

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

Інженерних систем та екології

(факультет)

Теплотехніки

(назва випускової кафедри)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА

на тему:

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ РІШЕННЯ В КОНСТРУКЦІЯХ КОТЛІВ
ВЕЛИКОЇ ПОТУЖНОСТІ

Овчаров Віталій Анатолійович

(прізвище, ім'я та по батькові здобувача повністю)

Київ 2024 р.

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

Інженерних систем та екології

(факультет)

Теплотехніки

(назва випускової кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Кириченко Михайло Анатолійович

„___” _____ 2024 року

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

Енергоефективні рішення в конструкціях котлів великої потужності
(назва)

Виконав: Овчаров Віталій Анатолійович

(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

144 Теплоенергетика

(спеціальність)

Енергетичний менеджмент, енергоефективні
муніципальні та промислові теплові
технології

(освітня програма)

Група: ТЕМ-23

Керівник: Гламаздін Павло Михайлович

(прізвище та ініціали)

Доцент

(вчене звання, науковий ступінь)

Ідентичність підтверджую

Київ 2024 р.

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

Факультет: Інженерних систем та екології

Випускова кафедра: Теплотехніки

Освітній ступінь: Магістр

Спеціальність: 144 Теплоенергетика

Освітня програма: Енергетичний менеджмент, енергоефективні муніципальні та промислові теплові технології

ЗАТВЕРДЖУЮ
Декан факультету

„___” _____ 20__ року

З А В Д А Н Н Я
ДО ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ НА
ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА

Овчаров Віталій Анатолійович

(прізвище, ім'я та по батькові здобувача)

1.Тема роботи: Енергоефективні рішення в конструкціях котлів великої потужності

затверджена наказом ректора КНУБА № _____ від «__» ____ 20__ року

2.Керівник роботи:

Гламаздін Павло Михайлович, Доцент

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

3. Строк подання здобувачем роботи до захисту _____

4. Зміст пояснювальної записки за розділами:

1. Аналіз водогрійного котла квг-116,3-150, 1.2 Виявлені недоліки конструкції, 1.3 Досвід модернізації котлів аналогічної конструкцій, 2. Паротурбінні установки, 2.1 Протитискові парові турбіни, 2.2 Парові гвинтові турбіни, 3. Перевід котла в пароводогрійний режим роботи, 3.1

Основні технічні характеристики, 3.2 Опис конструктивних рішень, 4. Тепловий розрахунок комбінованого котла на базі водогрійного котла КВГ-116.3-150, 4.1 Тепловий баланс та витрата палива (газ/ мазут), 5. Економічна оцінка модернізації кошторис, Висновок, Список використаних джерел.

5.Графічний матеріал за розділами

Р. 1. План станції теплопостачання СТ «Позняки» План. (повний розвиток)

Р. 2. Компонування котла КВ-ГМ-116,3-150М до модернізації Розріз 1-1

Р. 3. Плакат Котел КВ-ГМ-116,3-150М

Р. 4. Розріз 1-1

Р. 5 Розріз 2-2

Р. 6. Компонування котла КВ-ГМ-116,3-150М після модернізації

Р. 7. Елементи парогенеруючого контура

Р. 8. Повітроводи котла

Р. 9. Газова обв'язка котла

Р.10. Схема автоматизації парової частини котла

Календарний план виконання роботи:

Види робіт та їх зміст	Дата виконання
Розділ 1. Аналіз водогрійного котла КВГ-116,3-150,	
Розділ 1.2 Виявлені недоліки конструкції	
Розділ 1.3 Досвід модернізації котлів аналогічної конструкції	
Розділ 2. Паротурбінні установки	
Розділ 2.1 Протитискові парові турбіни	
Розділ 2.2 Парові гвинтові турбіни	
Розділ 3. Перевід котла в пароводогрійний режим роботи	
Розділ 3.1 Основні технічні характеристики	
Розділ 3.2 Опис конструктивних рішень	

Розділ 4. Тепловий розрахунок комбінованого котла на базі водогрійного котла КВГ-116.3-150	
Розділ 4.1 Тепловий баланс та витрата палива (газ/ мазут)	
Розділ 5. Економічна оцінка модернізації кошторис	
Розділ Висновк	
Розділ Список використаних джерел	
Остаточне оформлення роботи	
Направлення роботи для перевірки на плагіат	
Попередній захист роботи на випусковій кафедрі	
Направлення роботи на рецензування	

Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Перевірив	
		дата	підпис
Розділ 1.			
Розділ 2.			
Розділ 3.			
Розділ 4.			
Розділ 5			

Дата видачі завдання _____

Зав. кафедри _____
(підпис) (прізвище, ініціали)

Керівник _____
(підпис) (прізвище, ініціали)

Здобувач _____
(підпис) (прізвище, ініціали)

ЗМІСТ

Вступ	7
1. Аналіз водогрійного котла КВГ-116,3-150.....	8
1.1 Технічний опис конструкції.....	8
1.11 Основні технічні характеристики	8
1.12 Стислий опис котла.....	17
1.2 Виявлені недоліки конструкції.....	17
1.2.1 Габаритність і складність транспортування.....	19
1.2.2 Будівельно-монтажні роботи.....	19
1.2.3 Високий рівень викидів шкідливих речовин.....	19
1.2.4 Корозія теплообмінних поверхонь.....	21
1.2.5 Регулярне технічне обслуговування.....	22
1.2.6 Залежність від якості палива.....	24
1.2.7 Високий рівень теплових втрат.....	25
1.3 Досвід модернізації котлів аналогічної конструкцій.....	28
1.3.1 Основні напрями модернізації	28
1.3.2 Модернізація сталевих конструкцій котлів.....	30
1.3.3 Модернізація конструктивних елементів котлів.....	32
1.3.4 Модернізація в промислових об'єктах України.....	34
1.3.5 Досвід Європейських країн.....	36
2. Паротурбінні установки.....	39
2.1 Протитискові парові турбіни	39
2.2 Парові гвинтові турбіни.....	43
3. Перевід котла в пароводогрійний режим роботи.	47
3.1 Основні технічні характеристики.....	47
3.2 Опис конструктивних рішень.....	48
4. Тепловий розрахунок комбінованого котла на базі водогрійного котла КВГ-116.3-150.....	52
4.1 Тепловий баланс та витрата палива (газ/ мазут)	62
5. Економічна оцінка модернізації кошторис.....	98
Висновк.....	113
Список використаних джерел.....	114

ВСТУП

Робота відноситься до галузі теплогенеруючих установок.

Мета роботи – дослідити можливості модернізації котла КВ-Г-116,3-150 для підвищення його ефективності та екологічності.

Завдання роботи – модернізація котла КВ-Г-116,3-150, а також застарілих котельних агрегатів ПТВМ-100.

Об’єкт дослідження – котел КВ-Г-116,3-150, який був змантований у 2016 році компанією «ТММ-Енергобуд» та використовується на станції теплопостачання «СТ Позняки» у м. Києві .

Предмет дослідження – технологічні рішення та інженерні методи для модернізації котла КВ-Г-116,3-150, які спрямовані на підвищення його енергоефективності та здатності виробництво пари для вироблення електроенергії для покриття власних потреб та зниження викидів шкідливих речовин.

Актуальність дослідження полягає в потребі підвищення енергоефективності та екологічної безпеці існуючих котельних агрегатів зумовлених зростанням цін на енергоресурси, електроенергію та посиленням екологічних стандартів.

Оригінальність роботи та наукова новизна – полягає у тому, що вперше в конструкцію котла КВ-Г-116,3-150 вбудована парогенеруюча секція, що дозволяє значно підвищити ККД котла, та здатність вироблення промислової пари для виробництва електроенергії для покриття власних потреб. Розробка проекту базується на сучасних технологічних рішеннях та інноваційних матеріалах, які дозволяють зменшити споживання палива та викиди шкідливих речовин, а також покращити надійність і довговічність обладнання.

1. АНАЛІЗ ВОДОГРІЙНОГО КОТЛА КВГ-116,3-150

1.1 Технічний опис конструкції

1.1.1 Основні технічні характеристики

Водогрійний котел КВ-Г-116,3-150 призначений для роботи на природному газі в основному режимі при тиску гарячої води до 2,5 МПа та її нагріванням до температури 150°C.

Основне паливо - природний газ.

Аварійне паливо - паливний мазут марки М100 ДСТУ 4058-2001 «Паливо нафтове. Мазут. Технічні умови».

Основні технічні характеристики та параметри котла наведено у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Основні технічні характеристики та параметри котла

Параметри		Розмірність	Природний газ	Мазут
1		2	3	4
Номінальна теплова продуктивність котла		МВт (Гкал/год)	116,3 (100)	116,3 (100)
Надлишковий розрахунковий тиск		МПа (кгс/см ²)	2,5 (25)	2,5 (25)
Витрата води:	- номінальна	т/год	1235	1235
	- мінімальна		1000	1000
Температура води на вході до водогрійного котла		°С	70	70
Температура води на виході з водогрійного котла		°С	150	150
Робочий тиск води на вході в котел		МПа (кгс/см ²)	1,0-2,5 (10-25)	1,0-2,5 (10-25)
Гідравлічний опір котла, не більше		МПа (кгс/см ²)	0,25 (2,5)	0,25 (2,5)
Розрахунковий коефіцієнт корисної дії котла брутто (при температурі навколишнього середовища 10°C)		%	не менше 94,7	92,3
Витрати палива на котел:	- природний газ (при Q _н ^p = 8476 ккал/нм ³)	нм ³ /год	12 500 - 12 800	-
	- мазут	кг/год	-	11 550
Температура відхідних газів		°С	125	180

1.1.2 Стислий опис котла

Водогрійний котел КВ-Г-116,3-150, водотрубний, прямоточний, газошільний, тепловою продуктивністю 116,3 МВт призначений для роботи на природному газі в основному режимі при тиску гарячої води до 2,5 МПа та її нагріванням до температури 150°C.

Котел баштової компоновки складається з топки та конвективних поверхонь нагріву див. рис. 1.1 та 1.2.

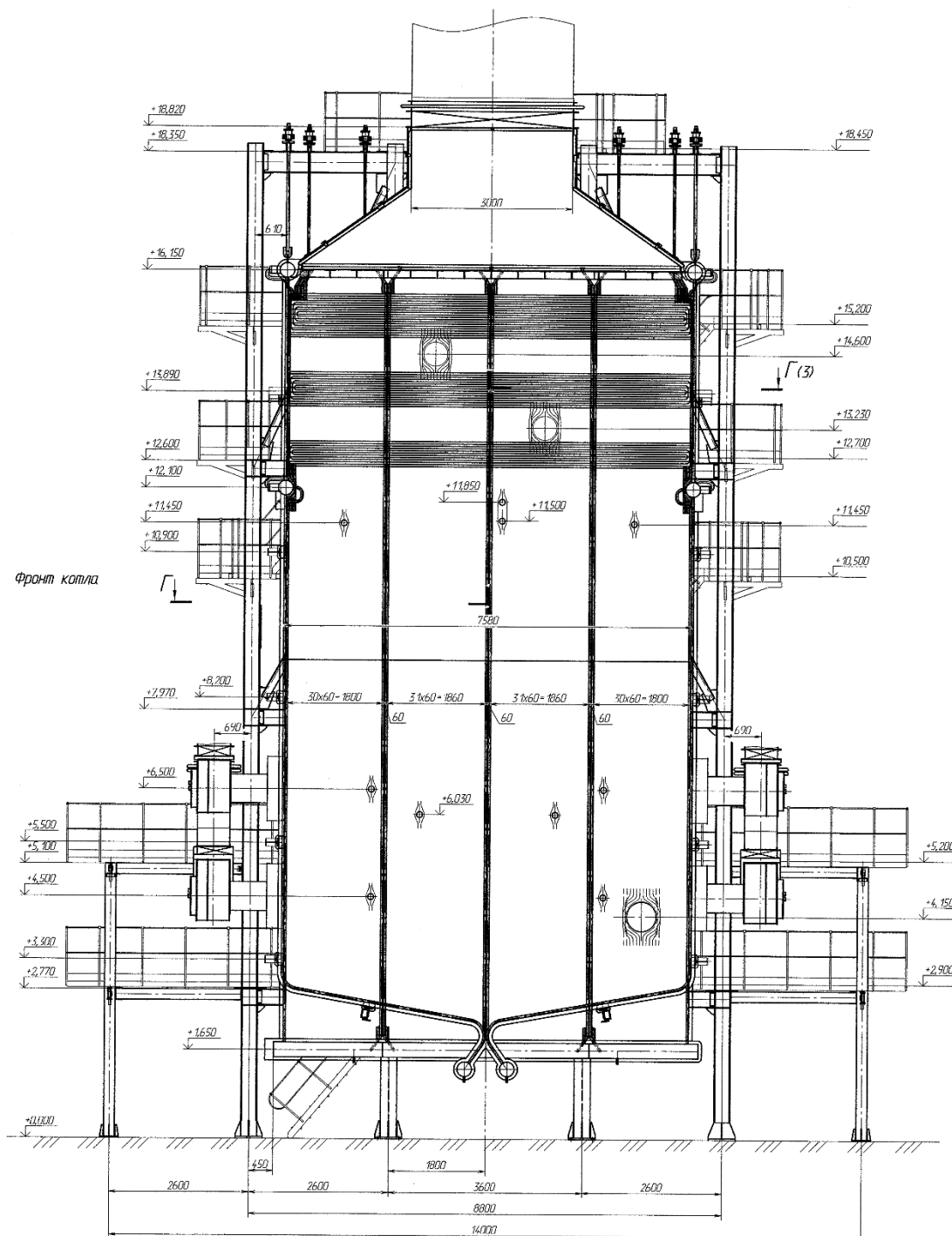


Рисунок 1.1 – Загальний вигляд котла КВ-Г-116,3-150. Продовжній розріз

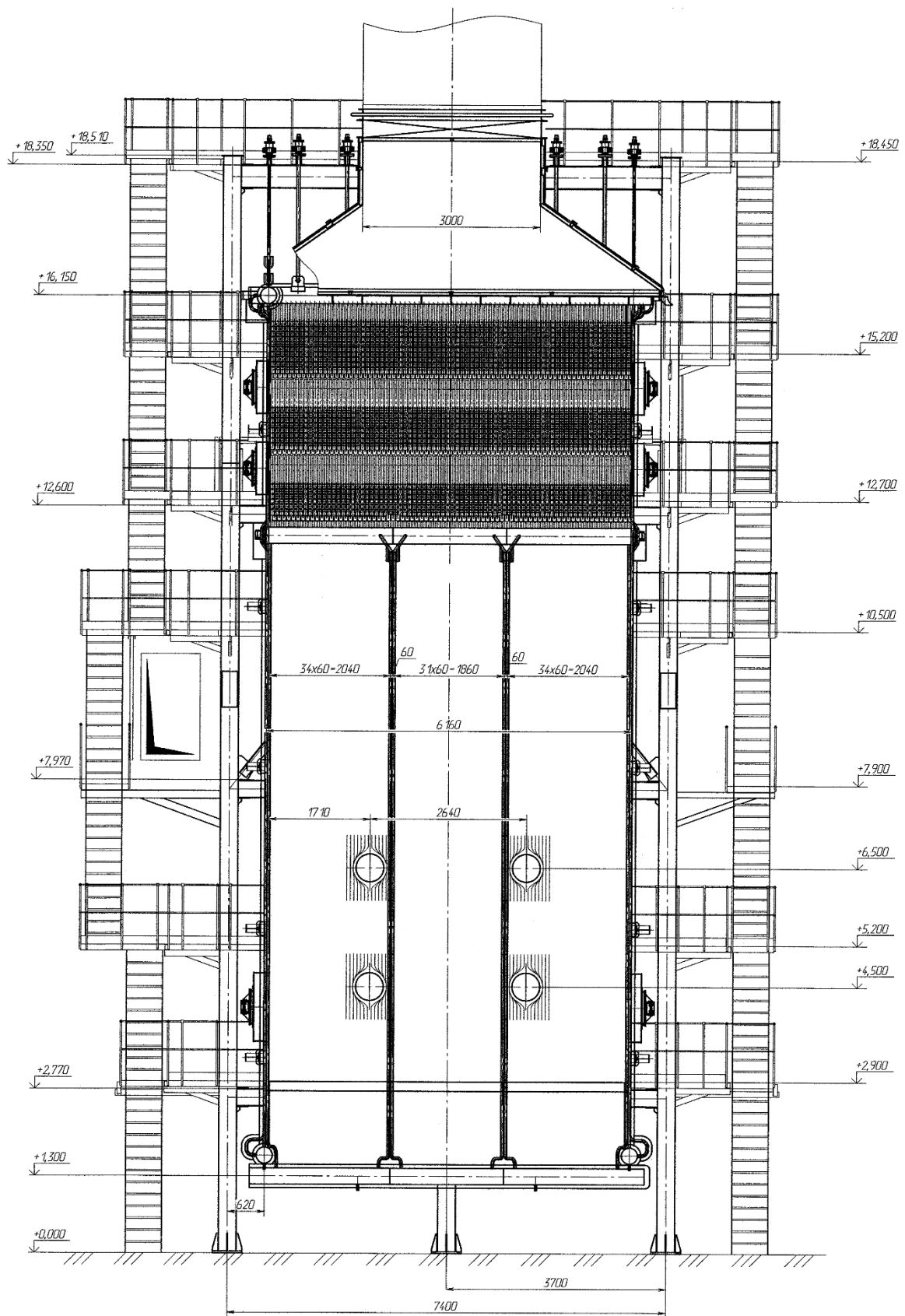


Рисунок 1.2 – Загальний вигляд котла КВ-Г-116,3-150. Поперечний розріз

Усі огороження котла складаються з газощільних панелей. Усі поверхні нагріву котла підвішені до стельового перекриття на пружинних тарілчастих підвісках. Конвективна поверхня нагріву по висоті складається із конвективних мембранних пучків.

