірною пристрою й фільтруючого завантаження. Корпус фільтра циліндричний, зварений, товщиною 8мм із привареними еліптичними днищами. Він обладнаний двома

лазами: верхнім еліптичним, розміром 420×320мм і нижнім, круглим, діаметром 450мм. На рівні нижнього розподільного пристрою в корпусі фільтра є штуцер діаметром 80мм для гідравлічного вивантаження фільтруючого матеріалу. Верхній розподільний пристрій призначений для підведення оброблюваної води, регенераційного розчину й збору розпушувальної води. Він складається із заглушеного знизу вертикального колектора з отворами, у які радіально вставлені розподільні труби. Розподільні труби мають отвори, розташовані в шаховому порядку у два ряди на кожній трубі. Нижній розподільний пристрій призначений для рівномірного збору фільтрату, регенераційного розчину й розподілу розпушувальної води. Він являє собою колектор діаметром 80 мм із розподільними трубами діаметром 35×5мм, до яких приварюються штуцера, на які нагвинчуються щілинні ковпачки загальною кількістю 40 штук. Нижнє днище фільтра під розподільним пристроєм залито бетоном. Трубопроводи й запірна арматури розташовані по фронті фільтра й дозволяють робити всі необхідні перемикання потоків води й регенераційного розчину. Пробовідбірний пристрій розміщений по фронті фільтра й складається із трубок, з'єднаних із трубопроводами, що підводять воду. Кожний фільтр обладнаний витратомірною діафрагмою камерного типу для вимірювання витрати води. У якості катіоніту застосовують сульфовугілля, що представляє собою роздрібнений і розсіяний по фракціях антрацит, оброблений сірчаною кислотою, а потім повареною сіллю.

Катіоніт у процесі роботи виснажується по ходу води, так що виникають три горизонтальні зони: виснаженого, працюючого й свіжого катіоніту. По мірі роботи фільтра шар виснаженого катіоніту потовщується, зона працюючого катіоніту опускається, а шар свіжого катіоніту стає усе більше тонким, поки не зникає зовсім. Поки є зона свіжого катіоніту, фільтр видає пом'якшену воду зі стабільною залишковою твердістю. Коли зона

					ВКР.144.6241мх.05.02.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		36

свіжого катіоніту зникає, стабільний період роботи фільтра закінчується, і він починає видавати усе більш тверду воду. У момент повного виснаження зони свіжого катіоніту твердість води після фільтру стає рівній твердості початкової води. Для відновлення здатності зм'якшувати воду катіоніт піддають регенерації, відключаючи фільтр і пропускаючи через нього водний розчин речовини-регенератора – солі NaCl. Регенерація відновлює реактивну здатність катіоніту, і завантажений у фільтр катіоніт може прослужити кілька років. Розчин для регенерації катіоніту одержують у солерозчинниках.

Солерозчинник типу С-0,125-0,4 представляє собою циліндричну зварену сталеву посудину діаметром 426 і висотою 1366 мм, у який завантажують кілька шарів кварцу різної крупності. Реагент подається в солерозчинник через люк, що щільно закривається, а вода – через клапан і трубу. Розчинений реагент фільтрується через шар кварцу, надходить у дренажний пристрій, а потім по трубі виводиться із солерозчинника й подається до катіонітового фільтру по трубопроводу. Для періодичного промивання кварцу передбачають подачу води з відведенням її в дренаж.

Для промивання й розпушення Na-катіонітових фільтрів використовуються насоси розпушення фільтрів типу ЗК-9 (2 шт.). Подача насоса 45м³/год., напір 30м вод. ст., ККД 70 %, потужністю 5,4 кВт, кількість обертів 2900 об/хв.

Для перекачування розчину солі на регенерацію фільтрів застосовані насоси типу Х8/30К-2Г (2 шт.). Насос типу Х – хімічний, горизонтальний, консольний з безпосереднім приводом через пружну муфту. Призначений для перекачування хімічно активних і нейтральних рідин густиною до 1850кг/м³, температурою від -40 до +90°С з вмістом твердих включень об'ємною концентрацією не більше 0,1%, розміром не більше 0,2мм. Продуктивність насоса 8м³/год, напір 30м.вод.ст., ККД не менш 43%, частота обертання 2900об./хв. Тип двигуна В-100S2B3, потужність 4кВт, напруга

380В. Насос і двигун установлюються на спільній фундаментній плиті. Всмоктувальний патрубок насоса розташований горизонтально уздовж осі насоса, напірний – вертикально догори. Вал насоса обертається у двох підшипниках та має подвійне торцеве ущільнення. Деталі проточної частини насоса виготовлені з високоякісних нержавіючих сталей 10Х18Н12М8ТЛ й 12Х18Н9Т, кронштейн і плита з чавуну марки СЧ-18-36.

Для хімічищеної води застосовані насоси типу 1,5 К-8 (3шт.). Насоси призначені для перекачування хімічищеної води в деаератор із баків запасу хімічищеної води. Тип насоса – відцентровий, консольний, одноступінчастий з горизонтальним осьовим підведенням води й призначений для подачі води й неагресивних рідин зі схожою з водою в'язкістю з температурою до 85°С. Продуктивність насоса 8м³/год, напір становить 19м вод. ст., число оборотів 2900 об/хв. Споживана потужність - 0,8 кВт, ККД - 63 %, маса насоса – 103 кг.

Бакове господарство включає сталевий резервуар для зберігання запасу хімічищеної води об'ємом 6м³. Бак має два люки для проведення огляду та ремонту – верхній і бічний діаметром 800мм. Зовні бак вкритий тепловою ізоляцією. Усередині баку установлений протекторний захист від електрохімічної корозії й нанесене антикорозійне покриття. Бак має дренажну засувку діаметром 80мм і переливний трубопровід діаметром 108мм.

Для підігріву хімічищеної води відсепарованою у сепараторі безперервного продування водою встановлено водо-водяний теплообмінник, технічні характеристики якого наведені в табл. 2.8. Теплообмінник представляє собою горизонтальний апарат жорсткої конструкції, основними вузлами якої є корпус з трубним пучком і дві розподільчі камери для води. Корпус виконаний з прокату або катаної труби (сталь 20). Торці корпусу зварені з трубними решітками. У корпусі встановлені горизонтальні і вертикальні перегородки, які

					ВКР.144.6241мх.05.02.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		38

розміщені між передньою і задньою трубними решітками і утворюють чотири ходи води у між трубному просторі. Трубний пучок складається з прямих латунних трубок (латунь ЛО-70-1). Кінці трубок розвальцьовані у трубних дошках. Розподільні камери складаються з еліптичного і плоского днищ, обичайки, плоского фланцю і перегородок.

Таблиця 2.8 Технічні характеристики підігрівача хімічно очищеної води

Показник	Од. виміру	Значення
Параметри гріючої води:		
тиск	МПа	0,12
температура на вході	°С	104
температура на виході	°С	60
Параметри води, що нагрівається:		
тиск	МПа	0,8
на вході	°С	40
на виході	°С	48
Площа поверхні нагріву	м ²	1,6
Витрата води на розрахунковому режимі:		
гріючої	т/год.	2,5
що нагрівається	т/год.	10
Кількість трубок	—	40
Розмір трубки:		
діаметр	мм	16
довжина	мм	1700
Кількість ходів	—	4
Маса з водою	кг	197

Камери закріплені болтами до трубної решітки. Передня опора апарату нерухома і закріплена фундаментними болтами, задня опора має уздовж поздовжньої вісі апарату овальні отвори для компенсації теплових розширень. Схема руху теплоносіїв протитечійна. Гріюча вода (вода з сепаратора безперервного продування) надходить до корпусу, омиває зовнішню поверхню трубок, віддаючи теплоту води, що нагрівається.

Для видалення стоків із дренажного приямка котельні встановлений дренажний насос НЦС-3 продуктивністю $36\text{ м}^3/\text{год}$, напір $15,5\text{ м вод.ст.}$, з електроприводом типу АТ2-32-2, потужністю 4 кВт (2 шт.). Насос НЦС-3 – відцентровий, самовсмоктувальний, одноступінчастий, одnobічного входу. Корпус насоса має спіральну й напірну камери, з'єднані між собою отворами, через які відбувається циркуляція рідини, а в момент всмоктування – повітряно-водяної суміші. Насос заповнюється водою через отвір у верхній частині корпусу, вал насоса встановлений на двох радіальних шарикопідшипниках.

2.2.5 Конденсатна система

Конденсатна система призначена для збору конденсату, який надходить з виробництва, та подачі його до деаератора. До складу конденсатної системи входять конденсатний бак об'ємом 7 м^3 , конденсатні насоси, трубопроводи та арматура. Конденсатні насоси (2шт.) типу Кс-12-50 одноступінчасті відцентрові призначені для подачі води з конденсатного баку до деаератора (табл. 2.9).

Таблиця 2.9 Технічні характеристики конденсатного насоса Кс-12-50

Показник	Од. виміру	Значення
Подача	$\text{м}^3/\text{год}$	12
Напір	МПа	0,5
Потужність	кВт	5,5
Габарити:		
довжина	мм	1400
ширина	мм	410
висота	мм	850
Маса агрегату	кг	305

2.2.6 Тягодутні машини

Повітря для горіння подається каналними вентиляторами (2 шт.). Вентилятор нагнітач ВДН-9 - відцентровий, одноступінчастий (рис. 2.3). Канальний вентилятор складається з обертового корпусу, робочого колеса та направляючого пристрою. Ротор складається з диска з привареними або заклепаними по колу лопатями. Диск закріплений на втулці, що проходить через вал. При обертанні ротора повітря з вулиці (влітку) або з котельні (взимку) через повітропровід захоплюється лопатями, відкидається відцентровою силою до їх країв і під дією створюваного тиску проштовхується у вентиляційний канал і далі в топку котла. У центрі ротора створюється розрідження, в яке постійно надходить повітря ззовні.

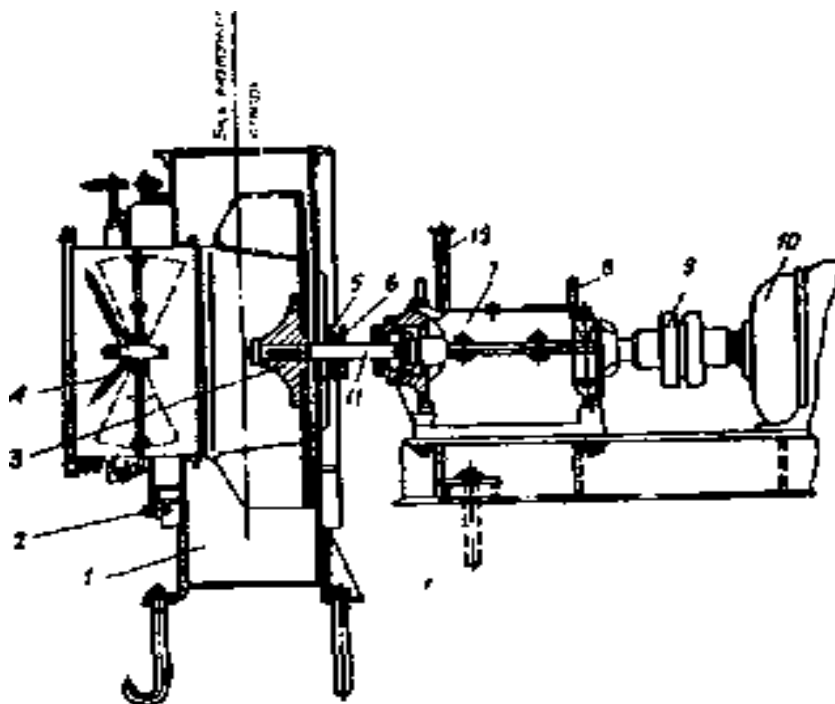


Рис. 2.3 Дуттьовий вентилятор

1 – завиток; 2 – прокладка; 3 – робоче колесо; 4 – напрямний апарат;
5, 6 – сальники; 7 – ходова частина; 8 – рим-болт; 9 – муфта; 10 –
електродвигун; 11 – вал; 12 – термометр; 13 – вказівник рівня масла

Для видалення відпрацьованих газів з топки котлів і забезпечення необхідного розрідження в топці (30Па) встановлюються димососи. Димосос ДН-9 (2 шт.) - відцентровий, одноступінчастий. Кількість лопатей ротора 32; частота обертання – 1500 хв^{-1} ; продуктивність – $14800 \text{ м}^3/\text{год}$. Він складається з тих же частин, що і канальний вентилятор. Між економайзерами котла і димоходом встановлені димососи. За конструкцією лопатей і кришки димососів вони виготовлені з більш міцного матеріалу в порівнянні з канальними вентиляторами. Під час роботи, коли необхідно збільшити або зменшити кількість повітря або тягу, використовується направляючий пристрій, який монтується на всмоктуючому патрубку витяжного або канального вентилятора. Направляючий пристрій складається з направляючої і регулювальних лопатей. За допомогою спеціального механізму лопаті повертаються під однаковим кутом і таким чином плавно регулюють подачу або тягу повітря.

Вентилятор (рис. 2.3) і димосос (рис. 2.4) складаються з таких елементів: електроприводу, приводної системи, крильчатки, змійовика, направляючого пристрою. В електроприводі використовуються асинхронні електродвигуни, встановлені на загальній рамі з шасі і з'єднані з ним за допомогою кільцевої муфти.