Топка котла призматичної форми, вертикальна, відкритого типу з розміром в плані 7580x6160 мм. Об'єм топкової камери складає 466,2 м³.

Топкова камера виконана із 28 газощільних блоків з колекторами. Під топкової камери сформовано нижніми блоками фронтного та заднього екранів, які виконані з кутом нахилу до горизонталі 10°. Верхні колектори топки і конвективної частини мають спеціальні "вуха", за які котел підвішується до стельового перекриття.

Фронтний екран має ширину по осях труб 6060 мм та розміщується між відмітками -12,100 м та -1,300 м і складається із 6 блоків: 3 верхніх блоки фронтного екрана, 3 нижніх блоки фронтного екрана. Крайні блоки складаються з 35 труб, середній блок - з 32 труб.

Фронтний екран топки виконано з труб діаметром 42x4мм (сталь 20) з кроком 60мм з ввареними між ними штабами товщиною 4мм (сталь 20). Верхні колектори екрана виконані з труб діаметром 273x12мм (сталь 20), нижні колектори - з труб діаметром 273x10 (сталь 20).

Задній екран має ширину по осях труб 6060мм та розміщується між відмітками +12,100м та +1,300м і складається із 6 блоків: 3 верхніх блоки задньою екрана, 3 нижніх блоки задньою екрана. Крайні блоки складаються з 35 труб, середній блок - з 32 труб.

Задній екран топки виконано з труб діаметром 42x4мм (сталь 20) з кроком 60мм з ввареними між ними штабами товщиною 4 мм (сталь 20). Верхні колектори екрана виконані з труб діаметром 273x 12мм (сталь 20), нижні колектори з труб діаметром 273x10 (сталь 20).

На верхніх крайніх блоках виконані розведення для встановлення газомазутних пальників та датчиків контролю факела пальників.

Амбразури пальників виконані охолоджуваними, сформовані розведеними грубами екранів.

Бокові екрани складаються з двох екранів: лівого та правого бокових екранів топки. Кожний боковий екран має ширину по осях труб 7500мм та розміщується між відмітками +16,150м та +1,650м і складається з 8 блоків: 4 верхніх блоки бокового лівого (правого) екрана, 4 нижніх блоки бокового лівого (правого) екрана. Крайні блоки складаються з 31 труби, середні блоки - з 32 труб.

Бокові екрани топки виконано з труб діаметром 42x4мм (сталь 20) з кроком 60мм з вареними між ними штабами товщиною 4мм (стан. 20). Верхні колектори екрана виконані з труб діаметром 273x12мм (сталь 20), нижні колектори з труб – з труб діаметром 273x12мм (сталь 20).

На блоках виконані розведення для встановлення лазів, лючків і вічок.

Конвективна частина екранована: боковими екранами топки з труб діаметром 42x4мм (сталь 20) з кроком 60 мм та привареної штаби товщиною 4мм (сталь 20); зі сторони фронту та задньої стіни стояками конвективних мембранних пучків із труб діаметром 60x4мм (сталь 20) з кроком 80 мм та привареної штаби товщиною 4 мм (сталь 20).

Конвективна частина по висоті складається із трьох конвективних мембранних пучків, що розміщуються над топковою камерою. Конструкція КЧ з мембранними проставками утворює жорстку конструкцію, що виключає вихід з ряду та провисання окремих труб, та забезпечує високу експлуатаційну надійність.

По ходу димових газів розміщуються: пучок конвективний мембранний 1 ступеню, пучок конвективний мембранний 2 ступеню, пучок конвективний мембранний 3 ступеню. Між конвективними пучками дія огляду то ремонту передбачені прорізи, які обладнані лазами.

Конвективні мембранні пучки утворені секціями, які виконані з U - подібних панелей зі стояками. Секції розташовані зустрічно. По ходу димових газів труби конвективних пучків мають шахове розміщенням.

Рух води в конвективній частині виконано протитоком.

Пучок конвективний мембранний 1 ступеню виконано з 152-х U-подібних секцій із труб діаметром 32x3,5мм (сталь 20) з кроком 85мм. Труби панелей приварені до стояків діаметром 60x4мм (сталь 20) з кроком 80мм та привареної штаби товщиною 4мм (сталь 20), які є продовженням фронтового та заднього екранів топки.

Знизу секції вварені у верхні колектори фронтового та заднього екранів топки. Пучок розміщується між відмітками +13,295м та +2,100м. Перші по ходу димових газів три ряди труб пучка виконані гладкотрубними з дистанційними елементами. Другі по ходу димових газів три ряди труб пучка виконані мембранними з труб та привареної штаби товщиною 4мм (сталь 20).

Пучок конвекційний мембранний 2 ступеню виконано з 152-х U-подібних секцій із труб діаметром 32x3,5мм (сталь 20) з кроком 85мм. Труби панелей приварені до стояків діаметром 60x4мм (сталь 20) з кроком 80мм та товщиною 4мм (сталь 20), які є продовженням фронтового та заднього екранів топки. Пучок розміщується між відмітками +14,580м та +13,295м. Пучок

виконано мембранним із труб та привареної штаби товщиною 4мм (сталь 20).

Пучок конвективний мембранний 3 ступеню виконано з 152-х и - подібних секцій із труб діаметром 32x3,5мм (сталь 20) з кроком 85 мм. Труби панелей приварені до стояків діаметром 60x4,0мм (сталь 20) з кроком 80мм та привареної штаби товщиною 4мм (сталь 20), які є продовженням фронтального та заднього екранів топки. Зверху секції вварені у верхні задній та фронтний колектори конвективного пучка. Пучок розміщується між відмітками +16.150м та +14.580м. Пучок виконано мембранним із труб та привареної штаби товщиною 4 мм (сталь 20).

Вода проходить поверхні нагріву котла двома паралельними потоками.

Мережна вода з колектора діаметром 426x9мм (сталь 20) чотирма трубами діаметром 273x8мм (сталь 20) подається у вхідні нижні колектори діаметром 273x10мм бокових (правого та лівого) екранів топки, з яких вода роздається в труби бокових екранів топки (252 труби діаметром 42x4мм).

З верхніх колекторів діаметром 273x12мм бокового правого та лівого екранів топки вода надходить у верхній фронтний та задній колектори діаметром 273x 12мм конвективного пучка 3 ступеню. Далі вода проходить по 76 стояках діаметром 60x4мм і послідовно проходить конвективні пучки: третій, другий і перший, які виконані з труб 32x3.5мм. Потім вода надходить у вхідні верхні колектори діаметром 273 x12мм фронтного та заднього екранів топки.

З верхнього колектора фронтного екрана вода роздається по 102 трубах діаметром 42x4мм фронтного екрана і потім поступає у вихідний нижній колектор фронтного екрана діаметром 273x10мм.

З верхнього колектора заднього екрана вода роздається по 102 трубам діаметром 42x4мм заднього екрана і потім поступає у вихідний нижній колектор заднього екрана діаметром 273x10мм.

Вода збираючись в нижніх колекторах фронтного та заднього екранів, чотирма трубами 273x8мм відводиться в вихідний колектор діаметром 426*9мм.

Каркас котла металевий, виконаний зі звареного і профільного прокату, розрахований на несення навантажень від власне котла, ізоляції, обшивки, сходів і помостів, трубопроводів і газоповітропроводов. Також враховано додаткові навантаження, що виникають при «хлопке».

Каркас котла складається з 10 несучих колон, зв'язаних балками, зв'язками та стельового перекриття. Основні колони каркаса і основні балки стельового перекриття виконано звареними з листового прокату.

Сходи і помости (див. рис. 1.3), що встановлюються на котлі, забезпечують доступ до лазів, лючок, колекторів поверхонь нагріву.

Для встановлення помостів в районі пальників використовується опірня конструкція.

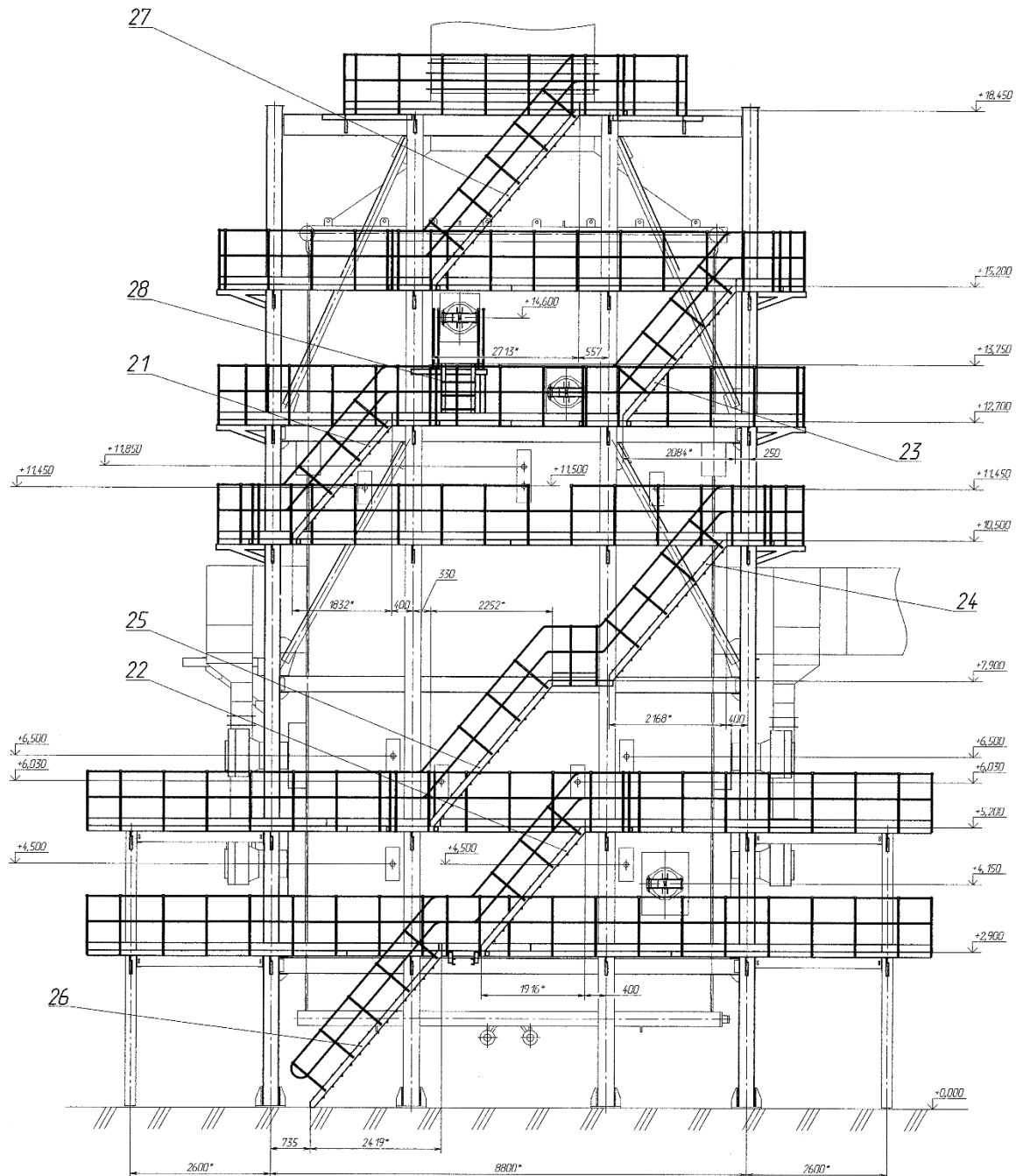


Рисунок 1.3 – Сходи та помости котла КВ-Г-116,3-150

На котлі встановлено вісім газомазутних вихрових пальників, що розташовані двома ярусами, по чотири пальника на фронтній (див. рис. 1.4) та задній стіні паливні та які обладнані паромеханічними мазутними форсунками та запально-захисними пристроями.

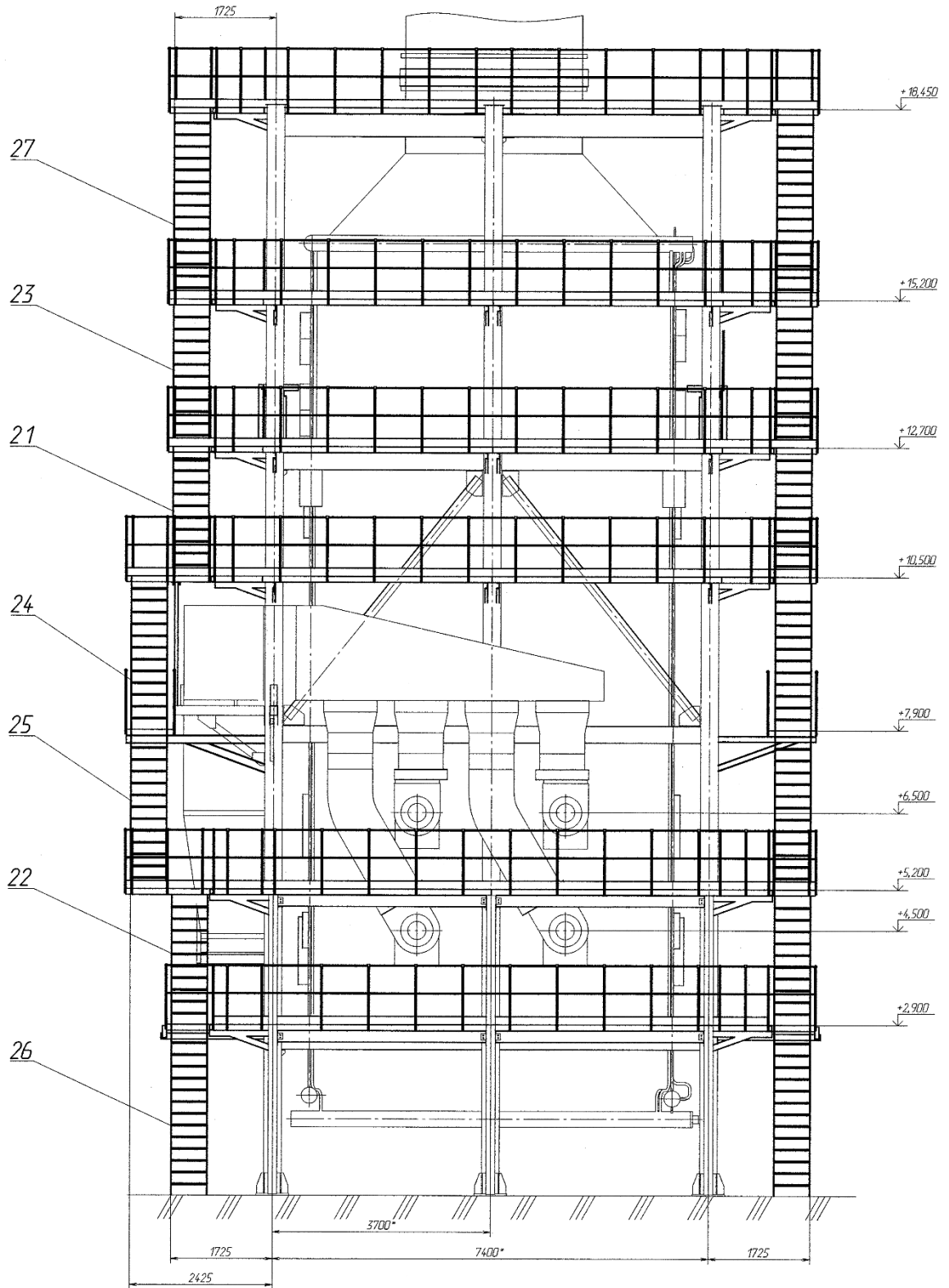


Рисунок 1.4 – Розміщення газомазутних пальників КВ-Г-116,3-150. Фронт котла

Пальники призначені для роздільного спалювання газу та мазуту. Основні технічні характеристики та параметри пальника наведено у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Основні технічні характеристики та параметри пальника

Параметри		Розмір-ність	Природний газ	Мазут
1		2	3	4
Номінальна теплова продуктивність котла		МВт	15,4	15,4
Витрати мазута		т/год	-	1,45
Тиск мазуту на номінальному режимі перед форсункою		МПа	-	3,0-3,5
Тиск пару на розпил		МПа	-	0,4
Температура мазута, не менше		°С	-	120
Витрати природного газу		нм ³	1 600	-
Розрахунковий опір газороздавального пристрою пальника		кПа	44,46	-
Розрахунковий опір повітряних каналів пальника		кПа	1,32	1,4
Коефіцієнт надлишкового повітря, не більше		-	1,08	1,10
Габаритні розміри	довжина	мм	1620	
	ширина	мм	1200	
	висота	мм	1070	

Газовий пальник (див. рис. 1.5) виконаний з двома потоками по повітрю.

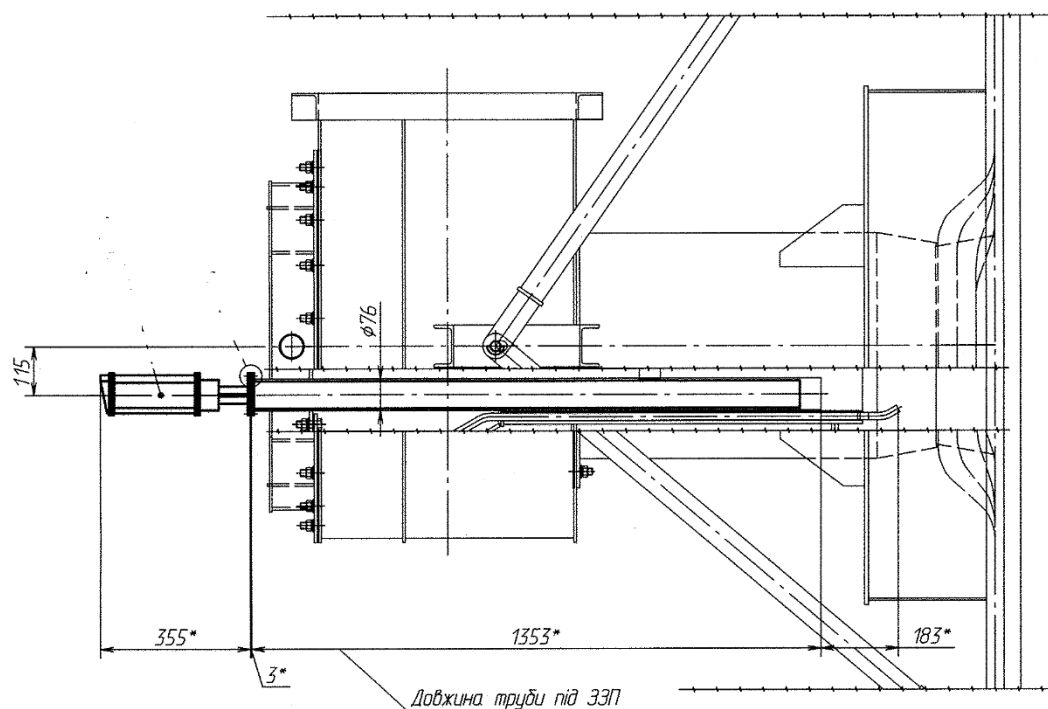


Рисунок 1.5 – Загальний вигляд газомазутного пальника

У центральному повітряному каналі пальника встановлено: аксіальний завихрювач з загнутими під певним кутом лопатками; труба для запально-захисного пристрою, труба для вічка візуального спостереження, труба для паромеханічної мазутної форсунки.

У периферійному повітряному канаті розташовано тангенційний завихрювач з встановленими під певним кутом лопатками.

Природний газ в повітряний потік подається трубками, які розташовані в центральному повітряному каналі.

Газові роздавальні трубки орієнтовані в сторони центрального і периферійного повітряних канатів пальника, забезпечуючи задане утворення суміші палива з повітрям.

Периферійний канал пальника призначений для подачі близько 70% повітря, центральний канат пальника - близько 30%.

Пальники виконано з індивідуальним підведенням повітря.

Пальники обладнані завихрювачами з лівим і правим напрямком обертання повітря.

Зовнішні поверхні котла покриті матами базальтовими, які кріпляться на спеціальні штирі и покриваються обшивальними листами за допомогою кріпильних деталей.

1.2 Виявлені недоліки конструкції

Представлений водогрійний котел КВ-Г-116,3-150 є аналогом пікового теплофікаційного водогрійного котла ПТВМ-100.

Водогрійні котли є ключовими елементами систем централізованого теплопостачання, особливо в регіонах із холодним кліматом. Котел був розроблений для забезпечення стабільної роботи в умовах великих теплових навантажень. Попри значні переваги, такі як висока продуктивність, надійність та відносна простота конструкції, він має низку недоліків, які можуть обмежувати його ефективність, довговічність і екологічну прийнятність. Нижче наведено детальний аналіз основних проблем конструкцій цих типу котла.

1.2.1 Габаритність і складність транспортування

Котли мають досить великі розміри, що є обумовленим його конструктивними особливостями та високою тепловою потужністю, яку він здатний генерувати. Його потужність до 100 Гкал/год вимагає великих теплообмінних поверхонь, а також наявності великих елементів для

забезпечення необхідних умов спалювання палива. Це створює проблеми з місцем для його установки, особливо в умовах обмеженого простору.

- **Необхідність великих приміщень для монтажу:** Для встановлення котла ПТВМ-100 та КВ-Г-116,3-150 необхідно мати просторі котельні чи спеціально підготовлені майданчики, оскільки розміри котла можуть займати значну площу. У випадку обмеженості площі, наприклад, в міських умовах або на підприємствах із обмеженим простором, виникає потреба у додаткових будівельних роботах або навіть переплануванні наявних приміщень.
- **Проблеми при модернізації або заміні старих котлів:** У випадку, коли необхідно замінити старий котел на КВ-Г-116,3-150, це може бути пов'язано з великими труднощами. Не завжди є можливість встановити таке велике обладнання в існуючі приміщення або на об'єктах, де немає достатньо простору для монтажу.

Габаритність котла КВ-Г-116,3-150 ускладнює його транспортування. Оскільки це велике і важке обладнання, перевезення котла до місця його установки вимагає значних зусиль, спеціалізованого транспорту та дозвільної документації (маршрутні листи, супровід, тощо). Потрібно враховувати кілька важливих аспектів:

- **Необхідність спеціального транспорту:** Для доставки котла ПТВМ-100 потрібно використовувати важку техніку та транспортування, що може включати спеціалізовані автопоїзди, крани або навіть залізничний транспорт. Це вимагає додаткових витрат на перевезення та погодження з органами контролю за транспортною інфраструктурою.
- **Складнощі при перевезенні через обмеження інфраструктури:** Доставити котел до віддалених чи важкодоступних місць, таких як заводи на околицях міста або в сільській місцевості, може бути надзвичайно складно. Наявність вузьких доріг, мостів, які не здатні витримати велику вагу, або обмеження в інфраструктурі може ускладнити транспортування.
- **Додаткові витрати на доставку:** Через великі розміри і вагу котла транспортування часто включає в себе додаткові витрати. Це стосується як логістичних витрат на перевезення спеціалізованими автомобілями, так і можливих витрат на перевантаження, зберігання та страхування великого обладнання під час транспортування.

1.2.2 Будівельно-монтажні роботи

Монтажні роботи котла КВ-Г-116,3-150 займає значну кількість часу і потребує спеціальних умов. Розміри та конструкція котла вимагають залучення великої кількості технічних ресурсів, зокрема важкої будівельної техніки.

- **Витрати на монтаж:** Через складність роботи з великими котлами, монтаж КВ-Г-116,3-150 вимагає значних фінансових витрат, зокрема на спеціальне обладнання для монтажу та демонтажу котла, а також на працю кваліфікованих фахівців.
- **Часова затримка:** У зв'язку з необхідністю спеціального транспортування і монтажу, введення в експлуатацію котла може відбутися із затримкою, що також позначається на загальній ефективності системи тепlopостачання. Це може бути особливо проблематично в ситуаціях, коли потрібно оперативно забезпечити об'єкт теплом, наприклад, в період зимового сезону.

Габаритність і складність транспортування котла КВ-Г-116,3-150 є суттєвими недоліками, які можуть значно обмежувати його використання в умовах обмеженого простору або на віддалених об'єктах. Ці проблеми вимагають значних фінансових витрат на транспортування і монтаж, а також можуть створювати труднощі при модернізації старих котлів або в умовах специфічних інфраструктурних обмежень. У той же час, ці недоліки можна зменшити шляхом використання альтернативних методів транспортування та вдосконалення проектування котлів, наприклад, шляхом розробки більш компактних моделей, що дозволяють зменшити потребу у великих площах для установки та полегшити перевезення.

1.2.3 Високий рівень викидів шкідливих речовин

Основною причиною високих викидів шкідливих речовин в котлі КВ-Г-116,3-150 є характер конструкції та технологія спалювання палива, що використовуються в цьому обладнанні. Котел спроектований для роботи з різними видами палива, такими як мазут і природний газ. При спалюванні цих видів палива утворюються продукти згоряння, які включають в себе шкідливі компоненти, зокрема:

1. **Оксиди азоту (NO_x):** Під час процесу згоряння палива, особливо при високих температурах в топці, утворюються оксиди азоту (NO_x), які є одними з найбільш шкідливих забруднювачів атмосфери. Вони сприяють утворенню смогових явищ, кислотних дощів і можуть

викликати серйозні проблеми зі здоров'ям, зокрема захворювання органів дихання.

2. **Вуглекислий газ (CO₂):** Викиди CO₂ при спалюванні вугілля та мазуту є основною причиною парникового ефекту, що сприяє глобальному потеплінню. Водночас, навіть при використанні природного газу, який є більш екологічним паливом, викиди CO₂ залишаються суттєвими.
3. **Тверді частки (сажа):** При спалюванні мазуту в топці утворюються тверді частки, що складаються з сажі та інших неповністю згорілих елементів палива. Ці частки не тільки погіршують якість повітря, але й осідають на теплообмінних поверхнях котла, знижуючи його ефективність і викликаючи додаткові витрати на технічне обслуговування.
4. **Сірчистий газ (SO₂):** Спалювання палива, що містить сірку (зокрема мазут), супроводжується утворенням сірчистого газу, який при взаємодії з водяною парою у повітрі перетворюється на сірчану кислоту, що є причиною кислотних дощів.

Викиди шкідливих речовин, що утворюються при роботі котла КВ-Г-116,3-150, мають серйозний вплив на навколишнє середовище та здоров'я людини.

1. **Забруднення повітря:** Викиди оксидів азоту (NO_x) і сірчистого газу (SO₂) сприяють забрудненню атмосферного повітря, що знижує його якість і призводить до серйозних екологічних проблем. Водночас тверді частки, що утворюються при спалюванні палива, осідають на поверхнях, забруднюють ґрунт і водні ресурси, а також можуть спричинити захворювання дихальної системи у людей.
2. **Парниковий ефект і зміна клімату:** Викиди CO₂ є основним чинником глобального потепління. Хоча цей газ є частиною природного кругообігу вуглецю, антропогенне збільшення його концентрації в атмосфері суттєво посилює парниковий ефект, що веде до зміни клімату, підвищення температури та змін в екосистемах.
3. **За захворювання органів дихання:** Вдихання забрудненого повітря, що містить оксиди азоту, сірчистий газ та інші забруднювачі, може спричинити різноманітні захворювання органів дихання, зокрема астму, бронхіти та пневмонії. Особливо чутливі до цих забруднень діти, старші люди та особи з ослабленим імунітетом.

Зважаючи на високий рівень емісії шкідливих речовин, котел КВ-Г-116,3-150 не відповідає сучасним вимогам до екологічної безпеки, зокрема щодо рівня викидів оксидів азоту та вуглекислого газу. В рамках міжнародних угод, таких як Кіотський протокол і Паризька угода, країни світу зобов'язуються знижувати викиди парникових газів і забруднюючих речовин.

В Україні також є нормативи, що обмежують рівень викидів шкідливих речовин для промислових котлів.

1.2.4 Корозія теплообмінних поверхонь

Корозія теплообмінних поверхонь є одним з основних недоліків конструкції водогрійного котла КВ-Г-116,3-150. Цей процес значно впливає на експлуатаційні характеристики котла, знижуючи його ефективність і довговічність. Корозія, що виникає внаслідок впливу агресивних середовищ, таких як кислоти або водяна пара при високих температурах, є невід'ємною проблемою для багатьох котлів

1. Причини корозії теплообмінних поверхонь

Корозія теплообмінних поверхонь котла КВ-Г-116,3-150 є наслідком кількох факторів, що взаємодіють під час роботи обладнання. Основні причини корозії включають:

- Низька температура димових газів: У процесі роботи котла температура димових газів може опускатися нижче точки роси, що спричиняє конденсацію води на поверхнях теплообміну. Цей конденсат, в свою чергу, містить агресивні з'єднання, зокрема сірчану кислоту, яка є результатом згоряння палива з високим вмістом сірки.
- Волога і водяна пара: Високий рівень вологості продуктів згоряння або наявність водяної пари при низьких температурах газів може спровокувати корозію металу, особливо на тих поверхнях котла, які контактують з водяними парами.
- Паливо з високим вмістом сірки: Використання мазуту або інших видів палива з високим вмістом сірки може призводити до утворення сірчаної кислоти в продукті згоряння. Кислота, потрапляючи на теплообмінні поверхні, активно взаємодіє з металом, викликаючи його руйнування.

2. Вплив корозії на ефективність роботи котла

Корозія теплообмінних поверхонь котла КВ-Г-116,3-150 безпосередньо впливає на його ефективність, оскільки викликає такі негативні наслідки:

- Зниження коефіцієнта корисної дії (ККД): Корозія та утворення накипу на теплообмінних поверхнях знижує ефективність теплообміну. Це призводить до збільшення витрат палива для досягнення бажаної температури в системі, що в свою чергу збільшує експлуатаційні витрати.
- Погіршення теплопередачі: Накопичення корозійних продуктів на трубах і теплообмінниках перешкоджає нормальній теплопередачі між газами і теплоносієм. Це спричиняє перегрів і перевантаження котла, що

збільшує ймовірність аварійних ситуацій і знижує його загальну продуктивність.

- Необхідність частіших ремонтів: Корозія веде до пошкодження металу, що може призвести до тріщин або навіть проривів у трубах котла. Це вимагає частіших ремонтів, підвищених витрат на обслуговування і заміну пошкоджених елементів.

3. Вид корозії на теплообмінних поверхнях

Корозія теплообмінних поверхонь котла КВ-Г-116,3-150 може проявлятися у кількох формах:

- Кислотна корозія: Найбільш характерна для котлів, які працюють на паливах із високим вмістом сірки. При згорянні палива утворюється сірчана кислота, яка активно реагує з металом, спричиняючи його руйнування. Це є особливою проблемою для труб і поверхонь, які постійно контактують з продуктами згорання.
- Корозія, спричинена конденсатом: Під час охолодження продуктів згорання на теплообмінниках може утворюватися конденсат, що, змішуючись із іншими агресивними речовинами, такими як сірка чи аміак, підсилює корозійні процеси.
- Механічна корозія: У процесі роботи котла можуть виникати механічні пошкодження теплообмінних труб через коливання температури, що також сприяє розвитку корозійних процесів.

Корозія теплообмінних поверхонь є однією з основних проблем конструкції котла КВ-Г-116,3-150, яка значно впливає на його експлуатаційні характеристики і довговічність. Враховуючи серйозність цієї проблеми, необхідно впроваджувати комплексні заходи для її попередження та зменшення негативного впливу, включаючи удосконалення теплоізоляції, використання антикорозійних покриттів, оптимізацію складу палива та модернізацію систем очищення димових газів.

Таким чином, корозія теплообмінних поверхонь КВ-Г-116,3-150 є серйозним недоліком конструкції цього котла, однак застосування сучасних технологій та інженерних рішень дозволяє значно зменшити її вплив на ефективність і довговічність обладнання.

1.2.5 Регулярне технічне обслуговування

Незважаючи на свою ефективність і надійність, цей котел КВ-Г-116,3-150 має низку конструктивних особливостей, які потребують постійного технічного обслуговування. Недоліки конструкції, пов'язані з необхідністю

регулярного обслуговування, мають значний вплив на експлуатаційні витрати та загальну ефективність роботи котла.

1. Потреба в частому очищенні теплообмінних поверхонь

Однією з найбільших проблем конструкції котла є утворення на поверхнях теплообміну нагару та сажі (при використанні мазута), що значно знижує їх ефективність. У процесі роботи котла продукти згоряння осідають на трубах та елементах теплообміну, утворюючи шару сажі та нагару. Це призводить до зменшення теплопередачі та підвищує навантаження на палинкову систему, оскільки котел змушений працювати на вищих температурах і з більшими витратами палива для досягнення бажаного теплового ефекту.

Щоб уникнути значних втрат тепла та зберегти ефективність роботи котла, необхідно регулярно проводити очищення труб і теплообмінних поверхонь. Це є трудомістким процесом, що вимагає значного часу і зусиль персоналу, що, в свою чергу, збільшує витрати на обслуговування обладнання.

2. Перевірка і заміна елементів палинкової системи

Пальники котла є важливим елементом, що відповідає за стабільний процес спалювання палива. Проте з часом вони зношуються, що може призводити до неефективного згоряння палива, збільшення викидів і зниження ККД котла. Оскільки пальники безпосередньо впливають на екологічні характеристики котла, їх регулярний огляд та заміна є необхідними для підтримання нормального функціонування.

Необхідність у перевірці та заміні пальників підвищує вимоги до кваліфікації обслуговуючого персоналу, а також створює додаткові витрати на закупівлю нових елементів. Якщо пальники не обслуговуються вчасно, це може призвести до серйозних поломок, таких як пошкодження котла через неправильну роботу спалювання або навіть пожежонебезпечних ситуацій.

3. Корозія металевих елементів котла

Застосування водогрійних котлів на основі металевих труб та елементів конструкції ставить перед власниками необхідність контролю за станом цих елементів. В умовах високих температур та вологості, що утворюється під час роботи котла, металеві частини можуть зазнавати корозії. Це особливо актуально для тих частин котла, що знаходяться безпосередньо в контакті з продуктами згоряння або теплоносієм, який може містити агресивні речовини.

Корозія металу скорочує термін служби котла, і для запобігання серйозним пошкодженням необхідно регулярно проводити обстеження і в разі потреби проводити заміну пошкоджених елементів. Однак цей процес потребує як фінансових, так і часових витрат, що є важливим фактором для організацій, які використовують ці котли в умовах високих навантажень.

4. Чистка і обслуговування газоходів та димососів

Ще один важливий аспект технічного обслуговування котла – це необхідність регулярної перевірки та очищення газоходів і димососів, що використовуються для видалення продуктів згоряння. Протягом експлуатації котла, особливо при використанні мазуту, утворюються відкладення в газоходах, які можуть призвести до блокування чи погіршення тяги. Це знижує ефективність вентиляції і може спричинити аварійні ситуації, такі як зворотний потік газів в котел.

Чистка газоходів і перевірка димососів вимагають частих перевірок та обслуговування. Це є додатковим фактором, який підвищує вимоги до технічного персоналу і збільшує експлуатаційні витрати.

Таким чином, регулярне технічне обслуговування котла КВ-Г-116,3-150 є невід'ємною частиною його експлуатації. Оскільки цей котел потребує очищення теплообмінних поверхонь, перевірки та заміни пальників, контролю за станом металевих елементів, очищення газоходів та налаштування автоматизованої системи управління, то організації, які експлуатують, повинні враховувати ці витрати і забезпечити належний рівень кваліфікації персоналу.