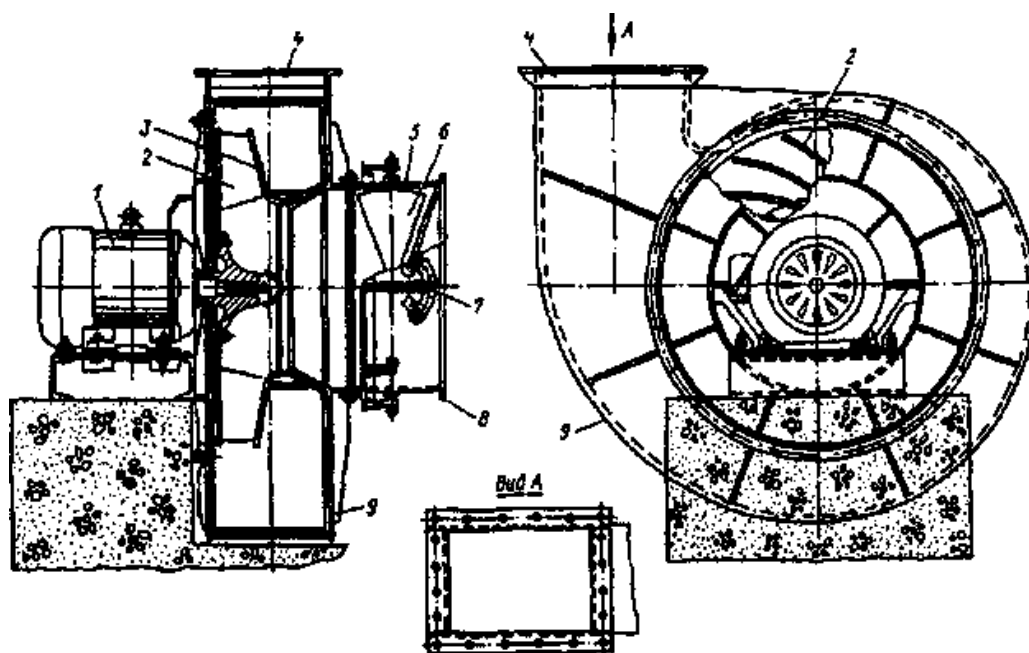


Рис. 2.4 Димосос

1 – електродвигун; 2 – робочі лопатки; 3 – робоче колесо; 4 – фланець відвідного патрубку; 5 – напрямний апарат; 6 – лопатки напрямного апарата; 7 – приводна рукоятка повороту лопаток напрямного апарата; 8 – фланець всмоктувального патрубку; 9 – завиток

Замість електродвигунів димососа і вентилятора встановлена кнопка аварійної зупинки. Шасі призначене для передачі крутного моменту від електродвигуна до ротора і складається з литого корпусу, вала, двох підшипників і пружної муфти. У корпусі шасі є заповнена маслом порожнина. Робочі колеса поздовжніх машин зварної конструкції. Основні технічні параметри димососів і каналних вентиляторів, що встановлюються в котельні, наведені в таблиці 2.10.

Таблиця 2.10 Технічні характеристики димососів і дуттьових вентиляторів

Технічні характеристики	Найменування пристрою	
	Димосос	Дуттьовий вентилятор
Марка	ДН-9	ВДН-9
Тип пристрою	відцентровий	відцентровий
Напір, кПа	1,78	2,78
Подача, м ³ /год.	14,65×10 ³	14,65×10 ³
ККД, %	83	83
Діаметр робочого колеса, мм	900	900
Температура середовища, °С	не більше 250	не більше 80
Тип електродвигуна	4А-160S6	4А-160S6
Напруга, В	380	380
Потужність, кВт	11	11
Кількість обертів, об./хв.	1000	1000
Маса (без електродвигуна), кг	536	466
Спосіб регулювання	осьовий напрямний апарат	осьовий напрямний апарат

Висновок з розділу

Відпрацьовані гази котлів виводяться в димохід висотою 30 м. Висота димової труби забезпечує розсіювання шкідливих речовин у приземному шарі атмосфери нижче гранично допустимих концентрацій.

					ВКР.144.6241мх.05.03.ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
					Розрахунковий розділ	Літ.	Арк.
Студент		Казенов С.С.					Аркушів
Керівник		Корнієнко В.С.					
Консульт.						НУК	

3 РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ

3.1 Визначення витрати електроенергії на власні потреби котельної

Котельня споживає електроенергію на власні потреби: привод допоміжних механізмів (живильні, мережеві, конденсатні насоси і т.д.), дуття, вентиляцію, освітлення, водоочищення, автоматику й інших потреби. У табл. 3.1 наводяться дані по основним споживачам електроенергії установки.

Таблиця 3.1 Основні споживачі електроенергії котельної

Найменування споживача	Номинальні дані			Споживана потужність, кВт		
	Кіль-ть, i	N_i	N_{Σ}	K_3	K_0	$N_{сп}$
Насоси живильні	4	9	36	0,7	0,5	12,6
Насоси мережеві	3	22	66	0,59	0,67	26,1
Насоси гарячої води	2	2,65	5,3	0,75	0,5	1,97
Насоси хімічованої води	3	0,8	2,4	1	0,33	0,8
Насоси розпушення фільтрів	2	5,4	10,8	1	0,5	5,4
Насоси розчину солі	2	4,0	8	1	0,5	4,0
Насоси дренажні	2	4,0	8	1	0,5	4,0
Насоси конденсатні	2	5,5	11	0,6	0,5	3,3
Димосос ДН-9	2	11	22	1	1	22
Дуттьовий вентилятор ВДН-9	2	11	22	1	1	22
Освітлення та САР						10
Всього						112,2

3.2 Розробка теплової схеми котельної

У котельній встановлені два котли ДЕ-10-14, які працюють на газоподібному паливі (резервне паливо – мазут). Котли генерують насичену пару тиском 1,4МПа. За котлами встановлені чавунні економайзери, до яких надходить живильна вода з температурою 104°C після деаератора.

Насичена пара з котлів надходить у парозбірник, звідки пара після редуційно-охолоджувального пристрою (РОП) спрямовується у вентиляційно-відвідну установку та на теплові пункти.

Для підготовки водопровідної води для системи опалення передбачений пункт підігріву водопровідної води. Зворотна вода з мережі надходить на фільтр, звідки за допомогою мережевих насосів подається в паровий теплообмінник. Мережева установка працює за температурним графіком 90...70°C. Для приготування гарячої води температурою 70°C передбачений водопідігрівний пункт. У зв'язку з тим, що 20% конденсату не повертається від промислових споживачів, котли живляться сумішшю конденсату і хімічищеної води. Згідно з нормами якості живильної води, жорсткість водоживильних трубчастих котлів з тиском 1,4 МПа не повинна перевищувати 20 мкг-екв/кг. Пом'якшення води здійснюється за допомогою водоочисної установки з катіонуванням Na за одноступінчастою схемою. Після нагрівання до 30°C в парообміннику сира вода надходить в установку пом'якшення води, а хімічищена — в деаераційну колону. Хімічно очищена вода дегазується в деаераційній колоні, яка потім збирається в деаератор, звідки живильними насосами направляється в котли. Для деаерації живильної води передбачений термодеаератор атмосферного типу. Пара з деаератора використовується для підігріву хімічно очищеної води.

Конденсат від виробничих споживачів надходить у конденсатом, звідки за допомогою конденсатних насосів подається в деаератор. Постійне очищення котлів забезпечується установкою сепараторів безперервної очистки і

					ВКР.144.6241мх.05.03.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		47

використанням киплячої вторинної пари в деаераторі, а відокремлена вода використовується для підігріву хімічно очищеної води. Також передбачена періодична чистка котлів. Дренажні води з котлів і резервуарів (конденсат і деаерація), а також зі станції пом'якшення води і резервуара ГВП відводяться в муловідстійний колодязь.

Принципова теплова схема характеризує сутність основного технологічного процесу перетворення енергії та використання теплоти робочого тіла в установці. Це умовне графічне зображення основного і допоміжного устаткування, з'єднаних лініями трубопроводів робочого органу відповідно до послідовності його руху в установці.

Основною метою розрахунку теплової схеми котельні є:

- визначення загальних теплових навантажень, які включають зовнішні навантаження та витрати тепла на власні потреби, та розподіл цих навантажень між водяною та паровою частинами котельні з метою обґрунтування вибору основного обладнання;
- визначення всіх теплових і масових потоків, необхідних для вибору допоміжних пристроїв і визначення діаметрів трубопроводів і арматури;
- визначення вихідних даних для подальших техніко-економічних розрахунків (річне виробництво тепла, річне споживання палива тощо).

Розрахунок теплової схеми дозволяє визначити загальну теплову потужність котельні установки.

З трьох встановлених котлів два працюють в системі опалення та вентиляції, один реагує на відсутність гарячої води. В опалювальний сезон використовуються всі котли, влітку - один.

Теплова схема котельної наведена на кресленні.

					ВКР.144.6241мх.05.03.ПЗ	Лист
						48
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

3.3 Визначення параметрів енергоносіїв

Розрахунок графіку температур у зовнішніх мережах ОВ

Температура води в трубопроводі, що подає:

$$\tau_1 = t_{\text{вн}} + (\tau_{\text{ср}} - t_{\text{вн}}) (t_{\text{вн}} - t_{\text{н}}) / (t_{\text{вн}} - t_{\text{но}})^{0,76} + (\tau_1 - \tau_{\text{пр}}) (t_{\text{вн}} - t_{\text{н}}) / (t_{\text{вн}} - t_{\text{но}}),$$

де $t_{\text{вн}}$ – внутрішня температура в приміщеннях (приймаємо 20 °С);

$t_{\text{но}}$ – розрахункова температура зовнішнього повітря;

$t_{\text{н}}$ – поточна температура зовнішнього повітря;

$\tau_{\text{пр}}$ – середня температура нагрівальних приладів.

$$\tau_{\text{ср}} = (\tau_1 + \tau_{10}) / 2,$$

де τ_1 – температура води у трубопроводі, що подає;

τ_{10} – температура води у зворотному трубопроводі.

$$\tau_{\text{ср}} = (95 + 70) / 2 = 82,5 \text{ °С}.$$

Температура води у зворотному трубопроводі при $t_{\text{н}}$ визначається як

$$\tau_{20} = \tau_1 - \Delta\tau (t_{\text{вн}} - t_{\text{н}}) / (t_{\text{вн}} - t_{\text{но}}),$$

де $\Delta\tau$ – різниця температур у мережі $\Delta\tau = 95 - 70 = 25 \text{ °С}$.

Результати розрахунку зведені в таблицю 3.2. Результати розрахунку представлені на графіку (рис. 3.1).

Таблиця 3.2 Розрахунок температур у зовнішніх мережах ОВ

Величина	Температура при $t_{\text{н}}$, °С							
	-32	-20	-10	-5	0	5	15	18
τ_{20}	115	95	77	68	59,2	50,4	32,2	30
τ_{10}	-81	70	58,5	53	47,5	42	31	30

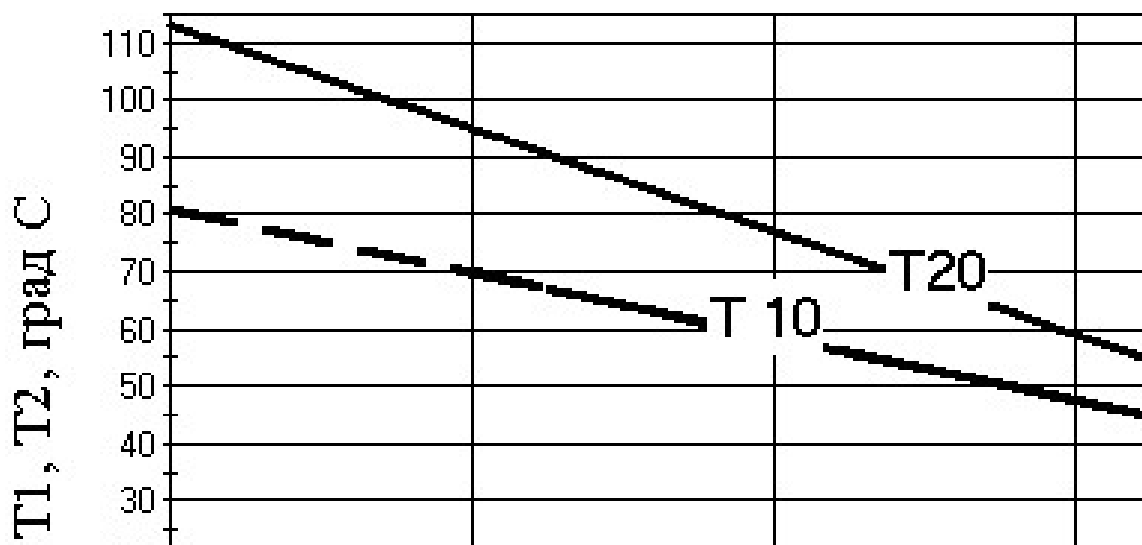


Рис. 3.1 Графік температур у зовнішніх мережах ОВ

3.4 Розрахунок графіка теплопостачання

Розрахунок теплових навантажень, на режимах відмінних від розрахункових

$$Q_{от}^i = Q_{от}^p (t_{вн} - t_{н}') / (t_{вн} - t_{но}),$$

де $Q_{от}^p$ - розрахункове навантаження.

Літнє теплове навантаження системи гарячого водопостачання

$$Q_{ГВС}^л = 0,655 \cdot Q_{ГВС}^з,$$

де $Q_{ГВС}^з$ - зимова теплове навантаження.