Несвоєчасне обслуговування або ігнорування цих вимог може призвести до серйозних технічних проблем, що знижують ефективність роботи котла, підвищують експлуатаційні витрати і навіть створюють загрози для безпеки. Враховуючи це, технічне обслуговування повинно стати важливою складовою частиною процесу експлуатації котла КВ-Г-116,3-150, що дозволить максимально продовжити термін його служби і забезпечити оптимальну ефективність роботи.

1.2.6 Залежність від якості палива

Водогрійні котли такого типу, що працюють на різних видах палива (від природного газу та мазуту), мають конструктивні особливості, які роблять їх чутливими до змін у характеристиках палива. Це може значно впливати на ефективність роботи котла, його технічний стан і екологічні показники.

1. Низька якість палива та її вплив на ефективність роботи котла

Основна проблема, пов'язана з якістю палива, полягає в тому, що котел КВ-Г-116,3-150 не завжди здатний адаптуватися до паливних матеріалів з низькими енергетичними характеристиками. Наприклад мазут низької якості може суттєво знижувати ефективність роботи котла. Це, в свою чергу, збільшує споживання палива і знижує загальний коефіцієнт корисної дії (ККД) котла.

2. Утворення сажі та нагару

Низька якість палива також може призвести до утворення надмірної кількості сажі і нагару на поверхнях теплообміну.

3. Проблеми з горінням при використанні неякісного палива

Котли КВ-Г-116,3-150 мають стандартну конструкцію топки, оптимізовану для роботи з певними видами палива. При використанні палива, що не відповідає заявленим стандартам, можуть виникати проблеми зі стабільністю процесу горіння. Такі проблеми можуть проявлятися у вигляді неповного згоряння палива, що призводить до утворення надлишкових продуктів згоряння, таких як чадний газ, та зниження теплотворної здатності котла. Це не лише знижує ефективність системи, але й може призвести до збільшення викидів шкідливих газів в атмосферу.

4. Вплив на корозію і знос обладнання

Низька якість палива, особливо мазуту з високим вмістом сірки, також може значно скоротити термін служби котла через корозійні процеси. Викиди сірки під час горіння утворюють сірчану кислоту, яка активно взаємодіє з металевими частинами котла, особливо з теплообмінними трубами, сприяючи їх корозії. Це призводить до пошкодження конструкцій котла, що потребує частого ремонту та заміни кородованих частин, що підвищує експлуатаційні витрати.

Залежність котла КВ-Г-116,3-150 від якості палива є одним з головних недоліків його конструкції, який значною мірою впливає на його експлуатаційні характеристики. Низька якість палива може призводити до зниження ККД, утворення нагару і сажі, збільшення витрат на обслуговування, прискореного зносу обладнання та підвищення шкідливих викидів в атмосферу.

Тому для зниження негативних наслідків важливо забезпечити високоякісне паливо та регулярно проводити технічне обслуговування котла, а також здійснювати модернізацію для покращення адаптивності до різних видів палива.

1.2.7 Високий рівень теплових втрат

Одним із суттєвих недоліків конструкції водогрійного котла КВ-Г-116,3-150 є високий рівень теплових втрат, що негативно впливає на ефективність роботи котла та збільшує витрати на паливо. Ця проблема зумовлена кількома конструктивними особливостями, які, незважаючи на функціональну ефективність котла, обмежують його енергетичну ефективність та екологічність.

1. Недостатня теплоізоляція

Однією з головних причин високих теплових втрат є недостатня теплоізоляція котла. Теплоізоляція є критично важливим елементом, оскільки вона дозволяє зменшити втрати тепла через стінки котла та газоходи, зберігаючи більшу частину теплової енергії для нагрівання теплоносія. Ці втрати можуть досягати значних розмірів, особливо при високих температурах і в умовах інтенсивної експлуатації котла.

2. Низька ефективність теплообміну

В котлі КВ-Г-116,3-150 теплообмін здійснюється через прямоточні труби, що з часом може призвести до зниження ефективності теплообміну через нагар, сажу та інші забруднення. На теплообмінних поверхнях, які контактують з продуктами згоряння, утворюються шари, що зменшують ефективність передачі тепла від газів до теплоносія. Це спричиняє додаткові теплові втрати, адже продукти згоряння не віддають своє тепло повною мірою.

3. Відсутність сучасних технологій утилізації тепла

Конструкція котла КВ-Г-116,3-150 не передбачає використання економайзерів або інших сучасних технологій для утилізації тепла продуктів згоряння. Економайзери є важливим елементом, який дозволяє використовувати залишкове тепло продуктів згоряння для попереднього нагріву подачі води в котел, що значно підвищує загальну ефективність котла.

Відсутність таких систем в КВ-Г-116,3-150 означає, що велика частина теплової енергії втрачається разом з димовими газами, що не тільки знижує ККД котла, але й збільшує споживання палива.

4. Теплові втрати через димові труби

У котлі КВ-Г-116,3-150 димові труби, через які відводяться продукти згоряння, мають обмежену теплоізоляцію, що спричиняє додаткові втрати тепла. Продукти згоряння, проходячи через труби, охолоджуються, і частина тепла виводиться в атмосферу. У сучасних котлах ця проблема вирішується шляхом встановлення труб з більш ефективною теплоізоляцією або інтеграцією додаткових систем для утилізації тепла.

5. Вплив умов експлуатації

Теплові втрати також можуть збільшуватися через невідповідність умов експлуатації котла оптимальним параметрам. КВ-Г-116,3-150 часто використовується в умовах, де відсутній строгий контроль за температурними режимами, що спричиняє постійні перепади температури в котлі. Це, в свою чергу, може призводити до конденсації вологи у димових газах, що додатково знижує ефективність теплообміну і призводить до зниження ККД котла.

Висновки

Аналіз конструкції водогрійного котла КВ-Г-116,3-150 дозволяє оцінити як його переваги, так і недоліки, що безпосередньо впливають на ефективність і екологічну безпеку роботи цього обладнання.

Серед основних переваг котла КВ-Г-116,3-150 слід відзначити високу теплову потужність, надійність і здатність працювати на різних типах палива, що забезпечує його широке застосування в системах централізованого теплопостачання. Проте ці переваги супроводжуються значними недоліками, зокрема, високими витратами енергії, низькою ефективністю використання тепла, а також значними викидами шкідливих речовин, таких як оксиди азоту, вуглекислий газ та сажа.

Основними проблемами конструкції є також необхідність постійного технічного обслуговування, висока чутливість до якості палива та проблема корозії теплообмінних поверхонь. Враховуючи ці недоліки, котел КВ-Г-116,3-150 потребує модернізації для підвищення енергоефективності, зниження екологічного впливу та приведення в відповідність до сучасних екологічних стандартів.

Для того, щоб забезпечити стабільну та ефективну експлуатацію котла в умовах сучасних вимог до енергоефективності та екології, необхідно впроваджувати новітні технології, такі як системи очищення димових газів, застосування більш чистих видів палива і підвищення теплоізоляційних властивостей. Тільки за таких умов водогрійний котел КВ-Г-116,3-150 зможе зберегти свою актуальність на ринку і задовольнити вимоги сучасної енергетичної та екологічної політики.

1.3 Досвід модернізації котлів аналогічної конструкції

1.3.1 Основні напрями модернізації

Теплообмінні поверхні є ключовим елементом роботи котлів ПТВМ-100 та КВ-Г-116,3-150, оскільки саме через них відбувається передача теплової енергії від продуктів згоряння до теплоносія. З часом їх ефективність значно знижується через зношування, утворення відкладень та корозійні процеси. У зв'язку з цим модернізація теплообмінних поверхонь стає одним із першочергових напрямів підвищення ефективності котлів.

Заміна теплообмінників на сучасні конструкції

Сучасні матеріали та технології дозволяють виготовляти теплообмінники з покращеними характеристиками:

- Матеріали з високою корозійною стійкістю: Використання легованих сталей, алюмінію чи композитів значно збільшує термін служби теплообмінників.
- Оптимізовані геометричні рішення: Трубчасті або пластинчасті теплообмінники із збільшеною площею поверхні забезпечують ефективніше відведення тепла.

Використання антикорозійного захисту

Для запобігання пошкодженням теплообмінних поверхонь застосовуються:

- Спеціальні покриття (керамічні, полімерні або металеві).
- Антикорозійні добавки в теплоносій.

Збільшення площі теплообміну

Збільшення площі теплообмінних поверхонь дозволяє забезпечити більший рівень тепловіддачі без збільшення витрат палива. Це досягається:

- Установкою додаткових секцій теплообмінника.
- Модернізацією внутрішньої структури теплообмінників для покращення контакту теплоносія з поверхнею.

Очищення та захист від утворення відкладень

Відкладення продуктів згоряння та забруднення з боку теплоносія значно знижують ефективність теплопередачі. Для боротьби з цією проблемою застосовуються:

- Автоматизовані системи очищення поверхонь.
- Хімічні та механічні способи очищення.
- Використання технологій, що знижують утворення відкладень.

Покращення аеродинаміки димових газів

Рівномірний розподіл потоку димових газів по теплообмінних поверхнях сприяє їх ефективнішому використанню. Для цього модернізація включає:

- Установку напрямних пристроїв у камері згоряння.
- Оптимізацію конструкції газоходів.

Впровадження сучасних конструкцій економайзерів

Додатково встановлюються економайзери, які дозволяють утилізувати тепло відхідних газів. Це рішення не лише підвищує загальний ККД котла, але й сприяє зниженню температури димових газів, що позитивно впливає на екологічність роботи.

Заміна та вдосконалення теплообмінних поверхонь є одним із найважливіших напрямів модернізації котлів ПТВМ-100 та КВ-Г-116,3-150. Це дозволяє суттєво підвищити ефективність їх роботи, знизити витрати на паливо та продовжити термін служби обладнання. Інтеграція сучасних матеріалів, конструкцій та систем очищення забезпечує не лише економічну вигоду, а й відповідність сучасним екологічним стандартам.

Потреба в модернізації пальникових пристроїв

Умови експлуатації пальників та сучасні вимоги до роботи теплогенераційного обладнання обумовлюють необхідність їх оновлення. Основні причини:

- Зниження ефективності через знос конструктивних елементів.
- Високий рівень викидів оксидів азоту (NO_x), вуглекислого газу (CO₂) та інших шкідливих речовин.
- Відсутність можливості адаптації до роботи на альтернативних або змішаних видах палива.

Технологічні рішення модернізації

Встановлення низькоемісійних пальників:

Сучасні низькоемісійні пальники дозволяють знизити рівень викидів NO_x на 30-50% завдяки:

- Технології ступінчастого спалювання, яка зменшує концентрацію кисню в зоні горіння.
- Змішаному циклу охолодження, що знижує температуру полум'я.

Інтеграція пальників із системами управління горінням забезпечує:

- Постійний контроль співвідношення паливо/повітря для досягнення максимального ККД.
- Можливість адаптації до змінного навантаження без втрати ефективності.

Модернізація пального систем дозволяє використовувати біопаливо, суміші природного газу з воднем або синтетичне паливо. Це сприяє зменшенню залежності від викопних джерел енергії.

Використання пальників з рециркуляцією продуктів згорання повертає частину продуктів згорання в паливову зону для зниження температури горіння та, відповідно, зменшення утворення NOx.

1.3.2 Модернізація сталевих конструкцій котлів

Сучасні котли, що використовуються на теплоелектростанціях та в промислових теплоенергетичних системах, зазнають значних теплових і механічних навантажень. Одним із ключових елементів, що визначають ефективність та надійність роботи котлів, є їх конструктивні матеріали, особливо сталеві компоненти. Проте в умовах високих температур та корозійного середовища сталеві конструкції з часом піддаються зносу, що призводить до зниження їх експлуатаційних характеристик і навіть до необхідності передчасної заміни обладнання.

Один із важливих напрямків модернізації котлів полягає у заміні традиційних сталевих конструкцій на жаростійкі сплави. Це дозволяє підвищити ефективність роботи котлів, продовжити їх термін служби, а також знизити витрати на обслуговування та ремонт.

Сталеві конструкції, які використовуються в котлах, мають ряд недоліків, що обмежують їх застосування в умовах високих температур та високих навантажень:

- **Корозія та окислення:** Високі температури та наявність агресивних середовищ (наприклад, кислотних чи лужних парів) можуть спричинити корозійне пошкодження сталі. Згодом це призводить до втрати механічних властивостей матеріалу, його розтріскування та руйнування.
- **Температурні деформації:** Сталь має обмежену жаростійкість, що зумовлює її деформацію під впливом високих температур. Підвищення температури в котлі може призвести до втрати геометрії конструкцій, що негативно впливає на ефективність теплообміну та безпеку роботи котла.
- **Пошкодження через термічні цикли:** В період експлуатації котли піддаються циклічним коливанням температур, що викликає теплові розширення і стискання. Це може призвести до утворення тріщин та інших дефектів на сталевих елементах котла, зменшуючи їх здатність до витримки експлуатаційних навантажень.

Жаростійкі сплави є спеціально розробленими матеріалами, що мають високі температурні характеристики та здатні витримувати екстремальні умови експлуатації. Вони мають ряд переваг, які роблять їх ідеальними для застосування в котельних установках:

- **Висока жаростійкість:** Жаростійкі сплави можуть витримувати набагато вищі температури порівняно зі сталевими конструкціями. Наприклад, деякі з них здатні функціонувати при температурах до 1000°C і вище, що дозволяє значно підвищити ефективність роботи котлів при високих температурах парових потоків.
- **Покращена корозійна стійкість:** Завдяки своїм хімічним властивостям жаростійкі сплави мають високу стійкість до корозії, що особливо важливо в умовах агресивних середовищ, де звичайна сталь швидко зношується. Це дозволяє значно продовжити термін служби котлів.
- **Покращена механічна міцність:** Жаростійкі сплави, завдяки спеціальному складу, здатні витримувати високі механічні навантаження при високих температурах. Це важливо для підтримки стабільності конструкції котла в процесі його роботи.
- **Зменшення втрат енергії:** Завдяки здатності жаростійких сплавів утримувати тепло на більш високих температурах, котел може працювати з більш високим КПД, що знижує витрати палива та підвищує економічну ефективність.

Основні види жаростійких сплавів, які використовуються для модернізації котлів.

Існує кілька типів жаростійких сплавів, які використовуються для заміни сталевих конструкцій котлів:

- **Нержавіючі сталі з високим вмістом хрому та нікелю:** Ці сплави мають високу стійкість до корозії і жаростійкість, що робить їх ідеальними для виготовлення конструктивних елементів, таких як трубопроводи, теплообмінники та плашки в котлах.
- **Сплави на основі нікелю:** Нікелеві сплави, такі як сплави типу Inconel, застосовуються в умовах, де температура перевищує 800°C. Вони відомі своєю високою корозійною стійкістю та здатністю витримувати механічні навантаження при високих температурах.
- **Титанові сплави:** Титанові сплави мають високу жаростійкість і низьку густину, що робить їх привабливими для використання в котлах з високими вимогами до механічних властивостей та ефективності роботи при низьких температурних навантаженнях.

Впровадження жаростійких сплавів у модернізацію котлів

Процес заміни сталевих конструкцій на жаростійкі сплави вимагає ретельного планування та проектування. Перш за все, необхідно враховувати специфікації кожного котла, рівень нагріву, вид палива та умови роботи.

Заміна сталевих конструкцій на жаростійкі сплави є важливим кроком у модернізації котлів, що дозволяє значно підвищити їх ефективність, знизити витрати на обслуговування і ремонт, а також продовжити термін служби обладнання. Вибір відповідних жаростійких матеріалів та впровадження нових технологій сприятиме підвищенню надійності та безпеки роботи котлів, а також зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище.

1.3.3 Модернізація конструктивних елементів котлів

Одним із ключових напрямків модернізації котлів є оптимізація конструктивних елементів, зокрема трубопроводів, що забезпечують подачу і відведення теплоносія в системах теплообміну. Трубопроводи виконують важливу функцію, передаючи тепло від котла до споживачів і відводячи відпрацьовані гази, тому ефективність і надійність роботи котла безпосередньо залежать від правильного проектування та експлуатації цих елементів. У процесі модернізації важливо звертати увагу на оптимізацію їхнього розміщення, конструкції та матеріалів, що дозволить зменшити теплові втрати, підвищити енергоефективність і продовжити термін служби котельного обладнання.

Оптимізація розміщення трубопроводів

Розміщення трубопроводів у котлі та в межах котельної установки має безпосередній вплив на ефективність роботи системи. Оптимізація цього розміщення передбачає кілька ключових аспектів:

- **Зниження теплових втрат:** Неправильне розміщення трубопроводів може призвести до значних теплових втрат, особливо в зонах з низькими температурами теплоносія або в місцях, де теплообмін з навколишнім середовищем відбувається непотрібно. У разі модернізації варто передбачити більш ефективну ізоляцію трубопроводів або їх перенесення в більш теплі зони.
- **Запобігання гідравлічним ударами:** Неправильно спроектовані трубопроводи можуть стати причиною гідравлічних ударів, що призводить до поломок і зниження терміну служби труб. Оптимальне розміщення трубопроводів повинно передбачати зменшення швидкості потоку та уникнення різких змін напрямку для запобігання таких явищ.
- **Зручність обслуговування:** Для забезпечення нормального процесу обслуговування котельного обладнання важливо правильно розмістити

трубопроводи так, щоб доступ до них був зручним для проведення ремонту та технічного огляду. Розміщення трубопроводів повинно враховувати простір для встановлення вентилів, фільтрів, манометрів та інших приладів.