Результати розрахунку зведені в таблицю 3.3. Графік теплопостачання представлено на рис. 3.2.

Таблиця 3.3 Розрахунок теплових навантажень

Температура $t_n, ^\circ\text{C}$	Теплове навантаження t_n , МВт				
	$Q_{от}$	$Q_{гвс}$	$\Sigma Q = Q_{от} + Q_{гвс}$	$Q_{пот} = 0,05 \Sigma Q$	$Q_{тс} = \Sigma Q + Q_{от}$
-20	4,83	2,17	7,000	0,350	7,350
-10	3,625	2,17	5,795	0,290	6,085
-5	3,020	2,17	5,190	0,260	5,450
0	2,42	2,17	4,585	0,230	4,815
5	1,81	2,17	3,980	0,200	4,180
15	0,605	2,17	2,775	0,140	2,195
Літо	—	1,42	1,420	0,070	1,490

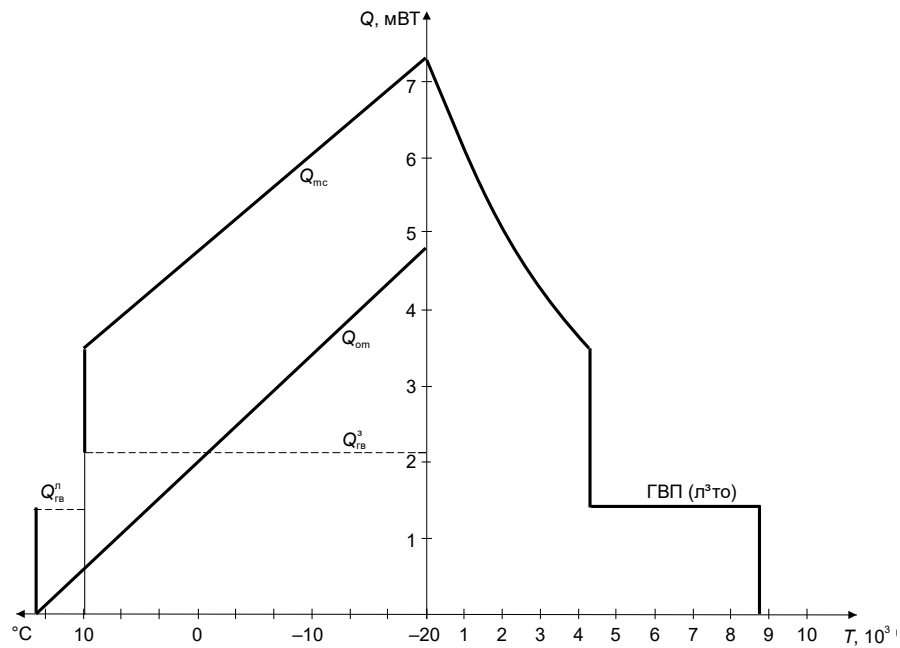


Рис. 3.2 Графік теплопостачання

3.5 Підбір обладнання котельної

Згідно з розрахунками максимальне теплове навантаження складає 7,35МВт. Встановлені на котельній котли ДС-10-14ГМ у кількості 3 шт.

(один є резервним), які забезпечують розрахункове навантаження котельні. В результаті збільшення витрати води, ставимо деаератор типу ДА-25.

Підбір мережевих насосів

Мережеві насоси вибирають відповідно до витрати мережної води.

Витрата мережної води $G_{с.в.}=1,03\text{т/год.}$

Необхідна продуктивність мережних насосів, наведена до щільності $\rho_{в}=1000\text{ кг/м}^3$, м/год.

$$G_{сн}=G_{с.в.}/\rho=1,03/0,978=1,13$$

Напір мережних насосів вибирається з умови подолання гідравлічного опору теплотраси при розрахунковій максимальній витраті води, опору котельні й сполучних трубопроводів з 10% запасом.

$$H^c_p=1,1\text{ Н}$$

$$H = 1,3\text{МПа,}$$

$$H^c_p=1,1 \cdot 1,3=1,43\text{МПа}$$

Приймаємо до установки 2 мережних насоси ВК 1/16: електродвигун 4АМХ80У4, подача $3,6\text{м}^3/\text{год.}$, напір 1,6МПа, частота обертання 1450^{-1} , потужність $N=1,5\text{ кВт.}$

Підбір живильних насосів

У котельнях встановлюються живильні насоси числом не менш двох з незалежним приводом.

Живильні насоси підбирають відповідно до продуктивності й напору.

Продуктивність всієї котельні, т/год.

$$Q_{пит}=1,1 \cdot D,$$

де D - сумарна паропроductивність котельні, $D=19,04\text{т/год.}$

$$Q_{пит}=1,1 \cdot 19,04 = 21,44\text{ т/год.}$$

					ВКР.144.6241мх.05.03.ПЗ	Лист
						52
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Напір, що повинні створювати живильні насоси для парових котлоагрегатів, МПа

$$H_{\text{ПНТ}} = 1,15 \cdot (P_6 - P_d) + H_{\text{СЕТ}},$$

де P_6 - найбільший можливий надлишковий тиск у котлоагрегаті,
 $P_6 = 1,3 \text{ МПа}$;

P_d - надлишковий тиск у деаераторі, $P_d = 1,2 \text{ МПа}$;

$H_{\text{СЕТ}}$ - опір усмоктувального й нагнітаючого трубопроводів, приймаємо
 $H_{\text{СЕТ}} = 0,15 \text{ МПа}$

$$H_{\text{НАС}} = 1,15(1,3 - 1,2) + 0,15 = 1,51 \text{ МПа}$$

Приймаємо до установки 2 живильних насоси ЦВК 5/125, один з яких є резервним: електродвигун 4АМ180М2, подача $18 \text{ м}^3/\text{год.}$, напір $1,25 \text{ МПа}$, частота обертання 2950^{-1} , потужність $N = 30,8 \text{ кВт.}$

Підбір дуттьового вентилятора

Необхідна розрахункова продуктивність вентилятора визначається з урахуванням умов усмоктування.

Розрахункова продуктивність, $\text{м}^3/\text{год.}$

$$Q_p = \beta_1 \cdot V \cdot 3600 = 1,05 \cdot 3,2 \cdot 3600 = 12100 \text{ м}^3/\text{год.}$$

де V – витрата повітря;

β_1 – коефіцієнт запасу по продуктивності.

Приймаємо до установки вентилятор дуттьовий відцентровий лівого обертання Л0 ВДН-9, продуктивністю $14650 \text{ м}^3/\text{год.}$, напором $2,78 \text{ кПа}$ з електродвигуном 4А160S6В3 потужністю 11 кВт , частота обертання 1000^{-1}

					ВКР.144.6241мх.05.03.ПЗ	Лист
						53
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Підбір димососа

Необхідна розрахункова продуктивність димососа визначається з урахуванням умов усмоктування.

Розрахункова продуктивність, м³/год.:

$$Q_p = \beta_2 \cdot V \cdot 3600 = 1,05 \cdot 6,43 \cdot 3600 = 24305 \text{ м}^3/\text{год.}$$

де V – витрата газів;

β_2 – коефіцієнт запасу по продуктивності.

Приймаймо до установки димосос відцентровий лівого обертання Л270 ДН-11,2 продуктивністю 27650 м³/год., напором 2,76 кПа з електродвигуном 4А300М6 потужністю 22 кВт, частота обертання 1000 об⁻¹.

Підбір деаератора

У нових виробничих та виробничо-опалювальних котельнях з паровими котлоагрегатами передбачається установка атмосферних деаераторів типу ДА.

Підбираємо деаератор по його продуктивності, т/год., $G_d = 25$ т/год.

Приймаємо до установки деаератор ДА-25 з характеристиками:

продуктивність, т/год. 25

тиск, МПа 1,2

ємність деаераторного бака, м³ 25

поверхня охолоджувача випару, м² 2

3.6 Розрахунок системи газопостачання котельної

У зв'язку зі збільшенням витрати газу розрахуємо витрати тиску у системі газопостачання на котельній.

Перша гілка

Таблиця 3.4 Опір гілки

Приналежність	Кількість	Коефіцієнт місцевого опору ξ	$\Sigma \xi$
Клапан	7	3	21
Кут 90°	8	0,3	2,4
Лічильник	1	2,5	2,5
Трійник	10	1,5	15
Фільтр	1	1,5	1,5
Всього			42,4

$$\frac{P_1^2 - P_2^2}{l} = 1,4 \cdot 10^{-5} \left(\frac{n}{d_1} + 1922 \cdot \frac{\nu \cdot d_1}{Q_{\text{сум}}} \right) \cdot \frac{Q_{\text{сум}}^2}{d_1^5 \cdot \rho}$$

де P_1 - абсолютний тиск газу на початку газопроводу, МПа;

P_2 - те саме в кінці газопроводу, МПа;

l - розрахункова довжина газопроводу постійного діаметру, м;

ρ - густина газу, кг/м³, дорівнює 0,10132МПа при 0°C;

n - еквівалентна абсолютна шорсткість внутрішньої поверхні стінки сталевих труб, дорівнює 0,02;

Q - витрата газу, м³/год;

d - діаметр газопроводу, см;

ν - коефіцієнт кінематичної в'язкості, м²/с, дорівнює $14,3 \cdot 10^{-6}$ м²/с.

$$\alpha_1 = 1,4 \cdot 10^{-5} \left(\frac{n}{d_1} + 1922 \frac{\nu \cdot d}{Q_{\text{сум}}} \right) \cdot \frac{Q_{\text{сум}}^2}{d_1^5} \cdot \rho = 2,3 \cdot 10^{-7}$$

Для зовнішніх надземних газопроводів розраховую розрахункову довжину

$$l = l_1 + \xi_1 \cdot ld$$

де l_1 - фактична довжина газопроводу, м;

ξ - сума коефіцієнтів місцевих опорів;

ld- еквівалентна довжина прямолінійної ділянки газопроводу, м.

$$l=109,20 \text{ м}$$

Визначити режим течії газу:

$$l=109,2+42,4+0,132=152\text{м}$$

$$\frac{(P_1^2) - [(P_2)^2]}{l} = a;$$

$$(P_1^2) - (P_2^2) = al;$$

$$P_{12}^2 = P_1^2 - al \Rightarrow P_{12} = \sqrt{((P_1^2)) - a \cdot l};$$

$$P_1=0,142\text{МПа}$$

$$P_1^1 = \sqrt{0,142^2 - 2,3 \cdot 10^{-7} \cdot 152} = 0,141\text{МПа}$$

Швидкість: $V_1 = \frac{Q_{\text{сум}}}{S} = \frac{1080}{0,02} = 54000\text{м/год.}=14,9 \text{ м/с}$

Друга гілка

Таблиця 3.5 Опір гілки

Приналежність	Кількість	Коефіцієнт місцевого опору ξ	$\Sigma \xi$
Клапан	10	3	30
Кут 90^0	11	0,3	3,3
Лічильник	-	-	-
Трійник	1	1,5	1,5
Фільтр	-	-	-
Всього			34,8

$$Q_2 = \frac{1080}{3} = 360\text{м}^3/\text{год.} \quad (\text{на 3 котла});$$

$$\alpha_2 = 1,4 \cdot 10^{-5} \left(\frac{n}{d_2} + 1922 \frac{\nu \cdot d_2}{Q_2} \right) \cdot \frac{Q_2^2}{d_2^5} \cdot \rho = 1,4 \cdot 10^{-5} \left(\frac{0,01}{10} + 1922 \frac{14,3 \cdot 10^{-6} \cdot 10}{360} \right) \cdot x$$

$$x \frac{360^2}{10^5} \cdot 0,10132 = 0,3 \cdot 10^{-7}$$

$$l_2 = l_1 + \xi \cdot l d_2$$

Довжина газопроводу: $l_1=109,2\text{м}$.

$$ld_2 = \frac{d_2}{11\left(\frac{n}{d_2} + 1922 \frac{\nu \cdot d_2}{Q_2}\right)} = \frac{10}{11\left(\frac{0,01}{10} + 1922 \frac{14,3 \cdot 10^{-6} \cdot 10}{360}\right)} = 4,54 \text{ м}$$

$$\text{Re} = 0,0354 \cdot \frac{Q_2}{d_2 \cdot \nu} = 0,0354 \cdot \frac{360}{10 \cdot 14,3 \cdot 10^{-6}} = 89118,8 > 4000 \quad - \quad \text{режим}$$

турбулентний

Довжина газопроводу: $l_2=4,54\text{м}$

$$\frac{P_1^2 - P_2^2}{l} = a$$

$$P_1^2 - P_2^2 = al$$

$$P_1 = 0,141 \text{ МПа}$$

$$P_1^1 = \sqrt{0,142^2 - 0,3 \cdot 10^{-7} \cdot 4,54} = 0,141 \text{ МПа}$$

$$P_2^2 = 0,141 \text{ МПа}$$

$$P_2 = \sqrt{0,142^2 - 0,3 \cdot 10^{-7} \cdot 4,54} = 0,141 \text{ МПа}$$

Швидкість: $V_1 = \frac{Q_2}{S} = \frac{360}{0,0078} = 46153,8 \text{ м/год.} = 13 \text{ м/с}$

Перевірка: $\frac{0,142 - 0,141}{0,142} = 0,7 \%$

Тиск достатній перед котлами для роботи пальників.