Модернізація конструкції трубопроводів

Зміни в конструкції трубопроводів можуть значно покращити їх ефективність та надійність. До основних аспектів модернізації конструкції трубопроводів можна віднести:

- **Вибір матеріалів для трубопроводів:** Одним із важливих аспектів модернізації є вибір матеріалів для трубопроводів, що забезпечують високу корозійну стійкість і довговічність. Сучасні сталеві та композитні матеріали можуть значно покращити характеристики труб, забезпечуючи їх стійкість до високих температур і тиску. Застосування труб із жаростійких сплавів або полімерних матеріалів може знизити знос трубопроводів і поліпшити їх експлуатаційні властивості.
- **Розширення діаметра трубопроводів:** Модернізація котлів може включати збільшення діаметра трубопроводів, що дозволяє знизити гідравлічний опір і забезпечити більш ефективний теплообмін. Це особливо важливо для котлів, що працюють на великих потужностях, оскільки збільшення діаметра труб дозволяє зменшити втрати тиску і полегшити рух теплоносія.
- **Оптимізація фітінгів і з'єднань:** Важливим моментом є модернізація з'єднань і фітінгів трубопроводів. Використання новітніх з'єднань, таких як фланцеві або безшовні з'єднання, може зменшити ймовірність витоків та підвищити надійність системи. Це також може знизити ймовірність корозії в місцях з'єднань, що є особливо важливим для трубопроводів, що працюють під високим тиском.
- **Інтеграція ізоляції:** Для зменшення теплових втрат важливо впроваджувати ефективні технології термоізоляції трубопроводів. Ізоляційні матеріали повинні мати високу теплопровідність, бути стійкими до впливу високих температур та механічних пошкоджень. Завдяки такій ізоляції можна значно знизити енергетичні втрати і забезпечити стабільну роботу котла.

Використання сучасних технологій для модернізації трубопроводів

Інноваційні технології значно поліпшують ефективність та безпеку трубопроводів у котлах:

- **3D-моделювання трубопроводів:** Сучасні методи моделювання, такі як 3D-сканування і комп'ютерне проектування, дозволяють точно

визначити оптимальне розташування трубопроводів і їх конструкцію. Це дозволяє усунути помилки проектування, що можуть призвести до непотрібних витрат на реконструкцію.

- **Технології безшовних труб:** Впровадження безшовних труб для важких умов експлуатації дозволяє значно знизити ймовірність виникнення тріщин і витоків, а також підвищити надійність і довговічність системи трубопроводів.
- **Інтелектуальні системи моніторингу:** Встановлення систем автоматичного моніторингу для визначення стану трубопроводів в режимі реального часу дозволяє оперативно виявляти несправності, знижувати ймовірність аварійних ситуацій і здійснювати планові ремонтні роботи в оптимальні терміни.

Модернізація трубопроводів котлів є важливим напрямком для підвищення їх енергоефективності, надійності та безпеки. Оптимізація розміщення трубопроводів, вибір сучасних матеріалів і конструкцій, а також інтеграція новітніх технологій дозволяють значно покращити ефективність котельних установок. Правильна організація трубопроводів сприяє зменшенню теплових втрат, збільшенню терміну служби обладнання, а також забезпеченню безперебійної роботи котла при високих навантаженнях.

1.3.4 Модернізація в промислових об'єктах України

Україна активно працює над модернізацією своїх енергетичних і промислових об'єктів, щоб забезпечити не лише економічну ефективність, а й дотримання екологічних стандартів та підвищення енергетичної безпеки. Оскільки значна частина теплових установок в Україні складається з котлів типу ПТВМ-100 та КВ-Г-116,3-150, модернізація цього обладнання в промислових об'єктах є важливим кроком для забезпечення стійкого функціонування енергетичних систем. Нижче наведено кілька успішних прикладів модернізації котлів на підприємствах України.

Модернізація на теплоелектроцентралі (ТЕЦ) міста Львова

У 2019 році на Львівській теплоелектроцентралі (ТЕЦ) була проведена масштабна модернізація котлів ПТВМ-100, що працюють на природному газі. Заміна старих пальникових систем та встановлення новітніх економайзерів дозволили значно підвищити ефективність спалювання палива. В результаті модернізації ККД котлів зріс на 7-10%, а викиди шкідливих речовин зменшилися на 15%.

Завдяки інтеграції нових систем автоматизації та моніторингу вдалося оптимізувати процеси роботи котлів, що забезпечило стабільну подачу тепла та гарячої води до міста в умовах постійно змінюваних навантажень.

Модернізація котлів ПТВМ-100 на підприємстві «Азот» (Черкаси)

На черкаському хімічному підприємстві «Азот» було проведено успішну модернізацію котлів ПТВМ-1000, які використовуються для забезпечення енергетичних потреб виробничих процесів. Заміна старих пальників на низькоемісійні та модернізація системи димових газів допомогли знизити викиди оксидів азоту на 30%.

Паралельно з цим була реалізована установка нового обладнання для утилізації відхідного тепла та інсталяція системи автоматичного регулювання подачі палива, що дозволило знизити витрати на енергію та збільшити надійність роботи котлів. Після модернізації підприємство досягло не тільки економії на паливі, але й значного поліпшення екологічної ситуації в регіоні.

Модернізація на ТЕЦ у місті Харкові

У 2020 році була завершена модернізація котлів ПТВМ-100 на Харківській теплоелектроцентралі, яка є основним джерелом тепла для багатьох житлових та промислових об'єктів міста. Однією з ключових змін стало встановлення нових економайзерів, що дозволяють збільшити ефективність використання тепла, отриманого від відхідних газів.

Також була модернізована система управління котлами, що дозволила інтегрувати їх у загальну мережу моніторингу, яка автоматично коригує параметри роботи котлів в залежності від змін навантаження і умов зовнішнього середовища. Результатом модернізації стало зниження витрат на енергію та зменшення викидів шкідливих газів на 20%.

Модернізація котлів ПТВМ-100 на Запорізькому металургійному комбінаті

Запорізький металургійний комбінат, один з найбільших виробників сталі в Україні, у рамках своєї програми зниження енергоспоживання та покращення екологічних показників модернізував котли ПТВМ-100. Проект включав заміну традиційних пальників на нові моделі, що забезпечують більш ефективне та чисте згоряння палива, а також встановлення системи повторного використання тепла від вихлопних газів для підвищення енергоефективності.

Модернізація також передбачала використання комбінованих видів палива, що дозволило комбінату знизити витрати на закупівлю газу та зменшити викиди вуглекислого газу.

Модернізація в агропромисловому секторі

В агропромислових компаніях, таких як «Миронівський хлібопродукт» і «Інтерпайп», також проводяться успішні модернізації котлів ПТВМ-100. В

цих підприємствах реалізовано кілька проектів з переходу на альтернативні види палива, такі як біомаса (сухі відходи з сільського господарства), а також встановлення економайзерів та інноваційних пальників для зниження викидів та підвищення ефективності використання енергетичних ресурсів. Ці зміни дозволили компаніям знизити витрати на паливо, підвищити рівень енергетичної самодостатності та мінімізувати вплив на навколишнє середовище.

Успішна модернізація котлів ПТВМ-100 на промислових об'єктах України демонструє значний потенціал для покращення енергетичної ефективності, зменшення викидів і зниження експлуатаційних витрат. Впровадження сучасних технологій і рішень, таких як модернізація пальників, інтеграція автоматизації та перехід на альтернативні джерела палива, дозволяє українським підприємствам залишатися конкурентоспроможними, одночасно відповідаючи на виклики екологічної політики та енергетичних змін у країні.

1.3.4 Досвід Європейських країн

Європейські країни є лідерами у впровадженні інноваційних технологій та модернізації енергетичних систем, включаючи теплові котли та інші теплоенергетичні установки. Процес модернізації котлів ПТВМ-100 та аналогічних типів в Європі часто є частиною широкомасштабних ініціатив з підвищення енергоефективності, зниження викидів CO₂ та оптимізації витрат на енергоресурси. Розглянемо кілька яскравих прикладів успішної модернізації котлів в європейських країнах.

Німеччина: Перехід на біомасу та модернізація для зниження викидів

У Німеччині багато котлів на традиційному паливі були модернізовані для роботи на біомасі. Наприклад, на одному з найбільших енергетичних підприємств в Німеччині було здійснено повну модернізацію котлів, які раніше працювали на вугіллі, з адаптацією до біопалива. Це дозволило не лише зменшити викиди парникових газів, але й істотно знизити витрати на імпортовані енергоносії.

Основні етапи модернізації включали:

- **Заміна пальникових систем**, що дозволило оптимізувати спалювання біомаси.
- **Встановлення спеціалізованих систем очищення газів**, щоб відповідати екологічним стандартам Європейського Союзу.
- **Інтеграція автоматизованих систем управління**, що дають змогу регулювати процес спалювання і знижувати витрати на паливо.

В результаті модернізації на цьому підприємстві вдалося значно знизити рівень викидів CO₂ та інших шкідливих речовин, що відповідало вимогам Директиви ЄС щодо скорочення викидів.

Швеція: Інтеграція відновлювальних джерел енергії та когенерація

Швеція є однією з найбільш передових країн у використанні відновлювальних джерел енергії та інтеграції когенераційних технологій. На кількох ТЕЦ в Швеції було здійснено модернізацію котлів для забезпечення когенерації — одночасного виробництва тепла та електричної енергії. Ці котли були переоснащені для спалювання як традиційного палива, так і альтернативних джерел енергії, таких як біогаз і деревна тріска.

Основні кроки модернізації включали:

- **Модернізація котлів для підтримки двох типів палива:** традиційного газу та біомаси.
- **Встановлення когенераційних турбін** для виробництва електричної енергії разом з теплом.
- **Інтеграція з мережею відновлювальних джерел енергії**, що дозволило зменшити залежність від викопних видів палива та значно знизити викиди CO₂.

Такий підхід не тільки підвищив енергетичну ефективність, а й допоміг зменшити витрати на енергоресурси завдяки ефективному використанню як тепла, так і електричної енергії.

Польща: Впровадження низькоемісійних технологій

Польща активно працює над модернізацією котлів для зниження рівня викидів шкідливих речовин, особливо оксидів азоту (NO_x) та сірки (SO_x). У рамках одного з проєктів на великому вугільному ТЕЦ було проведено модернізацію котлів з використанням нових пальникових технологій для зниження викидів NO_x до рівня, що відповідає сучасним європейським стандартам.

Основні етапи модернізації в Польщі включали:

- **Заміна старих пальникових систем на низькоемісійні моделі**, що дозволяє зменшити викиди оксидів азоту під час процесу згоряння.
- **Встановлення сучасних систем очищення газів**, включаючи селективне відновлення каталітичних систем (SCR), що знижує викиди NO_x.
- **Оновлення теплообмінних поверхонь** для підвищення ефективності обміну теплом і зменшення витрат палива.

Результатом цієї модернізації стало значне покращення екологічних показників та підвищення енергоефективності без істотного збільшення витрат на експлуатацію.

Франція: Впровадження цифрових технологій та автоматизації

У Франції на кількох енергетичних станціях було впроваджено нові цифрові технології для модернізації котлів ПТВМ-1000, що дозволило оптимізувати процеси спалювання палива та зменшити витрати. Це включало впровадження систем управління на базі штучного інтелекту, що автоматично коригують параметри котлів відповідно до змінних умов.

Основні етапи модернізації:

- **Інтеграція цифрових двійників котлів**, що дозволяє відслідковувати та прогнозувати параметри роботи котлів у реальному часі.
- **Впровадження автоматизованих систем управління та моніторингу**, що дозволяють зменшити людський фактор і підвищити ефективність.
- **Оптимізація процесів спалювання та управління паливом** за допомогою сучасних алгоритмів.

Ці технології дозволяють значно підвищити ефективність роботи котлів, зменшити час на їх обслуговування та сприяти зменшенню загальних експлуатаційних витрат.

Досвід європейських країн у модернізації котлів ПТВМ-100 та аналогічних установок є яскравим прикладом того, як новітні технології можуть значно підвищити енергоефективність, знизити викиди шкідливих газів і сприяти інтеграції з відновлювальними джерелами енергії. Всі ці модернізаційні кроки допомагають країнам виконувати вимоги міжнародних екологічних стандартів і досягати значних економічних вигод.

3. Паротурбінні установки

2. 1 Протитискові парові турбіни.

У котельнях України встановлено котли, тиск пари в яких 1,2–1,5 МПа. Велика частина з них типу ДКВР продуктивністю від 6,5 до 25 т/год пари на тиск 1,3–1,4 МПа. Пар, що виробляється котлами (насичений або перегрітий), перш ніж поступити до споживача, дроселюється в редуційно-охолоджувальних установках (РОУ) від 1,2 – 1,5 до 0,3–0,5 МПа, потенційна енергія тиску безповоротно втрачається.

Якщо паралельно з РОУ встановити турбогенератор з протитисковою турбіною і подати до неї пар, що проходив раніше через РОУ, то можна завдяки використанню потенційної енергії пари виробити додатково електроенергію, кількість якої залежить від витрати пари і його параметрів після котлів.

Водночас загальна витрата палива зросте не більше, ніж на 10–15 % у порівнянні з базовим варіантом, тобто при використанні до установки турбіни. У той же час питома витрата палива на вироблення електроенергії зменшиться, приблизно в 2 рази. У разі планового або аварійного зупину турбіни на ремонт котельня продовжить працювати, дроселюючи пару у РОУ, як і до установки турбіни. Якщо перевести котельню в міні-ТЕЦ, то доцільно використовувати турбіни протитискового типу, пара із яких подається на підігрівання мережної води [1, 2, 3].

У літній період за відсутності опалювального навантаження, коли котел та турбіна не експлуатуються, необхідний пошук раціональних техніко-технологічних рішень для використання діючого енергетичного обладнання у економічною і соціальною метою [4 – 6]. Отже, якщо застосувати додатковий контур з низькокиплячим робочим тілом (описується нижче), то теплоту із вихлопу протитискових турбіни можна передавати у цей контур й виробляти електроенергію [7]. Подібний контур також можна застосувати під час скидання низькопотенційної пари або гарячої води після технологічного процесу на промислових підприємствах.

Використання пари більш низьких параметрів можливо у разі застосування турбін м'ятої пари або турбін декількох тисків. Для турбін м'ятої пари потрібна постійна, достатньо велика, витрата відпрацьованої пари та рівномірне надходження її від парових турбін. Однак значні зміни витрати пари будуть викликати коливання потужності турбіни. Зазначені причини призводять до додавання частини високого тиску, яка отримує пар від котельні установки під час відсутності або недостатнього надходження м'ятої пари.

Така машина має назву турбіни двох тисків. Разом із тим варіант застосування цих двох видів турбін, що забезпечують загальний ефективний ККД цього циклу, не більше 40 % за відносно високих питомих капітальних витратах, розглядати недоцільно, крім випадків, що мають цільову спрямованість.

Шляхом використання малих турбін для вже наявного в котельні обладнання вартість 1 кВт установленної потужності «під ключ» складе від 1 000 дол. США до 1 500 дол. США залежно від потужності та типу турбіни, що в два і більше рази менше, ніж за будівництва нової ТЕЦ. Собівартість електроенергії, що виробляється міні-ТЕЦ (особливо при установці турбін із протитиском) може бути значно (у кілька разів) нижче, ніж роздрібна вартість електроенергії на енергоринку. Окрім безпосередньої економічної вигоди від отримання більш дешевої електроенергії, за переведення котельень у міні-ТЕЦ підвищується надійність забезпечення електроенергією (турбогенератори можуть працювати паралельно з електричною мережею).

Об'єкти, на яких устатковуються турбоустановки з генераторами, стають повністю або частково незалежними від енергоринку, що змушує виробників електричної та теплової енергії підвищувати якість послуг, що надаються. У разі надбудови діючої котельні мініблоком, відповідної потужності, доцільно розглянути потенційний ринок України з використання паротурбінних установок малої потужності (0,5– 4,0 МВт, у деяких випадках і більше) у комунальному секторі господарства [9].

Теплова схема мініелектростанції, де паралельно РОУ встановлена парова протитискова турбіна, для забезпечення виробництва електричної енергії, що зменшує витрати підприємства на придбання електроенергії від мережі (див. рисунок 3.1).

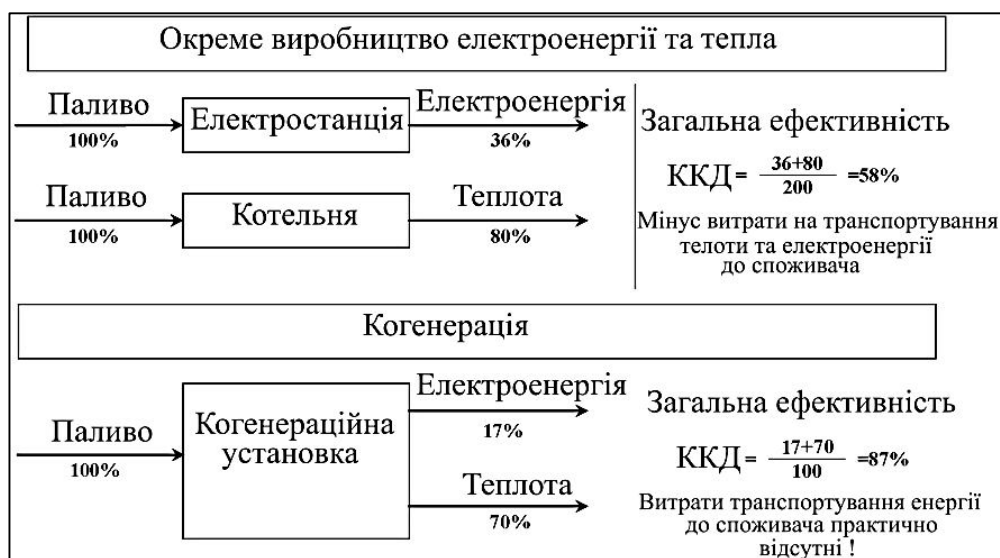


Рисунок 3.1 Порівняння окремого виробництва електроенергії та тепла з

когенерацією

Там само подано схему потоків теплової та електричної енергії на парових опалювальних котельнях, що переведені врозряд міні-ТЕЦ (рисунок 3.2).