3.7 Розрахунок натрій-катіонітних фільтрів

У зв'язку з розширенням житлової зони змінилася ефективність пари в котельні, що призводить до збільшення витрат води на фільтри. Тому слід перевірити працездатність старої станції хімводоочищення (перебудувати станцію або залишити її без змін). Розрахунок зводимо в табл. 3.6.

					ВКР.144.6241мх.05.03.ПЗ	Лист
						57
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Таблиця 3.6 Натрій-катіонітні фільтри другого ступеня

Параметри	Формула	Перша черга	Друга черга
Продуктивність фільтрів Q_{NA2} , м ³ /год		0,78	0,84
Діаметр фільтра, мм		1000	1000
Висота шару катіоніту (сульфовугілля) H_{cl} , м		2,5	2,5
Площа фільтрування f_{NA2} , м ²		0,76	0,76
Об'єм катіоніту V_k , м ³		7,75	7,75
Кількість працюючих фільтрів а, шт.		1	1
Кількість резервних фільтрів, шт.		1	1
Загальна жорсткість фільтрату (після першої ступені натрій-катіонування) коли поступає на другу ступінь $J_p^{ост1}$, мг-екв/л		0,1	0,1
Жорсткість фільтру після другої ступені катіонування $J_p^{ост2}$, мг-екв/л		0,02	0,02
Швидкість фільтрування ω_{NA2} , м/год.	$\frac{Q_{NA2}}{f_{NA2}}$	1,02	1,1
Число регенерацій фільтру на добу n_{NA2}	$\frac{Q_{NA2} * J_0^{ост-1} * 24}{V_k * E_{p-NA2}}$	0,001	0,002
Робоча обмінна здатність сульфовугілля E_{p-NA2} при питомій витраті солі $q_c=350$ г/г-екв		300	300
Витрата 100%-ї солі на одну регенерацію Q_c , кг	$\frac{E_{p-NA2} * V_k * q_c}{1000}$	698	698
Витрата міцного (26%-ї) суміші на одну регенерацію Q_{np} , кг	$\frac{Q_c * 100}{1000 * 1,2 * 26}$	2,2	2,2
Щільність 26%-ї суміші солі при 20°C, т/год.		1,2	1,2

Параметри	Формула	Перша черга	Друга черга
Витрата технічної солі на регенерацію фільтру $Q_{тс}$, кг/добу	$\frac{Q_c * n_{Na_2} * a * 100}{93}$	1,0	1,5
Витрата води на регенерацію фільтру $Q_{взр.}$, м ³		5,5	5,5
Витрата води на приготування регенераційної суміші $Q_{рр}$, м ³	$\frac{Q_p * 100}{1000 * b * \rho}$	13	13
Витрата води на обмивку катіоніту від продуктів регенерації $Q_{от}$, м ³		7,6	7,6
Витрата води на одну регенерацію з урахуванням обмивних вод на розпушування $Q_{сн}$, м ³		20,6	20,6
Витрата води на одну регенерацію у середньому за добу, м ³ /добу		0,10	0,12

Висновок з розділу:

Розрахунки показують, що система водопідготовки дозволяє очистити необхідну кількість води без заміни установки. Кількість солі рекомендовано збільшити до 1,78 кг/м³.

					ВКР.144.6241мх.05.04.ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
					Дослідницький розділ			Літ.	Арк.	Аркушів	
Студент	Казенов Є.Є.										
Керівник	Корнієнко В.С.										
Консульт.								НУК			
								60			

4 ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ. Дослідження парових котлів

4.1 Шляхи підвищення ефективності парових котлів

Теплогенератори (парові та водогрійні котли) малої та середньої потужності є одними з основних споживачів природного газу в Україні. Перший виробляє пару для промислових потреб і для теплопостачання систем опалення та вентиляції, до складу другого входять як парові, так і водогрійні котли. Гаряча вода як теплоносій витрачається на виробництво гарячої санітарної води, теплопостачання радіаторів вентиляційних установок, опалення приміщень, теплопостачання повітряних завіс тощо.

При виборі напрямків енергозбереження необхідно звернути увагу на основних споживачів палива: котельні та промислові топки та системи розподілу теплової енергії – теплові мережі. Зважаючи на те, що потужність цих систем може досягати мегават, зниження споживання енергії навіть на кілька відсотків дозволить отримати значний економічний ефект.

Розглянемо структуру енергетичних потоків системи «теплогенератор» - «теплова мережа» - «споживач (ТТС)» (рис. 4.1).

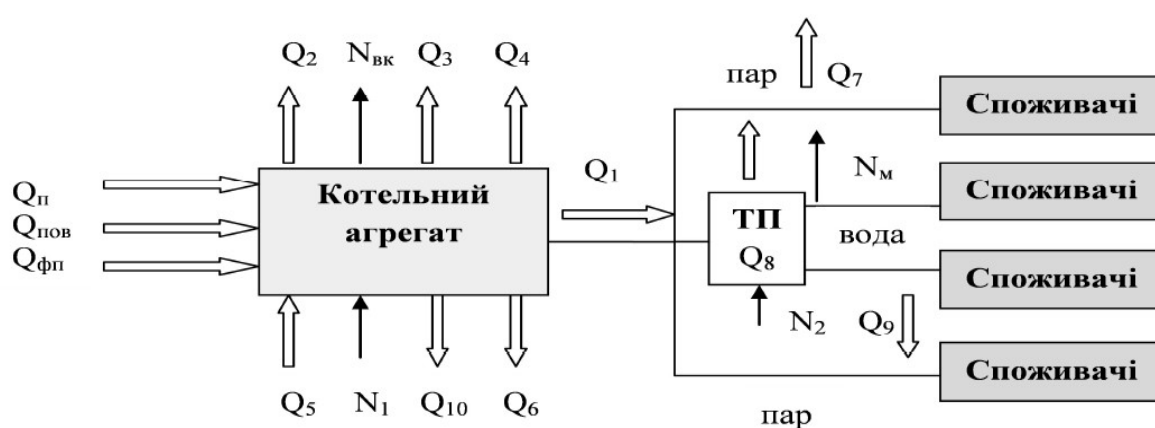


Рис. 4.1 Структура енергетичних потоків системи
«генератор тепла» – «теплова мережа» – «споживач»

В даній роботі в котельні встановлені парові котли ДЕ-10-14 для потреб споживачів в тепловій енергії. Конструкція цих котлів та їх основні елементи наведені в розділі 2, загальний вигляд котла на кресленні.

Котельний агрегат працює на органічному паливі, паливо вносить в агрегат наступне тепло: $Q_{\text{п}}$ – нижня теплота спалювання, Дж; $Q_{\text{пов}}$ – тепло, що вноситься з повітрям, Дж; $Q_{\text{фп}}$ – фізична теплота палива як тіла. У котельний агрегат може повертатися конденсат і вносити теплоту Q_5 .

Витратна частина теплового балансу системи складається з наступних складових, Дж:

Q_1 – корисне тепло;

Q_2 – втрати теплової енергії від хімічної неповноти згорання палива;

Q_3 – втрати теплової енергії від механічної неповноти згорання;

Q_4 – втрати тепла з димовими газами;

Q_6 – тепло, що виводиться з шлаком та золою;

Q_7 – втрати тепла у парових мережах теплопостачання;

Q_8 – втрати тепла у теплових пунктах;

Q_9 – втрати тепла у водяних мережах теплопостачання;

Q_{10} – втрати тепла у навколишнє середовище від котлів.

Електричний баланс складається з надходжень енергії і її витрат. Надходження енергії: N_1 , N_2 – відповідно енергія, що підведена до котельні і до теплового пункту, Дж. Витрата частина складається з наступних величин: $N_{\text{вк}}$, $N_{\text{м}}$ – відповідно витрати електричної енергії котельні і мереж, Дж.

Складання комплексного енергетичного балансу дозволяє визначити основні напрямки енергозбереження в системах ГТС. Основною метою енергозберігаючої політики є зменшення видаткової частини енергетичних балансів.

Слід зазначити, що в першу чергу підприємства-замовники зацікавлені в удосконаленні вже встановлених котлів, а не в будівництві нових. Тому перспективним напрямком оптимізації є технологічне вдосконалення котлів,

спрямоване на усунення причин і механізмів неекономічного спалювання палива та утворення шкідливих речовин.

Характерною особливістю впровадження технологій теплозбереження та захисту навколишнього середовища на котлах малої та середньої потужності є їх жорстке обмеження капітальних втрат. Тому виправданим є прийняття рішень щодо заміни існуючих технологічних пристроїв на нові з метою досягнення сучасних показників ефективності спалювання палива та захисту повітряного простору.

4.2 Розрахунок котла

Для визначення шляхів вдосконалення парового котла розглянемо його тепловий баланс

4.2.1 Вихідні дані для розрахунку

Початковими даними до теплового розрахунку парового котла ДЕ-10-14ГМ є

Паропроодуктивність котла, т/год.	$D=10$
кг/с,	$D := 2.778$
Тиск пари у пароводяному барабані (абсолютний), МПа	$p := 1.4$
Температура живильної води перед економайзером, °С,	$t_{ж.в} := 100$
Температура насиченої пари, °С,	$t_{н.п} := 195$
Нижча теплота згоряння сухого газу, кДж/м ³ ,	$Q_{id} := 35290$

4.2.2 Конструктивні характеристики парового котла

Топка

Об'єм топкової камери, м^3 ,

$$V_T := 17.4$$

Поверхня стін топкової камери, м^2 ,

$$F_{\text{ст.т}} := 41.5$$

Променесприймальна поверхня, м^2 ,

$$F_{\text{пр.т}} := 39$$

Конвективний (котельний) пучок

Поверхня нагріву, м^2 ,

$$F_{\text{к.п}} := 110$$

Діаметр труб, м,

$$d_{\text{к.п}} := 0.051$$

Крок труб, м: поперечний

$$s_{1\text{к.п}} := 0.110$$

поздовжній

$$s_{2\text{к.п}} := 0.09$$

Розташування труб

коридорне

Переріз для проходу газів, м^2 ,

$$f_{\text{к.п}} := 0.41$$

4.2.3 Розрахунок об'ємів повітря і продуктів згоряння

Склад робочої маси, %:

$$\begin{aligned} \text{CH}_4 &:= 98.4 & \text{C}_2\text{H}_6 &:= 0.1 & \text{C}_3\text{H}_8 &:= 0 & \text{C}_4\text{H}_{10} &:= 0 & \text{C}_5\text{H}_{12} &:= 0 & \text{N}_2 &:= 1.2 \\ \text{CO}_2 &:= 0.3 \end{aligned}$$

Вологовміст газоподібного палива, $\text{г}/\text{м}^3$:

$$d_{\text{пал}} := 10$$

Теоретичний об'єм сухого повітря (при $a=1$), необхідного для повного згоряння палива, $\text{м}^3/\text{м}^3$:

$$V_0 := 0.0476[(1 + 0.25 \cdot 4)\text{CH}_4 + (2 + 0.25 \cdot 6)\text{C}_2\text{H}_6] = 9.384$$

Теоретичний об'єм азоту в продуктах згоряння, $\text{м}^3/\text{м}^3$:

$$V_{0\text{N}_2} := 0.79V_0 + \frac{\text{N}_2}{100} = 7.426$$

Об'єм триатомних газів, м³/м³:

$$V_{RO2} := 0.01(CO_2 + CH_4 + 2C_2H_6) = 0.989$$

Теоретичний об'єм водяної пари, м³/м³:

$$V_{0H_2O} := 0.01 \cdot [0.5(4CH_4 + 6C_2H_6) + 0.124d_{\text{пал}}] + 0.0161V_0 = 2.134$$

Коефіцієнт надлишку повітря в газоході для кожної поверхні нагріву:

топка:

конвективний пучок:

економайзер:

$$\alpha_T := 1.05$$

$$\Delta\alpha_{\text{кп}} := 0.1 - \text{присос повітря}$$

присос повітря

$$\alpha_{\text{кп}} := \alpha_T + \Delta\alpha_{\text{кп}} = 1.15$$

$$\Delta\alpha_{\text{ек}} := 0$$

$$\alpha_{\text{ек}} := \alpha_{\text{кп}} + \Delta\alpha_{\text{ек}} = 1.1$$

Середній коефіцієнт надлишку повітря в газоході для кожної поверхні нагріву:

топка:

конвективний пучок:

економайзер:

$$\alpha_{\text{тср}} := \alpha_T = 1.05$$

$$\alpha_{\text{кпср}} := 0.5 \cdot (\alpha_T + \alpha_{\text{кп}}) = 1.1$$

$$\alpha_{\text{екср}} := 0.5 \cdot (\alpha_{\text{кп}} + \alpha_{\text{ек}}) = 1.15$$

Надлишкова кількість сухого повітря для кожного газоходу, м³/м³:

топка:

$$V_{\text{т.надл.с.пов}} := V_0 \cdot (\alpha_{\text{тср}} - 1) = 0.469$$

конвективний пучок:

$$V_{\text{кп.надл.с.пов}} := V_0 \cdot (\alpha_{\text{кпср}} - 1) = 0.938$$

економайзер:

$$V_{\text{ек.надл.с.пов}} := V_0 \cdot (\alpha_{\text{екср}} - 1) = 1.408$$

Дійсний об'єм водяної пари, м³/м³:

топка:

$$V_{H_2O\text{т}} := V_{0H_2O} + 0.0161(\alpha_{\text{тср}} - 1)V_0 = 2.142$$

конвективний пучок:

$$V_{H_2O\text{кп}} := V_{0H_2O} + 0.0161(\alpha_{\text{кпср}} - 1)V_0 = 2.15$$

економайзер:

$$V_{H_2O\text{ек}} := V_{0H_2O} + 0.0161(\alpha_{\text{екср}} - 1)V_0 = 2.157$$

Дійсний сумарний об'єм продуктів згоряння, м³/м³:

топка:

$$V_{\text{тг}} := V_{\text{RO2}} + V_{\text{0N2}} + (\alpha_{\text{тср}} - 1)V_0 + V_{\text{0H2O}} + 0.0161(\alpha_{\text{тср}} - 1)V_0 = 11.026$$

конвективний пучок:

$$V_{\text{кпг}} := V_{\text{RO2}} + V_{\text{0N2}} + (\alpha_{\text{кпср}} - 1)V_0 + V_{\text{0H2O}} + 0.0161(\alpha_{\text{кпср}} - 1)V_0 = 11.503$$

економайзер:

$$V_{\text{екг}} := V_{\text{RO2}} + V_{\text{0N2}} + (\alpha_{\text{екср}} - 1)V_0 + V_{\text{0H2O}} + 0.0161(\alpha_{\text{екср}} - 1)V_0 = 11.979$$

Об'ємні частки:

триатомних газів:

топка:

конвективний пучок:

економайзер:

$$r_{\text{тгRO2}} := \frac{V_{\text{RO2}}}{V_{\text{тг}}} = 0.09 \quad r_{\text{кпгRO2}} := \frac{V_{\text{RO2}}}{V_{\text{кпг}}} = 0.086 \quad r_{\text{екгRO2}} := \frac{V_{\text{RO2}}}{V_{\text{екг}}} = 0.083$$

водяної пари:

топка:

конвективний пучок:

економайзер:

$$r_{\text{тгH2O}} := \frac{V_{\text{H2Oтг}}}{V_{\text{тг}}} = 0.194 \quad r_{\text{кпгH2O}} := \frac{V_{\text{H2Oкпг}}}{V_{\text{кпг}}} = 0.187 \quad r_{\text{екгH2O}} := \frac{V_{\text{H2Oекг}}}{V_{\text{екг}}} = 0.18$$

сумарна об'ємна частка:

топка:

$$r_{\text{тг}} := r_{\text{тгRO2}} + r_{\text{тгH2O}} = 0.284$$

конвективний пучок:

$$r_{\text{кпг}} := r_{\text{кпгRO2}} + r_{\text{кпгH2O}} = 0.273$$

економайзер:

$$r_{\text{екг}} := r_{\text{екгRO2}} + r_{\text{екгH2O}} = 0.263$$

4.2.4 Розрахунок ентальпій повітря і продуктів згоряння

Інтервал зміни температури $t = 0 \dots 2000$ °С.

Ентальпія теоретичного об'єму повітря, кДж/м³:

$$H_{0T.пов}(t_T) := V_0 \cdot ent_{T.пов}(t_T)$$

Ентальпія теоретичного об'єму продуктів згоряння, кДж/м³:

$$H_{0T.г}(t_T) := V_{RO2} \cdot ent_{TRO2}(t_T) + V_{ON2} \cdot ent_{TN2}(t_T) + V_{OH2O} \cdot ent_{TH2O}(t_T)$$

де ent_T – ентальпії 1 м³ повітря, газоподібних продуктів згоряння, кДж/м³

Ентальпія надлишкової кількості повітря, кДж/м³:

$$H_{T.пов.надл}(t_T) := (\alpha_T - 1) H_{0T.пов}(t_T)$$

Ентальпія продуктів згоряння при коефіцієнті надлишку повітря $\alpha > 1$, кДж/м³:

$$H_{T.г}(t_T) := H_{0T.г}(t_T) + H_{T.пов.надл}(t_T)$$

Результати розрахунку ентальпії продуктів згоряння у різних частинах тракту котла представлені на рис. 4.2.

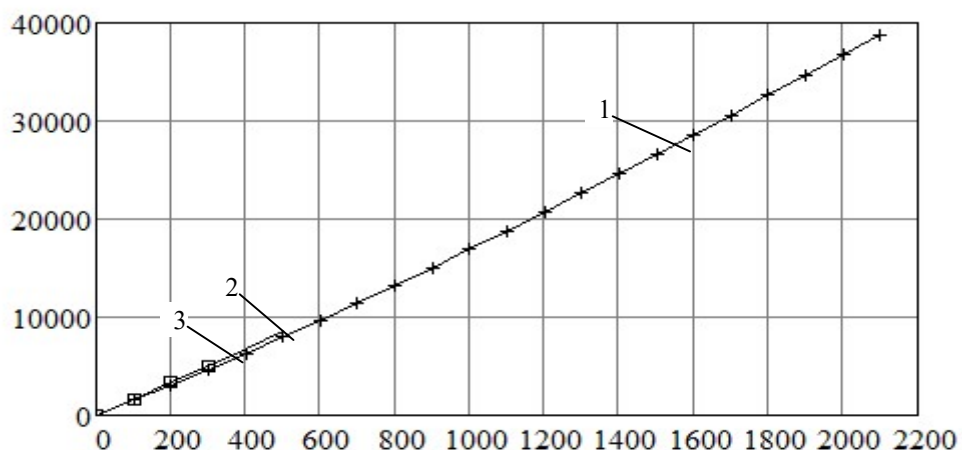


Рис. 4.2 Ентальпії протуктів згоряння:

1 – топка; 2 – конвективний пучок; 3 – економайзер

4.2.5 Тепловий баланс котельного агрегату. Розрахунок ККД бруто котла і витрати палива

Розрахунок ведемо для варіанту котла без економайзеру (температура на виході 235°C)

Наявна теплота палива, кДж/м³ :

$$Q_{\text{нвг}} = 3.529 \times 10^4$$

Температура відхідних газів (прийнято), °С,

235

Втрата теплоти від механічної неповноти згоряння

$$q_4 := 0$$

Ентальпія відхідних газів

$$H_{\text{від}} := H_{\text{ек.г}}(t_{\text{від}})$$

3919

Ентальпія навколишнього повітря

373.497

$$H_{0\text{х.пов}} := 39.8V_0$$

Втрата теплоти з відхідними газами, %:

$$q_2 := \frac{(H_{\text{від}} - \alpha_{\text{ек}} H_{0\text{х.пов}})(100 - q_4)}{Q_{\text{нвг}}} \quad 9.889$$

Втрата теплоти від хімічної неповноти згоряння, %:

$$q_3 := 0.5$$

Втрата теплоти від зовнішнього охолодження, %:

$$q_5 := 1.7$$

Витрата насиченої пари, кг/с,

$$D_{\text{н.п}} = 2.778$$

Ентальпія насиченої пари, кДж/кг,

$$h_{\text{н.п}} := 2788.4$$

Ентальпія живильної води на вході до водяного економайзера, кДж/кг,

$$h_{\text{ж.в}} := 420.1$$

Ентальпія киплячої води у барабані котла, кДж/кг,

$$h_{\text{кип}} := 830.1$$

Відсоток неперервної продувки парового котла, %,

$$p_{\text{пр}} := 3$$

Корисна потужність котельного агрегату, кВт:

$$Q_{\text{к.а}} := D_{\text{н.п}}(h_{\text{н.п}} - h_{\text{ж.в}}) + 0.01p_{\text{пр}} \cdot D_{\text{н.п}}(h_{\text{кип}} - h_{\text{ж.в}}) = 6.613 \times 10^3$$

ККД бруutto котлоагрегату:

87.911

$$\eta_{\text{к.а}} := 100 - (q_2 + q_3 + q_5)$$

Витрата палива, що подається до топки котла, м³/с: 0.213

$$B := \frac{Q_{\text{к.а}} \cdot 100}{Q_{\text{нвг}} \cdot \eta_{\text{к.а}}}$$

Коефіцієнт збереження теплоти: 0.981

$$\phi := 1 - \frac{q_5}{\eta_{\text{к.а}} + q_5}$$

4.2.6 Розрахунок теплообміну у топці

Температура продуктів згоряння на виході з
топки (прийнято), °С,

$$t_T := 1075$$

К:

$$T''_T = 1.348 \times 10^3$$

Ентальпія продуктів згоряння на виході з
топки, кДж/м³:

$$H_{3.T} = 1.835 \times 10^4$$

Теплота, яка вноситься до топки з повітрям, кДж/м³:

$$Q_{\text{пов}} := \alpha_T \cdot H_{0\text{х.пов}} = 392.172$$

Корисне тепловиділення у топці, кДж/м³:

$$Q_{\text{кор}} := Q_{\text{нвг}} \cdot \frac{100 - q_3}{100} + Q_{\text{пов}} = 3.551 \times 10^4$$

Коефіцієнт забруднення або закриття екрана

$$\zeta := 0.65$$

Середнє значення коефіцієнта теплової
ефективності топки:

$$\psi_{\text{ср}} := \frac{\zeta \cdot F_{\text{пр.т}}}{F_{\text{ст.т}}} = 0.611$$

Ефективна товщина випромінюючого шару,
м:

$$s := 3.6 \cdot \frac{V_T}{F_{\text{ст.т}}} = 1.509$$

Тиск у топковій камері котлоагрегату, МПа,

$$P := 0.1$$

Парціальний тиск триатомних газів, МПа,

$$p_{\text{тп}} := r_{\text{тп}} \cdot P = 0.028$$

Об'ємна частка водяної пари

$$r_{\text{тH}_2\text{O}} = 0.194$$

Коефіцієнт ослаблення променів триатомними газами, (м·МПа)⁻¹:

$$k_T := \left(\frac{7.8 + 16 \cdot r_{\text{тH}_2\text{O}}}{3.16 \cdot \sqrt{p_{\text{тп}} \cdot s}} - 1 \right) \cdot \left(1 - 0.37 \cdot \frac{T''_T}{1000} \right) = 7.856$$

Вміст вуглецю і водню у робочій масі палива:

$$\text{CH} := 0.12 \cdot \left(\frac{1}{4} \cdot \text{CH}_4 + \frac{2}{6} \cdot \text{C}_2\text{H}_6 \right) = 2.956$$

Коефіцієнт ослаблення променів сажистими частинками, (м·МПа)⁻¹:

$$k_c := 0.3 \cdot (2 - \alpha_T) \cdot \left(1.6 \cdot \frac{T''_T}{1000} - 0.5 \right) \cdot \text{CH} = 1.396$$

Коефіцієнт ослаблення променів топковим середовищем, (м·МПа)⁻¹:

$$k := k_T \cdot r_{\text{тп}} + k_c = 3.627$$

Ступінь чорноти, який би мав факел при заповненні усієї топки тільки світним полум'ям :

$$a_{\text{св}} := 1 - e^{-(k_T \cdot r_{\text{тп}} + k_c) \cdot P \cdot s} = 0.422$$

Ступінь чорноти, який би мав факел при заповненні усієї топки тільки несвітними триатомними газами:

$$a_T := 1 - e^{-(k_T \cdot r_{\text{тп}}) \cdot P \cdot s} = 0.286$$

Теплове напруження об'єму топки, кВт/м³ $q_v := B \cdot \frac{Q_{id}}{V_T} = 432.34$

Коефіцієнт, що характеризує частку топкового об'єму, яка заповнена світною частиною факела:

$$m := 0.1 + \frac{0.6 - 0.1}{1000 - 400} \cdot (q_v - 400) \quad m = 0.127$$

Ступінь чорноти факела: $a_\phi := m \cdot a_{св} + (1 - m) \cdot a_T = 0.303$

Ступінь чорноти топки: $a_{топ} := \frac{a_\phi}{a_\phi + (1 - a_\phi) \cdot \psi_{ср}} = 0.416$

Параметр М (залежить від відносного положення максимуму температури полум'я по висоті топки x_T): для камерних топок з горизонтальним рухом газів $x_T=0,3$

$$M := 0.54 - 0.2 \cdot x_T = 0.48$$

Теоретична (адіабатна) температура горіння, $T_a := 2213$ К,

Середня сумарна теплоємність продуктів згоряння, кДж/(м³·К) :

$$V_{ср} := \frac{Q_{кор} - H_{з.г}}{T_a - T''_T} = 19.83$$

Температура газів на виході з топки, °С:

$$\theta''_T := \frac{T_a}{M \cdot \left(\frac{5.67 \cdot \psi_{ср} \cdot F_{ст.г} \cdot a_{топ} \cdot T_a^3}{10^{11} \cdot \phi \cdot B_p \cdot V_{ср}} \right)^{0.6} + 1} - 273 = 1.087 \times 10^3$$

Перевірка $\frac{\theta''_T - t_T}{t_T} \cdot 100 = 1.105$

Теплосприймання топки на 1 м³ палива, кДж/м³:

$$Q_{\text{т.пром}} := \Phi \cdot (Q_{\text{кор}} - H_{\text{т.г}}(\theta''_{\text{т}})) = 1.661 \times 10^4$$

4.2.7 Розрахунок теплообміну у конвективному паротвірному пучку

Температура на виході з конвективного пучка (прийнято), °С, $t_{\text{з.к.п}} := 237$

Теплота, яка віддається продуктами згоряння, кДж/м³:

$$Q_{\text{б.к.п}} := \Phi \cdot (H_{\text{т.г}}(\theta''_{\text{т}}) - H_{\text{кп.г}}(t_{\text{з.к.п}}) + \Delta\alpha_{\text{кп}} \cdot H_{0\text{х.пов}}) = 1.438 \times 10^4$$