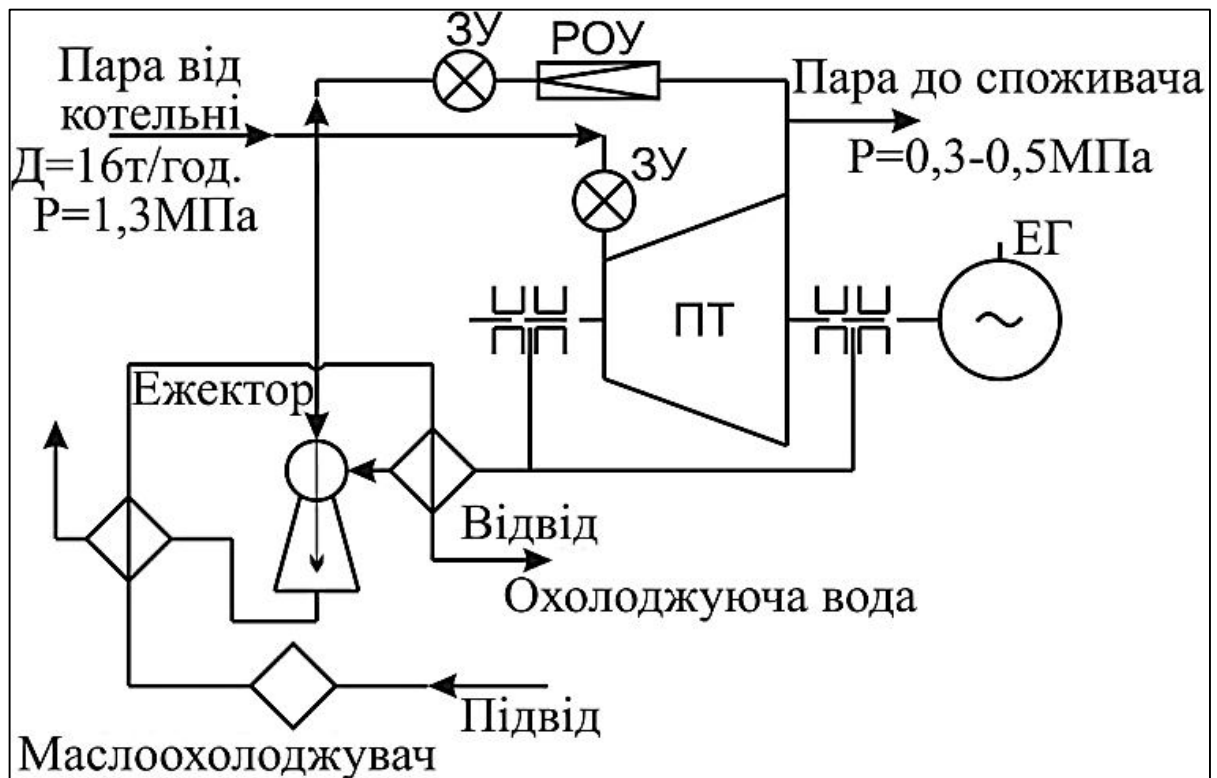


Рисунок 3.2 – Схема підключення протитискової турбіни на промислово-опалювальній котельні.

За відсутності електроенергетичної надбудови котельня виробляє в основному циклі теплову енергію з витратою палива. Втрати визначаються значенням ККД котла (у трубопроводах і у споживача в основному циклі до теплоспоживання). Визначення ефективності електроенергетичної надбудови здійснюється за умови, що споживач отримує таку саме кількість тепла, як за відсутності надбудови. Під час вироблення електричної потужності, потрібне додаткове паливо, яке також спалюється з ККД котла. У цьому випадку можуть спостерігатися невеликі додаткові втрати енергії у вигляді витоків тепла в трубопроводах підведення пари до турбогенератора та відведення його при повітряному охолодженні генератора ці втрати мають бути покриті додатковою витратою палива.

Основні загальні характеристики турбін на водяній парі подано в таблиці 8.1.

Таблиця 8.1 – Загальні характеристики турбін на водяній пар.

Характеристика	ЗАТ «Мала незалежна енергетика»	ЗАТ «Еко-Енергетика», ПГ «Генерація»	
	ПВМ-250	ПВМ-500 (АВПР-0,5)	ПВМ-1000 (АВПР-1,0)
Діаметри (зовнішні) гвинтів, мм	–	250	315
Робоче середовище	водяна пара	водяна пара	водяна пара (насичена)
Параметри пари:			
– тиск на вході, МПа	0,9–1,4	0,8-1,6	0,8–1,6
– температура на вході, °С	не вище 194	170–250	170-250 (194) (< 468)
– тиск на виході, МПа	0,1–0,45	0,2–0,6	0,1-0,6
– температура на виході, °С	–	100–158	120–158 (120) (не більше 393)
Масова витрата пари, т/ч	6,0–9,0	6,0–12,0	18,0
Частота обертів провідного ротора, об/хв	3 000	6 000	6 000
Частота обертів вихідного валу, об/хв	1 500	3 000	3 000
Потужність на вихідному валу, МВт	0,2–0,25	0,2–0,5	не менше 1,0
Внутрішній відносний ККД турбіни, %	65–70	65–70	67–70
Напруга / частота току, В/Гц	380 / 50		
Габаритні розміри (Д×Ш×В), мм	2 850×750×1 200	1200×700×840	2 420×1 300×1 440 (2 250×820×600)
Маса, кг	2 500	860	3 500 (2 000)
Масильна система	циркуляційна під тиском від масляного насосу		
Масло, що використовується	турбінне Тп-46 ГОСТ 9972-74		
Рівень шуму, дБА		не більше 80*	95*
Ресурс міжремонтний, рік (год)	більш 5 років (50 000)	3	(30 000)

* У діапазоні частот 31,5–8000 Гц усереднені по чотирьох точках вимірювання, розташовані в горизонтальній площині на висоті 1 м і на відстані 1 м від поверхні установки.

2.2 Парові гвинтові турбіни.

Гвинтова парова турбіна – компактний двигун об'ємного типу, що містить ведучий і ведений вали (ротори) шнекового типу. При їхньому обертанні утворюється V-подібна робоча камера, обсяг якої залежить тільки від кута обертання, завдяки енергії розширення робочого тіла. Синхронізація обертання валів у протилежних напрямках здійснюється шестернями зв'язку за типом гвинтових насосів, компресорів (рисунок 8.1). Потужність двигуна за стабільної швидкості обертання вихідного валу регулюється зміною витрати робочого тіла.

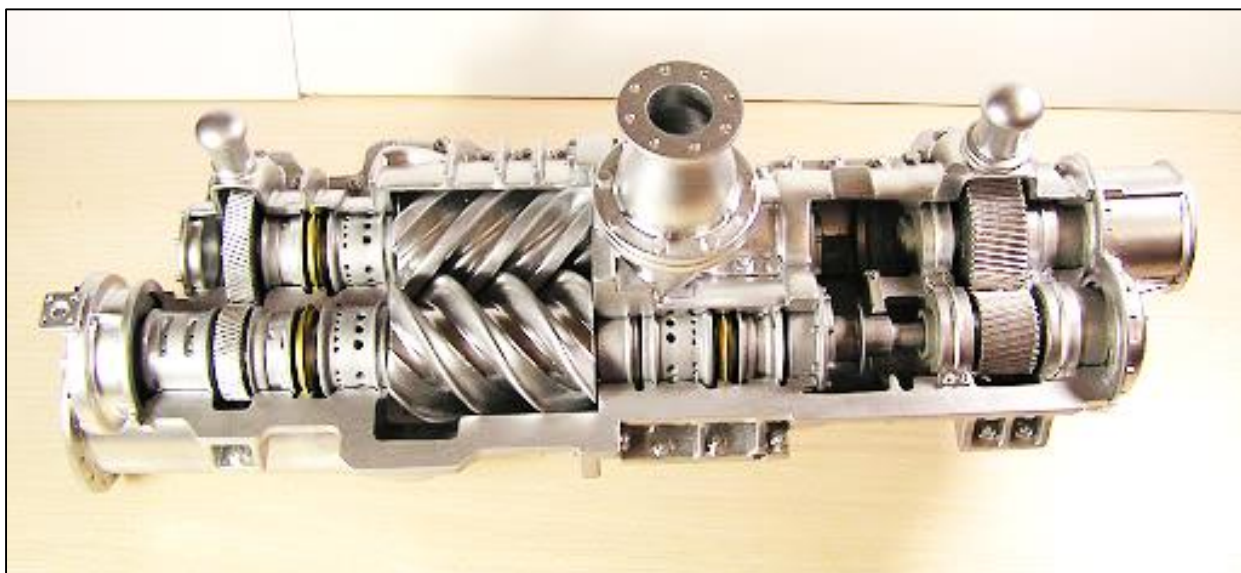


Рисунок 8.1 – Зачеплення гвинтівпаро-гвинтової турбіни

В Україні парові гвинтові турбіни не виробляються. В світі є кілька виробників парових гвинтових турбін. Відомості про використання гвинтових машин як парових розширювачів за кордоном відсутні [11].

У 1998 році ЗАТ «Мала незалежна енергетика» випущений пілотний зразок парової гвинтової турбіни – ПВМ-250 потужністю 250 кВт [12, 13]. Перші три ПВМ працювали як приводи сітьових насосів на ЦТП одного з московських підприємств. Машини другого і третього поколінь пройшли тривалі випробування в режимі турбогенератора на московському заводі бетонно-керамічних виробів «Бекерон» [13]. Проектування і випуск парових гвинтових турбін освоїло і ТОВ «ВМ-Енергія» (м. Уфа). У 2004 р. змонтована

виготовлена на замовлення ВАТ «Раєвський цукровий завод» (п. Раєвський, Республіка Башкортостан) гвинтова енергетична машина ПВМ-2000АГ з максимальною потужністю асинхронного генератора 800 кВт [11].

Основні технічні характеристики гвинтових турбін подано в таблиці 8.2.

Характеристика	ЗАТ «Мала незалежна енергетика»	ЗАТ «Еко-Енергетика», ПГ «Генерація»	
	ПВМ-250	ПВМ-500 (АВПР-0,5)	ПВМ-1000 (АВПР-1,0)
Діаметри (зовнішні) гвинтів, мм	–	250	315
Робоче середовище	водяна пара	водяна пара	водяна пара (насичена)
Параметри пари:			
– тиск на вході, МПа	0,9–1,4	0,8–1,6	0,8–1,6
– температура на вході, °С	не вище 194	170–250	170–250 (194) (< 468)
– тиск на виході, МПа	0,1–0,45	0,2–0,6	0,1–0,6
– температура на виході, °С	–	100–158	120–158 (120) (не більше 393)
Масова витрата пари, т/ч	6,0–9,0	6,0–12,0	18,0
Частота обертів провідного ротора, об/хв	3 000	6 000	6 000
Частота обертів вихідного валу, об/хв	1 500	3 000	3 000
Потужність на вихідному валу, МВт	0,2–0,25	0,2–0,5	не менше 1,0
Внутрішній відносний ККД турбіни, %	65–70	65–70	67–70
Напруга / частота току, В/Гц	380 / 50		
Габаритні розміри (Д×Ш×В), мм	2 850×750×1 200	1200×700×840	2 420×1 300×1 440 (2 250×820×600)
Маса, кг	2 500	860	3 500 (2 000)
Масильна система	циркуляційна під тиском від масляного насосу		
Масло, що використовується	турбінне Тп-46 ГОСТ 9972-74		
Рівень шуму, дБА		не більше 80*	95*
Ресурс міжремонтний, рік (год)	більш 5 років (50 000)	3	(30 000)

Таблиця 8.2 – Технічні характеристики базових моделей парових гвинтових турбін Характеристика

Парова гвинтова турбіна застосовуються в тих же випадках, що і парові осьові турбіни з протитиском для комбінованого вироблення теплової та електричної енергії. Детально конструктивні особливості гвинтових турбін подано. На сучасній стадії розвитку і поширення гвинтових парових турбін різні виробники реалізують різну стратегію просування машин на ринок. Фахівці ЗАТ «Мала незалежна енергетика» з метою власних потреб теплоджерела більше ніж 250 кВт рекомендують встановлювати кілька ПВМ-250 у паралель [12, 13]. Надбудова котельні групою з чотирьох ПВМ-250 дозволить виробляти до 1 МВт електричної потужності під час опалювального сезону. У разі зниження теплового навантаження можна зупинити «зайві» агрегати, експлуатуючи ПВМ у діапазоні, близькому до номінального робочого режиму.

За установа одиначного лопаткового агрегату потужністю 1 МВт, тільки 1–2 місяці на рік турбогенератор буде працювати в режимі, близькому до номінального. У разі зниження теплового навантаження (зменшенні виробництва і витрати пари), ефективність роботи турбогенератора буде знижуватися, а за досягнення рівня 30 %, подальша експлуатація буде неможливою. Під час роботи міні-ТЕЦ у паралель з електричною мережею установка декількох машин призведе до нереального для реалізації терміну окупності проекту 6–8 років Менеджери ЗАТ «Еко-Енергетика» просувають на ринку машину АВПР-1, оскільки згідно з маркетинговими дослідженнями потужність 1 000 кВт найбільш задовольняє попиту на ринку енергоустановок малої потужності [13, 14]. Собівартості машин 200, 1 000, 2 000 МВт близькі, тому під час вибору потужності компанія також орієнтувалася на оптимальну собівартість 1 кВт·год електроенергії і реальні терміни окупності. Установка використовується за температури довкілля 5–45 °С. Що стосується реалізації електричних схем, то вони однакові за реконструкції котельні в міні-ТЕЦ і не залежать від типу розширювальної машини, яка встановлюється для приводу генератора (осьова або гвинтова турбіна). Техніко-економічні характеристики міні-ТЕЦ із АВПР-1,0:

- питомі капиталовкладення ~400–500 USD/кВт;
- термін виконання реконструкції котельні із переведенням у режим міні-ТЕЦ – 1,5–2 роки;
- вибрана потужність турбіни дозволяє гнучко вибудовувати схеми утилізації пари, мати резерв для пікових навантажень, враховувати сезонні графіки.

Компанія ЗАТ «Еко-Енергетика» розробляє і створює лінійку агрегатів в діапазоні потужностей від 200 до 2 000 кВт (таблиця 8.3).

Електрична потужність, кВт	Параметри пари на вході/ виході		Витрата пари, т/год	Частота обертання валу, об/хв	Діаметр роторів, мм	Габарити, м (Д × Ш × В)
	Тиск, МПа	Температура, °С				
200	1,3/0,53	194/150	8,5	3 000	250	1,2×0,73×0,44
400	1,3/0,53	194/150	17	6 000	250	1,2×0,73×0,44
1 000	1,4/0,22	280/130	18,6	3 000	400	1,92×1,17×0,79
1 400	1,6/0,65	300/220	40	3 000	400	1,92×1,17×0,79
2 000	1,4/0,22	280/130	37	3 000	500	2,4×1,47×0,99
2 800	1,6/0,65	300/220	80	3 000	500	2,4×1,47×0,99

Таблиця 8.3 – Технічні характеристики гвинтових турбін

Випадіння вологи в процесі розширення пари в гвинтовій машині створює менше проблем, ніж в осьовій турбіні, де волого-парова ерозія може призводити до руйнування лопаток. У гвинтовій машині волога, що випадає, має і зитивний бік, тому що спричиняє захаращення щілин, збільшення опору при протіканнях пари через зазори в робочих органах і відповідно до зростання ККД. А якщо врахувати такі властивості гвинтової машини, як простота конструкції, високі надійність і довговічність роботи, то застосування гвинтового розширювача у складі енергетичного модуля виявляється цілком раціональним і практично виправданим.

3. ПЕРЕВІД КОТЛА В ПАРОВОДОГРІЙНИЙ РЕЖИМ РОБОТИ

3.1 Основні технічні характеристики котла

Водогрійний котел КВ-Г-116,3-150 призначений для роботи на природному газі в основному режимі при тиску гарячої води до 2,5 МПа та її нагріванням до температури 150°C.

Основне паливо - природний газ.

Аварійне паливо - паливний мазут марки М100 ДСТУ 4058-2001 «Паливо нафтове. Мазут. Технічні умови».

Основні технічні характеристики та параметри котла наведено у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Основні технічні характеристики та параметри котла Після модернізації

Параметри		Розмір-ність	Природний газ	Мазут
1		2	3	4
Номінальна теплова продуктивність котла		МВт (Гкал/год)	116,3 (100)	116,3 (100)
Надлишковий розрахунковий тиск		МПа (кгс/см ²)	2,5 (25)	2,5 (25)
Витрата води:	- номінальна	т/год	1235	1235
	- мінімальна		1000	1000
Температура води на вході до водогрійного котла		°С	70	70
Температура води на виході з водогрійного котла		°С	150	150
Робочий тиск води на вході в котел		МПа (кгс/см ²)	1,0-2,5 (10-25)	1,0-2,5 (10-25)
Гідрравлічний опір котла, не більше		МПа (кгс/см ²)	0,25 (2,5)	0,25 (2,5)
Розрахунковий коефіцієнт корисної дії котла брутто (при температурі навколишнього середовища 10°C)		%	не менше 94,7	92,3
Витрати палива на котел:	- природний газ (при Q _н ^p = 8476 ккал/нм ³)	нм ³ /год	12 500 - 12 800	-
	- мазут	кг/год	-	11 550
Температура відхідних газів		°С	125	180
Парова частина				
Робоче середовище			водяна пара (насичена)	водяна пара (насичена)
Параметри пари:		°С	320	305
Тиск на виході,		МПа	22	22

3.2 ОПИС КОНСТРУКТИВНИХ РІШЕНЬ.