Коефіцієнт теплової ефективності $\psi_{\text{к.п}} := 0.85$

Коефіцієнт використання пучка $\xi := 0.95$

Середня температура газів, °С, $t_{\text{ср.к.п}} := \frac{\theta''_{\text{т}} + t_{\text{з.к.п}}}{2} = 661.93$

Теплофізичні властивості газів:

$$\lambda_{\text{т.к.п}} := 0.079 \quad M_{\lambda_{\text{к.п}}} := 1.02 \quad \lambda_{\text{к.п}} := \lambda_{\text{т.к.п}} \cdot M_{\lambda_{\text{к.п}}} = 0.081$$

$$\nu_{\text{т.к.п}} := 99.8 \cdot 10^{-6} \quad M_{\nu_{\text{к.п}}} := 1.01 \quad \nu_{\text{к.п}} := \nu_{\text{т.к.п}} \cdot M_{\nu_{\text{к.п}}} = 1.008 \times 10^{-4}$$

$$\text{Pr}_{\text{т.к.п}} := 0.602 \quad M_{\text{Pr}_{\text{к.п}}} := 1.04 \quad \text{Pr}_{\text{к.п}} := \text{Pr}_{\text{т.к.п}} \cdot M_{\text{Pr}_{\text{к.п}}} = 0.626$$

Геометричні характеристики пучка:

відносний поперечний крок труб

$$\sigma_{1\text{к.п}} := \frac{s_{1\text{к.п}}}{d_{\text{к.п}}} = 2.157$$

відносний поздовжній крок труб

$$\sigma_{2\text{к.п}} := \frac{s_{2\text{к.п}}}{d_{\text{к.п}}} = 1.765$$

Швидкість газів у пучку

$$w_{г.к.п} := \frac{B_p \cdot V_{кпп} \cdot (t_{ср.к.п} + 273)}{f_{к.п} \cdot 273} = 20.481$$

Поправка на кількість рядів труб z_2 ($Cz_1 = 1$ при $z_2 > 10$)

$$C_{зк.п} := 1$$

Поправка на компоновання пучка

$$C_{ск.п} := \left[1 + (2\sigma_{1к.п} - 3) \left(1 - \frac{\sigma_{2к.п}}{2} \right)^3 \right]^{-2} = 0.996$$

Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, Вт/(м²К),

$$\alpha_{к.к.п} := 0.2 \cdot \frac{\lambda_{к.п}}{d_{к.п}} \cdot \left(\frac{w_{г.к.п} \cdot d_{к.п}}{\nu_{к.п}} \right)^{0.65} Pr_{к.п}^{0.33} \cdot C_{зк.п} \cdot C_{ск.п} = 109.844$$

Ефективна товщина випромінюючого шару, м,

$$s_{к.п} := 0.9 d_{к.п} \cdot \left(\frac{4}{\pi} \cdot \frac{s_{1к.п} \cdot s_{2к.п}}{d_{к.п}^2} - 1 \right) = 0.177$$

Ступінь чорноти забруднених стінок променесприймальних поверхонь нагріву $a_3 := 0.8$

Абсолютна середня температура газів у пучку, К, $T_{ср.к.п} := t_{ср.к.п} + 273 = 93$

Коефіцієнт ослаблення променів триатомними газами, (м·МПа)⁻¹

$$k_{г.к.п} := \left(\frac{7.8 + 16r_{кпH_2O}}{3.16 \sqrt{0.1 \cdot r_{кпп} \cdot s_{к.п}}} - 1 \right) \left(1 - \frac{0.37 \cdot T_{ср.к.п}}{1000} \right) = 31.525$$

Ступінь чорноти газового потоку

$$a_{кп} := 1 - e^{-k_{г.к.п} \cdot r_{кпп} \cdot P \cdot s_{к.п}} = 0.141$$

Середня температура середовища, що протікає у трубах, $t_H := 100$ (температура насичення), °С

Температура забрудненої зовнішньої поверхні $t_{\text{забр}} := t_{\text{н}} + 25 = 21$ °С,

Коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням, Вт/(м²·К),

$$\alpha_{\text{вип.к.п}} := 5.67 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{a_3 + 1}{2} \cdot a_{\text{кп}} \cdot T_{\text{ср.к.п}}^3 \cdot \frac{1 - \left(\frac{t_{\text{забр}} + 273}{T_{\text{ср.к.п}}} \right)^{3.6}}{1 - \frac{t_{\text{забр}} + 273}{T_{\text{ср.к.п}}}} = 11.172$$

Коефіцієнт тепловіддачі від газів до стінки, Вт/(м²·К),

$$\alpha_{\text{к.п}} := \xi \cdot (\alpha_{\text{к.к.п}} + \alpha_{\text{вип.к.п}}) = 114.966$$

Коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м² · К),

$$k_{\text{к.п}} := \psi_{\text{к.п}} \cdot \alpha_{\text{к.п}} = 97.721$$

Температурний напір, С,

$$\Delta t_{\text{к.п}} := \frac{\theta''_{\text{т}} - t_{\text{з.к.п}}}{\ln \left(\frac{\theta''_{\text{т}} - t_{\text{н}}}{t_{\text{з.к.п}} - t_{\text{н}}} \right)} = 280.187$$

Теплосприймання пучка з рівняння теплопередачі, кДж/м³,

$$Q_{\text{т.к.п}} := \frac{k_{\text{к.п}} \cdot F_{\text{к.п}} \cdot \Delta t_{\text{к.п}}}{V_{\text{р}} \cdot 10^3} = 1.413 \times 10^4$$

Розходження, %,

$$\Delta Q_{\text{к.п}} := \frac{(Q_{\text{т.к.п}} - Q_{\text{б.к.п}}) \cdot 100}{Q_{\text{б.к.п}}} = -1.765$$

4.3 Дослідження способів підвищення економічності котлів

4.3.1 Основні напрямки підвищення економічності котлів

На основі аналізу та розрахунків котла можна виділити наступні фактори, які найбільше впливають на його ефективність:

- втрати теплової енергії внаслідок хімічного неповного згоряння палива. Викликані недосконалістю процесів, що відбуваються в печах;
- втрати тепла з вихлопними газами. Викликано високою температурою вихлопних газів, що може бути викликано низькою ефективністю теплообміну в топці та конвекційних поверхнях нагріву, високим коефіцієнтом надлишку повітря та підсосом повітря в тязі котла;
- втрати тепла в навколишнє середовище від котлів. Викликано високою температурою стінок котла, які контактують з навколишнім повітрям.

Основними заходами підвищення ККД парового котла є:

- зниження тепловтрат завдяки підвищенню теплового опору теплоізоляції та низькому коефіцієнту почорніння поверхні теплоізоляції;
- використання теплових енергетичних ресурсів відхідних газів;
- підвищення якості палиникових пристроїв;
- підвищення температури живильної води та повітря на вході в котел;
- зниження температури живильної води на вході в економайзер;
- зменшення накипу на теплообмінних поверхнях.

Розглянемо ці заходи докладніше.

4.3.2 Зменшення коефіцієнту надлишку повітря

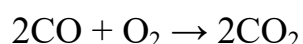
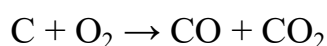
Втрати тепла з відпрацьованими газами залежать від температури та об'єму відпрацьованих газів, тобто від коефіцієнта надлишку повітря α .

					ВКР.144.6241мх.05.04.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		75

Збільшення надлишку повітря на 0,1 призводить до перевитрати палива на 0,7%. Також слід враховувати, що через течії в топковому димоході погіршуються економічні показники котла. Зменшення розміру присосок на 0,1% призводить до економії палива на 0,5%. Для боротьби з присосками потрібно збільшити тиск в котлі (топка і газові канали герметизуються, герметичність футеровки котла перевіряється пальником).

Втрати в результаті неповного згоряння також залежать від надлишку повітря, але в основному визначаються якістю змішування палива з повітрям. При правильно організованому спалюванні ці втрати повинні бути близькі до нуля. Втрати внаслідок неповного хімічного згоряння q_3 залежать головним чином від температури в топці котла.

При спалюванні вуглецю відбувається наступні реакції:



Швидкість реакції горіння залежить від температури, тому при зниженні навантаження падає температура в топці і CO не встигає окислитися в CO_2 і у відхідних газах збільшується CO і q_3 зростає.

При спалюванні твердого палива відбуваються втрати тепла внаслідок неповного механічного згоряння. Це залежить від якості дроблення, способу спалювання та часу перебування частинок коксу в топці котла і для цього котла дорівнює 0.

Зниження коефіцієнта надлишку повітря сприяє: зниженню вмісту кисню (O_2), підвищенню ККД і, як наслідок, зниженню температури вихлопних газів і споживання електроенергії вентилятором і димососом. При цьому знижуються викиди шкідливих оксидів азоту (NO_x).

Виникнення хімічного займання (CO) визначає межу допустимого впливу на зменшення подачі повітря. Ця межа є гнучкою і залежить від характеристик пальникових пристроїв і теплового навантаження котла. Область економічно вигідного способу спалювання палива відповідає

низьким значенням кисню (0,5...1,5%) і появі «слідів» q_3 , тобто вмісту оксиду вуглецю 120...600 мг/м³. Робота в цій зоні може бути забезпечена тільки автоматичною корекцією роботи пальникових пристроїв.

Впровадження технологічних рішень, спрямованих на організацію горіння з низьким або надзвичайно низьким коефіцієнтом надлишку повітря, є дешевим і ефективним способом економії палива при обмеженні утворення шкідливих речовин при нагріванні. При цьому необхідно підтримувати подачу повітря, щоб значення коефіцієнта α знаходилося в досить вузькій області, нижня межа якої визначається появою слідів оксиду вуглецю, а верхня – збільшенням тепловтрат з газами, що виходять, і збільшенням інтенсивності оксидоутворення азоту, що супроводжується збільшенням концентрації вільного кисню.

Висока ефективність згорання палива при низьких значеннях α може бути досягнута навіть в існуючих пристроях з газовими пальниками, тільки при використанні систем безперервного контролю і регулювання співвідношення «паливо-повітря». Для цього потрібна розробка надійних, простих у використанні систем регулювання подачі повітря в топку котла, які швидко окупаються.

При розрахунку парового котла коефіцієнт надлишку повітря в топці склав 1,05. Пізніше через підсмоктування повітря він збільшився до 1,15. Розглянемо, як зміна цього значення вплине на параметри котла. Розрахунки виконуються за методикою, описаною в пункті 4.2. Результати розрахунку наведені на рисунку.

Видно, що зі зменшенням коефіцієнта надлишку повітря збільшується кількість теплоти, що передається в топці (внаслідок підвищення температури газу). В результаті також підвищується температура газів на виході з печі і збільшується різниця температур між газами і водою в конвекційному пучку. Однак зменшення витрати робочої рідини призводить

до зменшення кількості тепла, що передається в конвекційному пучку. В результаті загальна кількість тепла, переданого в котлі, дещо збільшується, що супроводжується відповідним підвищенням ККД. Однак при низькому початковому значенні коефіцієнта надлишку повітря (1,05) ефект від його зниження буде незначним. Отже, запропоноване технічне рішення, спрямоване на зниження коефіцієнта надлишку повітря, не призведе до істотного підвищення ККД парового котла.

4.3.3 Вдосконалення процесів у топках

Основним і невід'ємним елементом кожного паливного теплогенератора є камера згоряння, в якій одночасно відбувається процес горіння і теплообмін. Характерним недоліком цих пристроїв є відносно низька ефективність променистого теплообміну в їх камерах згоряння, що пов'язано з низьким ступенем почорніння відпрацьованих газів, що виділяються; нераціональна конструкція топки і пальників; незадовільний спосіб організації процесу горіння; нерівномірний розподіл теплових потоків по поверхні нагріву в топці тощо.

Додатково встановлюється обмеження по температурі відхідних газів на виході з топки, яка не повинна бути нижче 850...900 0С. Ця вимога впливає з необхідності запобігання неповного хімічного згоряння та забезпечення стабільності процесу горіння палива. Він фактично обмежує ступінь охолодження відхідних газів, що визначає ефективність топки.

На тепловіддачу істотний вплив роблять такі фактори, як розмір і конфігурація топкової камери, конструкція і розташування пальників, тип палива і умови протікання процесу в топці.

Однією з характеристик променистого теплообміну в топці теплогенератора є ступінь потемніння димових газів, що виділяються, і їх температура, які пов'язані між собою. Дослідження показали, що факел, що

світиться, випромінює більш інтенсивне випромінювання, ніж прозорий факел. При цьому при спалюванні прозорим пальником досягається значно більша максимальна температура вихлопних газів, які розташовані ближче до виходу пальника.

Геометричні характеристики камери згоряння і спосіб організації процесу горіння мають істотний вплив на сумарний теплообмін в камері згоряння. Нераціональна конструкція печі не забезпечує рівномірний розподіл променистих теплових потоків. Це негативно позначається на теплотехніці та ефективності роботи топки теплогенератора.

Одним з основних параметрів, що визначають ефективність роботи топкової камери з теплогенераторами, є рівномірний розподіл променистих теплових потоків по радіаційній поверхні нагріву топки.

Нерівномірний розподіл теплових потоків зумовлює значну нерівномірність тепловіддачі через поверхні нагрівальних екранів. Відхилення місцевих температур відхідних газів в топці від їх середніх значень становить 100-200 К, а за деякими даними досягає навіть 400-500 К. Наслідком цього є локальний перегрів труб поверхні нагріву і зниження температури. надійність теплопостачання. Зменшення нерівномірності середовища згоряння, з одного боку, згладить температурні нерівності, а з іншого – сприятиме більш повному згорянню палива за рахунок поліпшення сумішоутворення. Таким чином буде досягнуто підвищення ККД та екологічних властивостей котлів малої потужності.