- ✓ Виконується демонтаж контрольної області конвективної частини водогрійного котла КВ-Г-116,3-150. Див. рис. 4.1

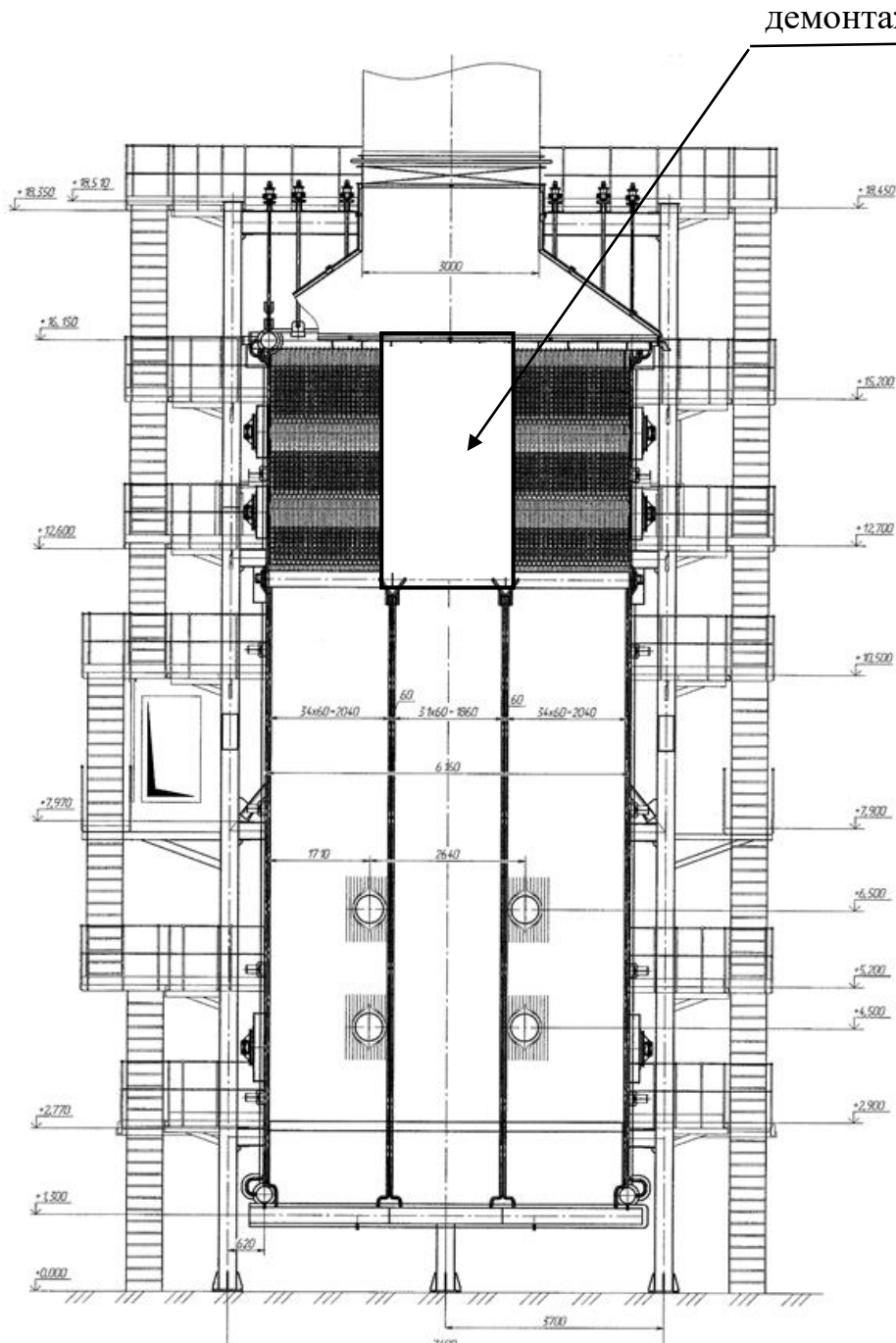


Рисунок 4.1 – Водогрійний котел КВ-Г-116,3-150 емонтаж центральної області конвективної частини

У центральну область конвективної частини водогрійного котла КВ-Г-116,3-150 встановлюється парогенеруючий пакет див. рис. 4.1. Пакет складається з пучка нахилених кип'ятільних труб $\text{Ø}51 \times 2,5$ завдовжки 6,3м у кількості 270 шт. загальною площею 270м^2 . Див. рис. 4.2

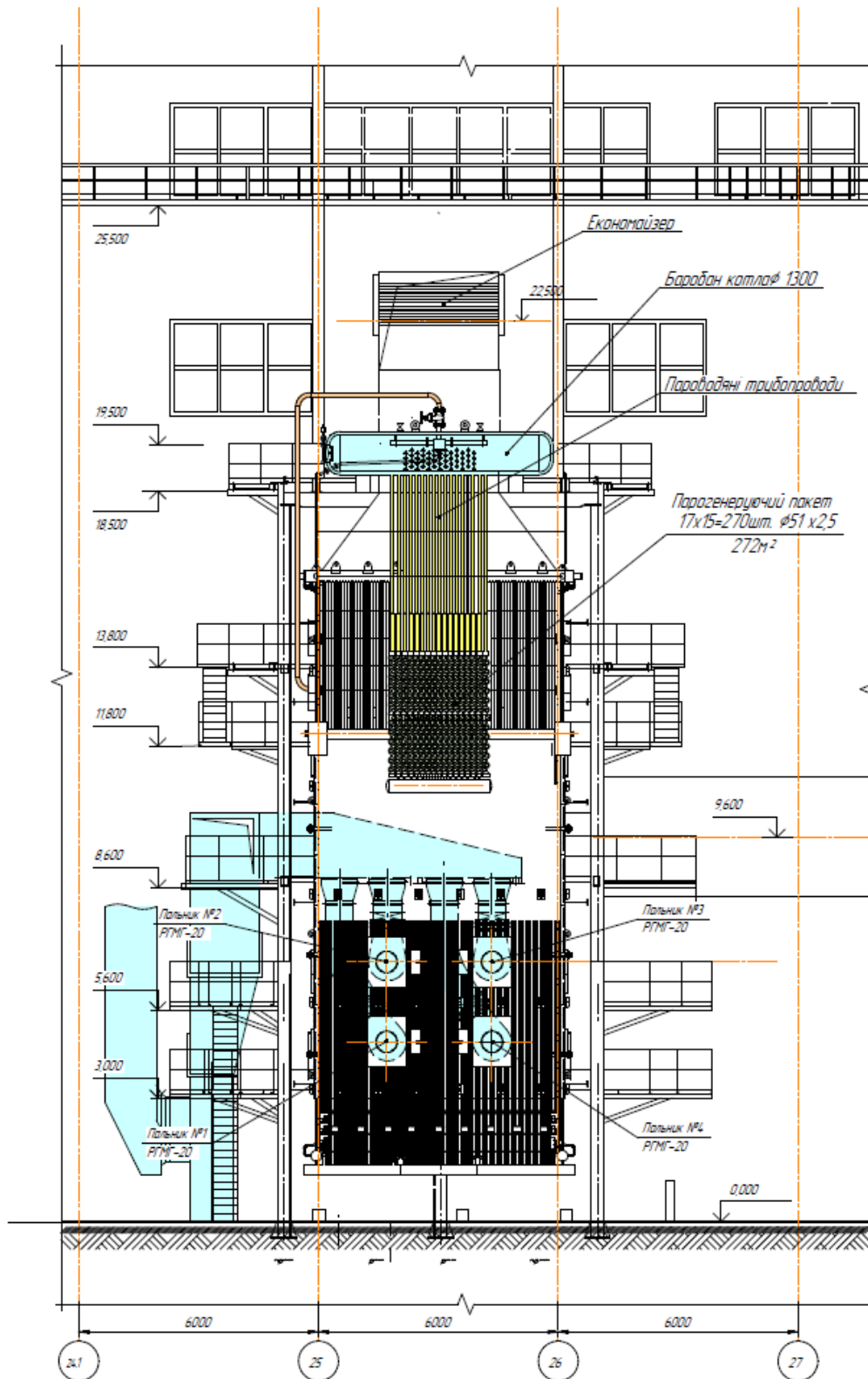


Рисунок 4.2 – Водогрійний котел КВ-Г-116,3-150 після встановлення парової частини

Також передбачається встановлення пакету пароперегрівача, що складається з пучка труб $28 \times 2,5$ завдовжки 19,1 м у кількості 90 шт. загальною площею 150 м^2 . Див. рис. 4.3

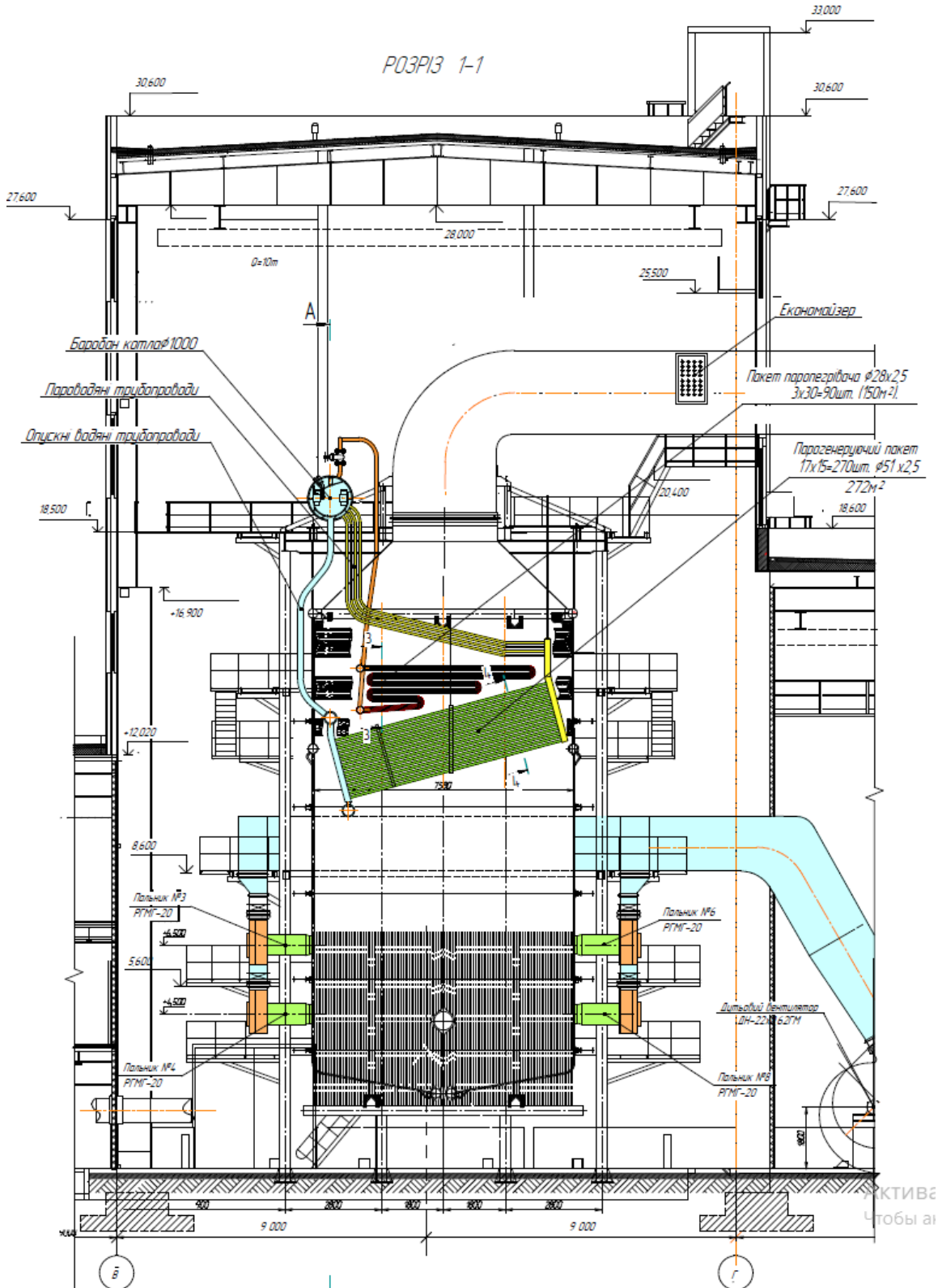


Рисунок 4.3 – Водогрійний котел КВ-Г-116,3-150 після встановлення парової частини пароперегрівача, барабана та економайзера

Верхній паровий барабан встановлюється з внутрішніми центробіжними циклонами в кількості 23 шт., що покращує параметри пари, видаляє зайву вологу перед пароперегрівачем, що продовжує його термін служби. Довжина барабана складає 6,5м діаметр 1,3м. Див. рис 4.4. Опорними конст-рукціями для встановлення барабана є каркас котла.

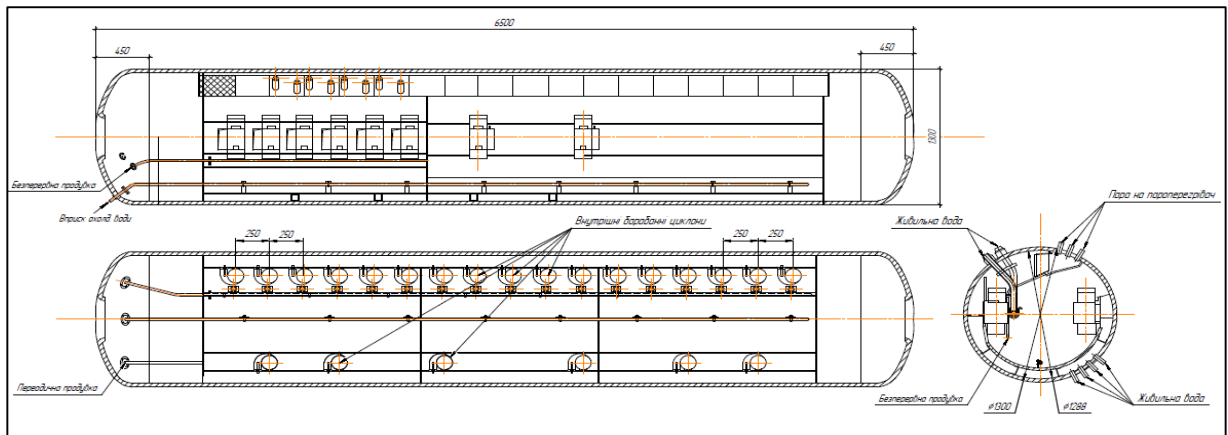


Рисунок 4.4 – Барабан котла

Для підігріву поживної води передбачено встановлення сталевого водяного економайзера в газохід котла. Див. рис. 4.2.

Парова турбіна фірми «Siemens» конденсаційна. MCR електричною потужністю 1500кВт, при тиску пари на вході в турбіну 2,2 Мпа при температурі пари 320°C з витратою пари 22 т/год встановлюються у приміщенні насосного відділення. Конденсатор турбіни і бойлери аварійного прийому пари встановлюється в тому самому приміщенні. Див. рис 4.4

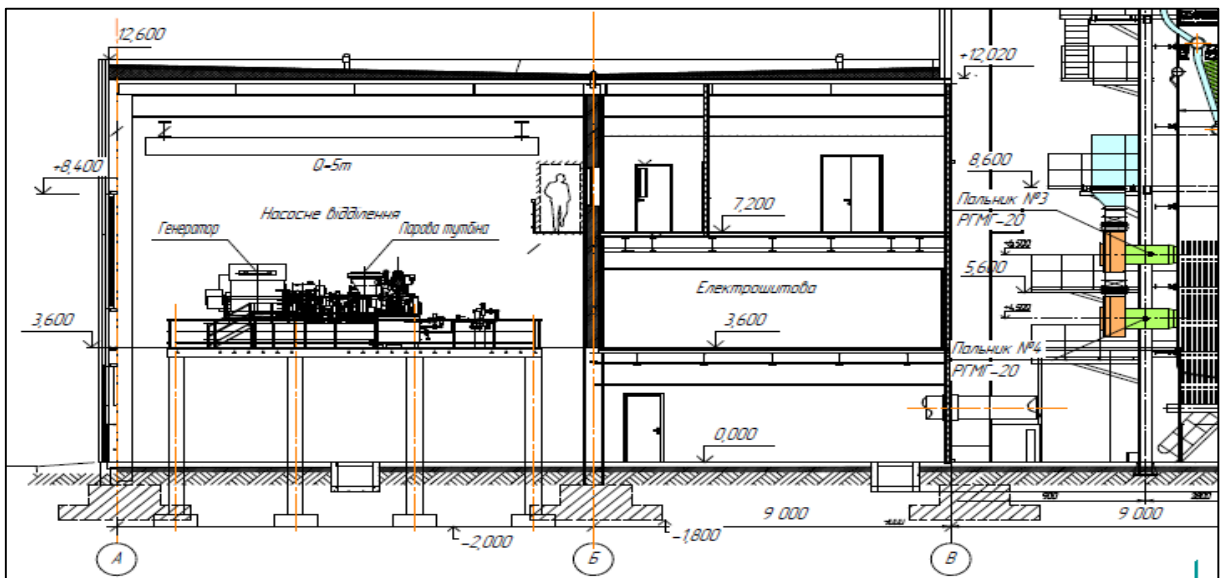


Рисунок 4.4 – місце встановлення парової турбіни

ТЕПЛОВИЙ РОЗРАХУНОК КОМБІНОВАНОГО КОТЛА НА БАЗІ ВОДОГРІЙНОГО КОТЛА КВГ-116.3-150

Тепловий розрахунок виконаний для варіанта з серійними ротаційними пальниками для газу та мазуту.
Конструктивні характеристики котла

Топкова камера

Площі елементів камери:

фронтної стіни

$$F_{\text{фр.ст}} = F_1 + F_2 + F_3 = 0,5(5,7 + 0,36) \times 0,5 + 6,1 \cdot 9,8 + 0,5(5,7 + 0,3) \cdot 0,5 = 82,2 \text{ м}^2 ;$$

бокової стіни

$$F_{\text{б.ст}} = 7,2 \cdot 9,8 = 70,56 \text{ м}^2 ;$$

задньої стіни

$$F_{\text{з.ст}} = 6,1 \cdot 9,8 + 0,5(5,7 + 0,3) \cdot 0,5 = 74,78 \text{ м}^2 ;$$

поду

$$F_{\text{под}} = (2,8 \cdot 2 + 0,3) \times 7,2 = 42,7 \text{ м}^2 .$$

Сумарна площа поверхні стін

$$F_{\text{ст}} = F_{\text{фр.ст}} + F_{\text{б.ст}} + F_{\text{под}} = 82,2 + 2 \cdot 70,56 + 42,7 = 266,02 \text{ м}^2 .$$

Площа неекранованої поверхні стін

$$F_{\text{неекр}} = 3 \cdot 0,785 d_{\text{вих}}^2 = 3 \cdot 0,785 \times 1,0^2 = 2,4 \text{ м}^2 .$$

Площа екранованої поверхні стін топкової камери

$$F_{\text{ст.екр}} = 271,3 - 2,4 = 268,9 \text{ м}^2.$$

Діаметр і товщина екранних труб 40×3 мм.