Забезпечити рівномірний розподіл променистих теплових потоків по поверхні нагріву можна, якщо:

- відстань випромінювача від випромінюючої поверхні нагріву однакова в усіх напрямках;
- температура радіатора постійна по всій його поверхні або, у випадку вихлопних газів, по всьому випромінювальному об'єму;

- рух теплоносія і розташування пальника в об'ємі топки організовано таким чином, щоб тепловий потік від джерела випромінювання до поверхні екранів був однаковим у всіх напрямках.

Виходячи з того, що було встановлено при розробці котлів, для забезпечення рівномірного розподілу теплових потоків по поверхні нагріву рекомендується, щоб камера згоряння була циліндричної форми і була оснащена газовим пальником. Завдяки цьому вдається досягти певної подібності форми ізотерм відхідних газів до форми топки в поперечному перерізі, а також рівномірності віддаленості джерела випромінювання від поверхні димоходу. екрани.

При розрахунку парового котла ступінь чорноти факела становила 0,303. Розглянемо, як зміна цього значення вплине на параметри котла. Розрахунки виконуються згідно з методикою, представленою в розділі 4.2. Результати розрахунку наведені на рисунку.

Можна помітити, що зі збільшенням ступеня почорніння газів в печі (наприклад, в результаті встановлення спеціальних вторинних нагрівачів) збільшується кількість теплоти, що передається в ній. Однак у результаті температура газів, що виходять із печі, знижується, а різниця температур між газами та водою в конвекційному пучку зменшується. Це призводить до зменшення кількості тепла, що передається в конвекційному промені. Завдяки цьому загальна кількість тепла, що виділяється в котлі, залишається майже постійною, а його ефективність не змінюється. Отже, запропоноване технічне рішення із застосуванням вторинних емітерів зі збільшенням ступеня почорніння не призведе до істотного підвищення ККД парового котла.

4.3.4 Зменшення температури вихлопних газів

Вихлопні гази мають кінцеву температуру і несуть значний тепловий потенціал, якщо вони не використовуються, ця енергія збільшує непотрібну частину балансу. Зниження температури відхідних газів на 10°C дає економію 0,6%.

Необхідність більш глибокого охолодження продуктів згоряння призводить до необхідності встановлення додаткових конвекційних поверхонь нагріву. Поверхні нагріву економайзера призначені для підігріву живильної води теплом продуктів згоряння, що виходять з котла. Водяні економайзери та повітрянагрівачі є частиною «задніх поверхонь котла» і розташовані в конвекційній шахті низхідного потоку. За призначенням економайзери поділяються на киплячі і некиплячі.

Некиплячі економайзери нагрівають воду до температури на 50 °C нижче температури насичення, а киплячі — до більш високих температур. Економайзери виготовляються з пакету сталевих або чавунних труб. Чавунні економайзери можуть бути тільки некиплячими, а сталеві - киплячими і некиплячими.

Чавунні економайзери виконують з чавунних труб довжиною 1,5, 2 і 3 м діаметром 76×8 мм з квадратними ребрами 150×150 мм. Кількість труб в ряду повинна забезпечувати швидкість газів 8...12 м/с. Кількість рядів визначається за тепловим розрахунком.

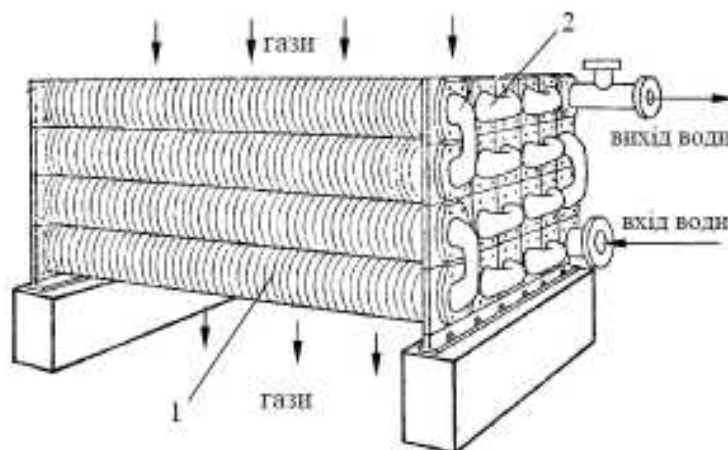


Рис. 4.3 Конструкція чавунного економайзера
1 – ребриста труба, 2 – калач для перепуску води

Сталеві економайзери виготовляють із труб діаметром 28...30 мм, розташованих у шаховому порядку. Тому сталеві економайзери більш компактні, але надають більший опір руху газів.

Під час роботи підвищується температура вихлопних газів через зовнішнє забруднення поверхонь нагріву, тому їх необхідно регулярно очищати. Продувка коридорних пучків і топки відбувається один раз за зміну. Балки шашки і труби повітронагрівача очищають дробоструйним способом. Ретельне очищення проводять один раз на добу при підвищеному розведенні (10...15 мм вод. ст.) протягом 10...15 хв. Очищення починається з топки і закінчується на кінцевому нагріванні торцевої поверхні. Останнім часом використовується імпульсне очищення поверхонь нагріву.

Для полегшення очищення пакети економайзерів виготовляють глибиною до 1 м з відстанями між системами 550...600 мм. Для виключення кисневої корозії припускають, що швидкість води в трубах становить не менше $555...600 \text{ кг}/(\text{м}^2 \text{ с})$.

Встановлення додаткових теплообмінників призводить до підвищення ККД металу, витрат на обслуговування, вартості теплогенератора та

зниження його конкурентоспроможності на зовнішньому та внутрішньому ринках.

Розглянемо вплив температури відпрацьованих газів на ККД парового котла. Розрахунки виконуються за методикою, описаною в пункті 4.2. Результати розрахунку наведені на рисунку. Значення температури обмежується температурою газу на виході з конвекційної балки (239,5°C, без економайзера) і температурою води, що подається (100°C).

Видно, що при температурі відхідних газів температура в топці підвищується за рахунок зменшення потоку теплоносія і збільшується кількість переданого в ньому тепла. В результаті знижується температура газів на виході з печі і зменшується різниця температур газів і води в конвекційному пучку. Це, а також зменшення витрати робочої рідини, призводить до зменшення кількості тепла, що передається в конвекційному брусі. Однак зі зниженням температури відпрацьованих газів кількість теплоти, що передається в економайзері, збільшується. В результаті суттєво зростає загальна кількість тепла, що виділяється в котлі, з одночасним збільшенням ККД: з 87,7% (без економайзера) до 93,9% (при температурі на виході з котла 110°C).

Отже, запропоноване технічне рішення, спрямоване на зниження коефіцієнта надлишку повітря, призводить до значного підвищення ККД парового котла. Питома температура відпрацьованих газів буде прийнята за результатами розрахунків конструкції економайзера (розділ 5).

4.3.5 Зменшення теплових втрат до навколишнього середовища

Для забезпечення безпеки персоналу та обмеження втрат тепла в навколишнє середовище котел має цегляну кладку та теплоізоляцію. Теплоізоляція котлоагрегатів не дозволяє уникнути втрат тепла в навколишнє середовище, тому вона повинна бути включена в тепловий баланс. Втрати в навколишнє середовище залежать від конструктивних особливостей котла.

					ВКР.144.6241мх.05.04.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		83

					ВКР.144.6241мх.05.05.ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
					Конструктрський розділ	Літ.	Арк.	Аркушів
Студент	Казенов Є.Є.							
Керівник	Корнієнко В.С.							
Консульт.						НУК		

5 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ. Розробка економайзера

5.1 Вихідні данні для розрахунку

Для підвищення паливної ефективності котельні живильна вода, що надходить у котел, підігрівається теплотою відхідних газів у додаткових підігрівачах – економайзерах. Економайзери виготовляють з гладких або ребристих чавунних або сталевих труб.

Упаковка цього економайзера містить змійовики ребристих сталевих трубок, з'єднаних паралельно, так як така конструкція дозволяє трубкам вільно рухатися під час нагрівання. Під час роботи поверхні нагріву по змійовикам рухається вода, а в міжтрубному просторі – вихлопні гази. В результаті теплообміну між вихлопними газами і водою через стінки труб, останні зазнають теплового розширення (подовження), але завдяки виносним пристроям, виконаним у вигляді кілець, вони можуть вільно переміщатися в осьовому напрямку, і відсутні додаткові напрути в кріпленнях, що підвищує надійність пристрою. Якщо якийсь змійовик виходить з ладу, його виймають з пакета труб через лаз, з якого попередньо була знята кришка.

Розрахунки, проведені в розділі 4, показали, що застосування економайзера значно підвищує ККД котла. Але при цьому повинна збільшитися поверхня теплообміну економайзера, його розміри і маса. Тому остаточний вибір температури відпрацьованих газів буде здійснюватися за результатами розрахунків конструкції економайзера.

Вихідні данні

Температура і ентальпія газів за котельним пучком (на вході до економайзера):

$$t_{з.к.п} := 237 \quad H_{кп.г} := 3.954 \times 10^3$$

Температура і ентальпія газів на виході із економайзера

					ВКР.144.6241мх.05.05.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		85

$$t_{\text{від}} := 150 \quad H_{\text{ек.Г}} := 2.481 \times 10^3$$

Температура повинна знаходитись у діапазоні від 239,5°C (економайзер відсутній) до температури живильної води (100°C). Нижче приведені розрахунки для температури на виході з економайзера 150°C.

Паропродуктивність котла, кг/с,

$$D := 2.778$$

Витрата палива, що подається до топки котла, м³/с:

$$B := 0.204$$

Величина безперервної продувки парового котла, %, р_{пр} := 3

Дійсний сумарний об'єм продуктів згоряння, м³/м³:

$$V_{\text{екГ}} := 11.979$$

Коефіцієнт збереження теплоти:

$$\phi := 0.982$$

5.2 Геометрія поверхні теплообміну

Труби у пучку виконані зі спіральним стрічковим оребренням, компоновка шахова. Схема руху теплоносіїв у економайзері - багаторазова перехресна течія.

Діаметр несучої труби зовнішній (прийнято), м $d_{\text{ек}} := 0.040$

Товщина труб, м,

$$\delta_{\text{тр.ек}} := 0.003$$

Висота ребер, м,

$$h_p := 0.015$$

Крок ребер, м,

$$s_p := 0.008$$

Товщина ребер, м,

$$\delta_p := 0.001$$

Зовнішній діаметр ребер, м,

$$d_p := d_{\text{ек}} + 2 \cdot h_p = 0.07$$

Крок труб поперечний, м,

$$s_{1\text{ек}} := 0.08$$

Крок труб поздовжній, м,

$$s_{2\text{ек}} := 0.07$$

Відносний крок:

поперечний

$$\sigma_{1\text{ек}} := \frac{s_{1\text{ек}}}{d_{\text{ек}}} = 2$$

поздовжній

$$\sigma_{2ек} := \frac{s_{2ек}}{d_{ек}} = 1.75$$

Коефіцієнт запасу поверхні

$$k_F := 0.9$$

5.3 Розрахунок економайзера

Теплота, яку мають віддати продукти згоряння в економайзері з рівняння теплового балансу при прийнятій температурі відхідних газів, кДж/м³,

$$Q_{б.ек} := \phi \cdot (H_{кп.г} - H_{ек.г}) = 1.446 \times 10^3$$

Ентальпія води після водяного економайзера, кДж/кг:

$$h_{ек.вих} := h_{ж.в} + \frac{B \cdot Q_{б.ек}}{D + p_{пр} \cdot 0.01 \cdot D} = 523.228$$

Температура води на виході з економайзера, °С

$$t_{ек.вих} := \frac{h_{ек.вих}}{4.2} = 124.578$$

Відносний діагональний крок:

$$\sigma_{2д.ек} := \sqrt{\sigma_{1ек}^2 \cdot 0.25 + \sigma_{2ек}^2} = 2.016$$

Параметр пучка

$$\phi_{\sigma.ек} := \frac{\sigma_{1ек} - 1}{\sigma_{2д.ек} - 1} = 0.985$$

Кількість ребер на метр довжини труб

$$z_p := \frac{1}{s_p} = 125$$

Площа поверхні гладкої частини труби (без ребер) на метр довжини, м²,

$$H_{гл1} := \pi \cdot d_{ек} \cdot (1 - z_p \cdot \delta_p) = 0.11$$

Площа поверхні ребер на метр довжини труби, м²

$$H_{p\delta 1} := \left[\frac{\pi \cdot (d_p^2 - d_{ек}^2)}{4} \right] \cdot 2 \cdot z_p + \pi \cdot d_p \cdot \delta_p \cdot z_p = 0.675$$

Повна площа поверхні нагріву з газової сторони на метр труби, м²,

$$H_1 := H_{г\lambda 1} + H_{p\delta 1} = 0.785$$

Поверхня з внутрішньої сторони на метр труби, м²,

$$H_{вн1} := \pi \cdot (d_{ек} - 2 \cdot \delta_{тр.ек}) \cdot 1 = 0.107$$

Відношення

$$N = H_{p\delta} / H$$

$$N := \frac{\left(\frac{d_p}{d_{ек}} \right)^2 - 1}{\left(\frac{d_p}{d_{ек}} \right)^2 - 1 + 2 \cdot \left[\left(\frac{s_p}{d_{ек}} \right) - \left(\frac{\delta_p}{d_{ек}} \right) \right]} = 0.855$$

Відношення

$$M = H_{г\lambda} / H$$

$$M := 1 - N = 0.145$$

Середня температура газів, °С,

$$t_{ср.ек} := 0.5(t_{з.к.п} + t_{від}) = 193.5$$

Ширина газоходу (приймається), м

$$b_{ек} := 0.6$$

Довжина газоходу (приймається), м

$$l_{ек} := 2.10$$

Площа живого перерізу для проходу газів, м²,

$$f_{г.ек} := b_{ек} \cdot l_{ек} \cdot \left[1 - \left(\frac{1}{\sigma l_{ек}} \right) \cdot \left(1 + 2 \cdot \frac{h_p \cdot \delta_p}{s_p \cdot d_{ек}} \right) \right] = 0.571$$

Середнє значення швидкості газів в УК, м/с,

$$w_{г.ек} := \frac{B \cdot V_{екг} \cdot (t_{ср.ек} + 273)}{273 \cdot f_{г.ек}} = 7.314$$

Кількість труб одного ряду

$$z_{1\text{ек}} := \frac{b_{\text{ек}}}{s_{1\text{ек}}} = 7.5 \text{ прийнято } z_{1\text{ек.пр}} := 8$$

Площа поверхні нагріву одного ряду з газової сторони, м^2 ,

$$F_p := H_1 \cdot l_{\text{ек}} \cdot z_{1\text{ек.пр}} = 13.195$$

Фізичні характеристики газів при середній температурі

Коефіцієнт теплопровідності, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$, $\lambda_{\text{гек}} := 0.04$

Коефіцієнт кінематичної в'язкості, $\text{м}^2/\text{с}$, $\nu_{\text{гек}} := 2.932 \times 10^{-5}$

Поправка на кількість рядів (прийнято попередньо для $z_2 = 10$):

$$C_{\text{зек}} := 1.0$$

Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією від газів до стінки труб, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$,

$$\alpha_{\text{кек}} := 0.23 \cdot C_{\text{зек}} \cdot \phi_{\sigma.\text{ек}}^{0.2} \cdot \left(\frac{\lambda_{\text{гек}}}{s_p} \right) \cdot \left(\frac{d_{\text{ек}}}{s_p} \right)^{-0.54} \cdot \left(\frac{h_p}{s_p} \right)^{-0.14} \cdot \left(\frac{w_{\text{г.ек}} \cdot s_p}{\nu_{\text{гек}}} \right)^{0.65} = 61.4$$

Коефіцієнт забруднення труб ззовні для газу, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$, $\varepsilon_{\text{ек}} := 0.002$

Відношення $\frac{d_p}{d_{\text{ек}}} = 1.75$

Коефіцієнт теплопровідності металу ребер, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$, $\lambda_{\text{м}} := 50$

Коефіцієнт, який ураховує нерівномірну тепловіддачу по поверхні ребра,

$$\psi_{\text{рб}} := 0.85$$

Параметр ребра, $1/\text{м}$,

$$\beta_{\text{ек}} := \sqrt{\frac{2 \cdot \psi_{\text{рб}} \cdot \alpha_{\text{кек}}}{\delta_p \cdot \lambda_{\text{м}} \cdot (1 + \varepsilon_{\text{ек}} \cdot \psi_{\text{рб}} \cdot \alpha_{\text{кек}})}} = 43.504$$

Добуток $\beta_{\text{ек}} \cdot h_p = 0.653$

Поправка на циліндричну основу ребра

$$\varepsilon_{\text{цил}} := 1 + 0.09 \cdot \left[\left(\frac{d_p}{d_{\text{ек}}} \right) - 1 \right] \cdot \beta_{\text{ек}} \cdot h_p = 1.044$$

Коефіцієнт ефективності ребра

$$E_{\text{ек}} := \frac{\tanh(\beta_{\text{ек}} \cdot h_p)}{\beta_{\text{ек}} \cdot h_p \cdot \varepsilon_{\text{цил}}} = 0.842$$

Коефіцієнт, що ураховує збільшення товщини ребра біля його основи

$$\mu := 1.01$$

Приведений коефіцієнт тепловіддачі з газової сторони, Вт/(м²·К),

$$\alpha_{1\text{прек}} := (N \cdot E_{\text{ек}} \cdot \mu + M) \cdot \frac{\psi_{\text{рб}} \cdot \alpha_{\text{екк}}}{1 + \varepsilon_{\text{ек}} \cdot \psi_{\text{рб}} \cdot \alpha_{\text{екк}}} = 41.248$$

Коефіцієнт теплопередачі, віднесений до повної поверхні з газової сторони, Вт/(м²·К),

$$k_{\text{ек}} := \alpha_{1\text{прек}} = 41.248$$

Менший температурний напір при протитечії, °С:

$$\Delta t_{\text{мек}} := t_{\text{від}} - t_{\text{ж.в}} = 50$$

Більший температурний напір при протитечії, °С:

$$\Delta t_{\text{бек}} := t_{\text{з.к.п}} - t_{\text{ек.вих}} = 112.422$$

Температурний напір, °С:

$$\Delta t_{\text{ек}} := \frac{\Delta t_{\text{бек}} - \Delta t_{\text{мек}}}{\ln \left(\frac{\Delta t_{\text{бек}}}{\Delta t_{\text{мек}}} \right)} = 77.042$$

Площа поверхні нагріву економайзера, м²:

$$F_{\text{ек}} := \frac{B \cdot Q_{\text{б.ек}} \cdot 10^3}{k_{\text{ек}} \cdot \Delta t_{\text{ек}} \cdot k_F} = 103.176$$

Кількість рядів труб економайзера

$$z_{2\text{ек}} := \frac{F_{\text{ек}}}{F_p} = 7.82 \quad \text{Прийнято } z_{2\text{прек}} := 8$$

Висота поверхні теплообміну економайзера

$$H_{\text{ек}} := s_{2\text{к.п}} \cdot z_{2\text{ек}} = 0.722$$

Прийнята площа поверхні нагріву економайзера, м²:

$$F_{\text{ек.пр}} := z_{2\text{прек}} \cdot F_p = 105.558$$

Уточнимо економічні параметри парового котла

Втрата теплоти з відхідними газами, %:

$$q_2 := \frac{(H_{\text{від}} - \alpha_{\text{ек}} H_{0\text{х.пов}})(100 - q_4)}{Q_{\text{нвг}}} = 5.815$$

ККД брутто котлоагрегату:

$$\eta_{\text{к.а}} := 100 - (q_2 + q_3 + q_5) = 91.985$$

Витрата палива, що подається до топки котла, м³/с:

$$B := \frac{Q_{\text{к.а}} \cdot 100}{Q_{\text{нвг}} \cdot \eta_{\text{к.а}}}$$

$$B = 0.204$$

$$\phi := 1 - \frac{q_5}{\eta_{\text{к.а}} + q_5}$$

Коефіцієнт збереження теплоти:

$$\phi = 0.982$$

5.4 Висновок з розділу

На кресленні показано зміну площі теплообмінної поверхні економайзера та його висоти. Видно, що коли температура вихідних газів досягає 150°C, ці значення починають швидко зростати. Конструкція економайзера наведена на кресленні.

6. ЗАКЛЮЧНИЙ РОЗДІЛ

У кваліфікаційній магістерській роботі запропоновано спосіб підвищення паливної ефективності котельні паропродуктивністю $D=20$ т/год за рахунок модернізації парових котельних установок, яка включає заміну чавунних економайзерів сталевими з оребреною поверхнею нагріву.

Заміна чавунних економайзерів на сталеві з газонепроникною конструкцією газоходів виключає підсмоктування холодного повітря. Це дозволяє зменшити втрати тепла з вихлопними газами та збільшити ККД котла з 90% до 92%. Крім того, зменшення кількості вихлопних газів зменшує споживання електроенергії для приводу пирососа. Реконструкція котельні підвищує її чистий ККД з 81% до 82,3%.

У статті проведено розрахунок теплового навантаження котельні у зв'язку із зростанням споживачів та розраховано теплову схему для визначення парового ККД котлоагрегатів та витрат пари на власні потреби.

Зроблено розрахунки газової установки котельні та станції пом'якшення води. Вибрано необхідний допоміжний підбір котельні.

Випробовувалися парові котли. Проведено перевірочні теплові розрахунки котла ДЕ-10-14 зі сталевим ребристим економайзером при 100% завантаженні природного газу, визначено його ККД та витрату палива. Запропоновано технічне рішення щодо зниження коефіцієнта надлишку повітря, що призводить до значного підвищення ККД парового котла. Розрахунки показали, що застосування економайзера значно підвищує ККД котла.

					ВКР.144.6241мх.05.06.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		92

ЛІТЕРАТУРА

1. Білявський Г.О. Основи екології: Підручник / Г.О. Білявський, Р.С. Фурдуй, І.Ю. Костінов. - К.: Либідь, 2004. - 408 с.
2. Басок Б.І. Аналіз когенераційних установок. Класифікація та основні показники / Б.І. Басок, Є.Т. Базєєв, В.М. Діденко, Д.О. Коломейка // Промислова теплоенергетика.–2006. – Т. 28. – №3. – С. 83–89.
3. Закон України «Про енергозбереження» від 01.07.1994 року № 74/94-ВР // Відомості Верховної Ради. — 1994. — № 30. — ст. 283 (зі змінами, внесеними згідно із Законами, на грудень 2020 р.). — Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/74/94-%D0%B2%D1%80#Text>.
4. Капустін В.Б. Комбіноване виробництво енергії / В.В. Капустін // Харчова і переробна промисловість.- 1998. - № 7. – С. 14 – 15.
5. Капустін В.Б. Когенерація у харчовій промисловості. Потреба та можливості / В.Б. Капустін, В.М. Філоненко // У кн. Регіональні проблеми енергопостачання у виробництві та споживанні енергії. – К.: 1999. – С. 101-102.
6. Клименко В.М. Проблеми когенераційних технологій в Україні/В.М. Клименко // Промислова теплотехніка. – 2001, Т.23. № 4-5. – С. 106-110.
7. Про комбіноване виробництво теплової і електричної енергії (когенерація) і використання скидного енергопотенціалу: [Закон України] // Відомості Верховної Ради України. – 2005. – № 20. – 278 с.
8. Миколаївські газотурбінні двигуни та установки/під заг. ред. д.т.н. В.І.Романова/ДП НВКГ «Зоря»-«Машпроект». – Миколаїв: вид-во «Південь» – «Інформ», 2005. – 304 с.
9. Філоненко В.М. Ефективність когенераційної установки для підприємств харчової промисловості / В.М. Філоненко, Д.Г. Бірюков // Харчова промисловість. – 2001. – № 1(46). – С. 60 – 62.
10. ДП НВКГ «Зоря»-«Машпроект». Продукція та сервіс /<http://zmturbines.com>.

					ВКР.144.6241мх.05.00.ПЗ	Лист
						93
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

11. Єфімов, А.В. Удосконалення методу теплового розрахунку конденсаційного теплоутилізаційного апарату поверхневого типу, що встановлюється за котельнею установкою / О.В. Єфімов, А.Л. Гончаренко, Л.В. Гончаренко // Енергетика. — К.: НТУУ «КП», 2009. — № 1.— С. 64-73.

12. Єфімов А. Ст, Гончаренко О. Л., Гончаренко Л. Ст. Система глибокої утилізації теплоти газів, що виходять з котелень // Вісник НТУ «ХП». 2013. № 13. С. 73-80. — Режим доступу: <http://www.kharkiv.edu/View/21232>.

13. Єфімов, А.В. Математична модель системи «котел-теплоутилізатор» / А.В. Єфімов, А.Л. Гончаренко // Вісник НТУ «ХП». Зб. наук. праць. Тематичний випуск. Інформатика і моделювання. — Х.: НТУ «ХП», 2010. — № 21. — С. 76-87.

14. Боженко М. Ф. Системи опалення, вентиляції і кондиціонування повітря будівель: навчальний посібник для студентів спеціальності 144 «Теплоенергетика» / М. Ф. Боженко. — Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. — 380 с.

15. Романов В.І., Коваленко О.В., Лупондін В.В. Екологічна чиста технологія «Водолій» для отримання електричної та теплової енергії. / Газотурбінні технології. - № 1. -2001. - с. 10 - 12.

16. Енергозбереження та енергетичний менеджмент у пристроях тягового електропостачання: навчальний посібник / С. П. Денисюк, В. Г. Кузнецов, В. Г. Сиченко, О. М. Крупинський; Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. — Дніпропетровськ, 2015. — 264 с.

17. Опалення, вентиляція та кондиціонування. ДБН В.2.5-67:2013 — К.: Мінрегіонбуд України, 2013. — 141 с.

18. ДСТУ-Н Б В.2.5-68:2012 Настанова з будівництва, монтажу та контролю якості трубопроводів зовнішніх мереж водопостачання та каналізації.

					ВКР.144.6241мх.05.00.ПЗ	Лист
						94
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

19. Єпіфанов О.А. Тепловий розрахунок котельних агрегатів малої потужності: Начальний посібник. - Миколаїв: НУК, 2004. - 152 с.

20. НПАОП 0.00-1.26-96-96.Правила будови і безпечної експлуатації парових котлів з тиском пари не більше 0,07МПа (0,7 кгс/см²) та водогрійних котлів і водопідігрівачів з температурою нагріву води не вище 115°C.

					ВКР.144.6241мх.05.00.ПЗ	Лист
						95
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		