Крок труб $s=60$ мм.

Відносний крок $s/d=64/60=1,067$.

Відносна відстань труб від стін $e/d=30/60=0,5$.

Кутовий коефіцієнт екранів $x=0,995$.

Променевосприймаюча поверхня екранів

$$H_{\text{л.екр}} = F_{\text{ст.}} = 268,9 \cdot 0,995 = 267,5 \text{ м}^2.$$

Ступінь екранування топки

$$x = H_{\text{л.екр}}/F_{\text{ст.}} = 267,5/271,3 = 0,986 \text{ м.}$$

Об'єм топки $V_{\text{т}} = F_{\text{фр}}b = 42,7 \cdot 9,8 = 418\text{м}^3$.

Ефективна товщина випромінюючого шару

$$S = V_{\text{т}}/F_{\text{ст.}} = 3,6 \cdot 320/271,3 = 4,25 \text{ м.}$$

Площа перерізу для проходу газів

$$2,7 \cdot 5,7 + 0,5(5,7 + 0,36) \times 0,5 - 2,95 \times 0,06 \cdot 23 = 12,8 \text{ м}^2.$$

Кутовий коефіцієнт ряду фестону без обліку випромінювання обмуровки [1].

X=0,79.

Перший конвективний пучок

Діаметр та товщина труб 28X3 мм.

Розташування труб - шахове.

Поперечний крок $s_1=64$ мм, повздовжній крок $s_2=40$ мм.

К

Площа поверхні нагрівання одного пакету $H'=760$ м².

Кількість пакетів $n=3$.

К

П

Д

К

О

Т

Д

І

В

О

Д

І

В

Р

Х

Ф

І

У

Б

С

К

А

П

Г

Р

Х

Діаметр та товщина стояків 83X4 мм.

Висота стояків $h_{ст} = 5,7$ м.

Площа поверхні нагріву стояків

$$H_{ст} = 0,5\pi d h_{ст} = 0,5 \cdot 3,14 \times 0,083 \cdot 5,7 \cdot 48 = 36 \text{ м}^2.$$

Число труб заднього екрану конвективної шахти $N=90$.

Висота труб $z = 5,7$ м.

Площа поверхні нагріву заднього екрану конвективної шахти

$$H_{з.е} = 0,5\pi d z N = 0,5 \cdot 3,14 \cdot 0,06 \times 0,083 \cdot 5,7 \cdot 90 = 48 \text{ м}^2.$$

Сумарна площа поверхні нагріву її конвективної шахти

$$H_{ст} = 2 \times 24 = 48.$$

$$H_{3,e} = \Sigma H' + H_{ct} + H_{3,e} = 2280 + 36 + 48 = 2364 \text{ м}^2.$$

Ефективна товщина випромінюючого шару

$$S = 0,9d \left(\frac{4 s_1 s_2}{\pi d^2} - 1 \right) = 0,9 \cdot 0,028 \left(\frac{4 \cdot 64 \cdot 40}{3,14 \cdot 28^2} - 1 \right) = 0,65 \text{ м.}$$

Площа перерізу для проходу газів

$$F_2 = ab - Z_1 l d = 5,7 \cdot 3,2 - 48 \cdot 0,028 \cdot 5,61 = 10,7 \text{ м.}$$

Другий конвективний пучек

Діаметр та товщина труб 28X3 мм.

Розташування труб - шахове.

Поперечний крок $s_1=64$ мм, повздовжній крок $s_2=40$ мм.

К

Площа поверхні нагрівання одного пакету $H'=760 \text{ м}^2$.

Кількість пакетів $n=4$.

К

П

І

Д

К

О

Т

І

В

О

Д

Т

С

Е

Діаметр та товщина стояків 83X4 мм.

Висота стояків $h_{ct} = 5,7$ м.

Площа поверхні нагріву стояків

$$H_{ct} = 0,5\pi d h_{ct} = 0,5 \cdot 3,14 \times 0,083 \cdot 5,7 \cdot 48 = 36 \text{ м}^2.$$

Число труб заднього екрану конвективної шахти $N=90$.

Висота труб $z = 5,7$ м.

Площа поверхні нагріву заднього екрану конвективної шахти

$$H_{z.e} = 0,5\pi dzN = 0,5 \cdot 3,14 \cdot 0,06 \times 0,083 \cdot 5,7 \cdot 90 = 64 \text{ м}^2.$$

Сумарна площа поверхні нагріву конвективної шахти

$$H_{z.e} = \Sigma H' + H_{ст} + H_{z.e} = 3040 + 36 + 48 = 3152 \text{ м}^2.$$

Ефективна товщина випромінюючого шару

$$S = 0,9d \left(\frac{4}{\pi} \frac{s_1 s_2}{d^2} - 1 \right) = 0,9 \cdot 0,028 \left(\frac{4}{3,14} \frac{64 \cdot 40}{28^2} - 1 \right) = 0,65 \text{ м}.$$

Площа перерізу для проходу газів

$$F_2 = ab - Z_1 d = 5,7 \cdot 3,2 - 48 \cdot 0,028 = 10,7 \text{ м}.$$

Третій конвективний пучок

Діаметр та товщина труб 28X3 мм.

Розташування труб - шахове.

Поперечний крок $s_1=64$ мм, повздовжній крок $s_2=40$ мм.

К

і

Площа поверхні нагрівання одного пакету $H'=760$ м².

л

Кількість пакетів $n=4$.

к

п

і

л

с

о

т

щ

б

а

$$n_{ст} = 2 \times 24 = 48.$$

Діаметр та товщина стояків 83X4 мм.

Висота стояків $h_{ст} = 5,7$ м.

Площа поверхні нагріву стояків

$$H_{ст} = 0,5\pi d h_{ст} = 0,5 \cdot 3,14 \times 0,083 \cdot 5,7 \cdot 48 = 36 \text{ м}^2.$$

Число труб заднього екрану конвективної шахти $N = 90$.

Висота труб $z = 5,7$ м.

Площа поверхні нагріву заднього екрану конвективної шахти

$$H_{з.е} = 0,5\pi d z N = 0,5 \cdot 3,14 \cdot 0,06 \times 0,083 \cdot 5,7 \cdot 90 = 64 \text{ м}^2.$$

Сумарна площа поверхні нагріву конвективної шахти

$$H_{з.е} = \Sigma H' + H_{ст} + H_{з.е} = 3040 + 36 + 48 = 3152 \text{ м}^2.$$

Ефективна товщина випромінюючого шару

$$S = 0,9d \left(\frac{4}{\pi} \frac{s_1 s_2}{d^2} - 1 \right) = 0,9 \cdot 0,028 \left(\frac{4}{3,14} \frac{64 \cdot 40}{28^2} - 1 \right) = 0,65 \text{ м.}$$

Площа перерізу для проходу газів

$$F_2 = ab - Z_1 l d = 5,7 \cdot 3,2 - 48 \cdot 0,028 \cdot 5,61 = 10,7 \text{ м}^2.$$

Пучек кипятильних труб

Діаметр труб 51X2,5.

Розташування труб – коридорне.

П

Середній подовжній крок

$$s_2 = 50 + 1302 = 90 \text{ мм.}$$

В

В

В

В

В

В

В

В

В

В

В

В

В

В

В

В

В

В

В

В

В

В

Кількість труб $17 \times 15 = 255$.

Довжина проєкції труб $l_{пр} = 6300 \text{ мм.}$

Площа поверхні нагріву

$$H_{пе} = \pi d z l_{пр} Z_1 Z_2 = 3,14 \cdot 0,051 \times 6,3 \cdot 15 \cdot 17 = 272 \text{ м}^2.$$

Площа перерізу для проходу газів

=

.

.

=

Площа перерізу для проходу пари

$Z_2 = 1,98$.

$$d_{вп} Z_1 \cdot 3 = 0,785 \times 0,0322 \cdot 38 \cdot 3 = 0,0916 \text{ м}^2.$$

м².

$l_{л} = 1680 \text{ мм.}$

Ефективна товщина випромінюючого шару

$Z_1 = 15$.

$\sigma_1 = 336$.

м².

Площа перерізу для проходу пари

=

Ефективна товщина випромінюючого шару $d_{\text{вп}} = 2Z \cdot 1,3 = 0,785 \times 0,0322 \cdot 38 \cdot 3 = 0,0916 \text{ м}.$

$$S = 0,9d \left(\frac{4}{\pi} \frac{s_1 s_2}{d^2} - 1 \right) = 0,9 \cdot 0,038 \left(\frac{4}{3,14} \frac{0,128 \cdot 0,75}{0,038} - 1 \right) = 0,256 \text{ м}.$$

Економайзер

Діаметр труб 28×3 мм.

Розташування труб – шахове.

Поперечний крок $s_1 = 83 \text{ мм}.$

Повздовжній крок $s_2 = 35 \text{ мм}.$

В

В

Д

Д

Н

Н

С

С

С

С

С

С

С

С

С

С

Висота пакета $h_{\text{п}} = 972 \text{ мм}.$

Довжина проекції змійовика

$$l_{\text{пр}} = 4740 + 28 = 4768 \text{ мм}.$$

Площа поверхні нагріву

$$H_{ек} = l_{пр} Z_2 Z_1 \pi d = 4,768 \cdot 28 \cdot 34 \cdot 3,14 \cdot 0,028 = 400 \text{ м}^2$$

Площа перерізу для проходу газів

=

Площа перерізу для проходу води

$$Z_1 l_{пр} d = 4,8 \cdot 34 \cdot 4,768 \cdot 0,028 = 9,85 \text{ м}^2.$$

=

Ефективна товщина випромінюючого шару

$$Z_1 \cdot 0,785 d_{вн}^2 = 2 \cdot 34 \cdot 0,785 \cdot 0,022^2 = 0,0258 \text{ м}^2.$$

$$S = 0,9d \left(\frac{4 s_1 s_2}{\pi d^2} - 1 \right) = 0,9 \cdot 0,038 \left(\frac{4 \cdot 88 \cdot 32}{3,14 \cdot 28^2} - 1 \right) = 0,1044 \text{ м}.$$

Тепловий баланс та витрата палива (газ/ мазут)

Таблиця 6.2.

Параметри	Позначення	Формула чи обґрунтування	Розрахунок при навантаженні котла, %		
			100	50	30
Нижча теплота згоряння палива	Q_H^p	[1]		9260	
Температура палива, °C	t_T	[1]		110	
Теплоємність мазута, ккал/(кг·°C)	c_T	[1]; 0,415+0,0006		0.401	
Ентальпія палива, ккал/кг	i_T	$c_T t_T$		53	
Наявна теплота, ккал/кг	Q_p^p	Q_H^p		9313	
Температура вихідних газів, °C	θ_{yx}	Приймаємо з наступним уточненням	1)190 2)180	1)200 2)140	1)160 2)120
Ентальпія вихідних газів, ккал/кг	l_{yx}	[1]	1)809 2)807	1)973 2)626	1)777 2)579
Температура холодного повітря, °C	$t_{x.B}$	e[1]	1)30 2)30	1)30 2)30	1)30 2)30
Ентальпія холодного повітря, ккал/кг	$l_{x.e}$	$V^0 c_B t_{x.B}$	98	1)98 2)98	1)98 2)98
Втрати теплоти від механічного недопалу, %	q_4	[1]	0	0	0
Втрати теплоти від хімічного недопалу, %	q_3	[1]	0.5	0.5	0.5
Втрати теплоти з вихідними газами, %	q_2	$\frac{(l_{yx} - a_{yx} l_{x.B})100}{Q_p^p}$	1)8,35 2)7,33	1)9,0 2)5,4	1)6,9 2)4,8
Втрати теплоти в навколишнє середовище, %	q_5	[1]	0.8	1.1	2.3

Сума тепловтрат, %	Σq	$q_2+q_3+q_4+q_5$	9.65	10.6	9.7
ККД котла	$\eta_{к.а}$	$100-\Sigma q$	1)90,0 2)91,4	1)89,4 2)93,0	1)90,3 2)92,4
Коефіцієнт збереження теплоти	φ	$1 - \frac{q_3}{\eta_{к.а} + q_5}$	0.991	0.99	0.98
Витрата палива кг/год	B	$\frac{Q_{к.а} \cdot 100}{Q_p^p \eta_{к.а}}$	1)11900 2)11760	1)6040 2)5770	1)3570 2)3480
Видима теплова напруга топочного об'єму, ккал/(м ³ ·год)	Q/V		1)344·10 ³ 2)340·10 ³	1)175·10 ³ 2)167·10 ³	1)104·10 ³ 2)101·10 ³
Топка					
Об'єм топкової камери, м ³	V_T	За конструктивними характеристиками		320	
Повна променевосприймаюча поверхня нагріву, м ²	$H_{л}$	Те саме		267.5	
Ступінь екранування	x	..		0.986	
Ефективна товщина випромінюючого шару, м	S	..		4.25	
Температура газів на виході з топки, °С	θ''_T	Приймаємо з наступним уточненням	1)1270 2)1250	1)1040 2)1020	1)900 2)850
Ентальпія, ккал/кг	I''_T	[1]	1)5916 2)5918	1)4760 2)4659	1)4056 2)3808

Продовження табл. 6.2.

Параметри	Позна	Формула чи обґрунтування	Розрахунок при навантаженні котла, %
-----------	-------	--------------------------	--------------------------------------

	чення		100	50	30
Об'ємна доля водяної пари	γ_{H_2O}	[1]	0.111	0.111	0.111
Об'ємна доля водяної пари та трьохатомних газів	γ_{Π}	[1]	0.237	0.237	0.237
Сумарний парціальний тиск трьохатомних газів, кгс/м ²	p_{Π}	$p\gamma_{\Pi}$	$1 \cdot 0.237 = 0.237$	0.237	0.237
Добуток $p_{\Pi}S$, м · кгс/см ²	$p_{\Pi}S$	$p_{\Pi}S$	$0.237 \cdot 4.25 = 1.01$	1.01	1.01
Коефіцієнт послаблення променів трьохатомними газами, см ² / (м · кгс)	k_r	[1(ном. 3)]	0.38	0.45	0.49
Оптична товщина	$k_r pS$	$k_r \gamma_{\Pi} pS$	0.385	0.455	0.495
Ступінь чорноти частини полум'я, що не світиться	a_r	$1 - e^{-k_r \gamma_{\Pi} pS}$	0.32	0.37	0.39
Умовний коефіцієнт забруднення радіаційної поверхні	ξ	[1]	0.55	0.55	0.55
Коефіцієнт теплової ефективності екранів	ψ	$\chi \xi$	0.547	0.547	0.547
Коефіцієнт послаблення променів сажистими частками, см - 2 / (м · кгс)	k_c	$0.03(2 - a_r)^* \left(1.6 \frac{T''r}{1000} - 0.5\right)$	0.386	0.31	0.27
Коефіцієнт послаблення променів для полум'я, що світиться, см - 2 / (м · кгс)	$k_{св}$	$k_r \gamma_{\Pi} + k_c$	0.476	0.4	0.39
Ступінь полум'я, що світиться	$a_{св}$	$1 - e^{-(k_r \gamma_{\Pi} + k_c) pS}$	0.87	0.82	0.81

Коефіцієнт усереднення	m	[1]	0.55	0.55	0.55
Ефективна ступінь чорноти факелу	a_{ϕ}	$ma_{св}+(1-m)a_r$	0.623	0.618	0.615
Кількість пальників у першому ряду	n_1	конструкція		2	
Те саме у другому ряду	n_2	-		1	
Витрати палива на пальник, кг/ч	B_r	$\frac{B}{n^1 + n^2}$	3970	2013	1190
Розрахункова висота положення пальника, м	h_r	$\frac{n_1 B_1 h_{r1} + n_1 B_1 h_{r1}}{n_1 B_1 + n_1 B_r}$		2	
Відносне розподілення максимуму температур по висоті топки	x_r	$x_r = x_r = h_r / H_T$		0.28	
Параметр	M	$0.54 - 0.2 x_r$		0.48	
Температура гарячого повітря, °С	$t_{r,в}$	Приймаємо з подальшим уточненням	200	220	170
Ентальпія гарячого повітря, ккал/кг	$I^0_{r,в}$	[1]	649	705	550

Продовження табл. 6.2.

Параметри	Позначення	Формула чи обґрунтування	Розрахунок при навантаженні котла, %		
			100	50	30
Теплота, що вноситься в топку з повітрям, ккал/кг	Q_B	$(a_T - \Delta a_T)I_{Г.В}^0 + \Delta a_T I_{Х.В}^0$	1)722 2)116	1)784 2)116	1)613 2)11
Корисне тепловиділення в топці, ккал/кг	Q_T	$0^p \frac{100 - q_3 - q_4}{100 - q_4} + Q_B$	1)9982 2)9396	1)10064 2)9396	1)9883 2)9396
Теоретична температура горіння, °С	θ_a	[1]	1)2028 2)1918	1)2042 2)1918	1)2010 2)1918
Ступінь чорноти топки	a_T	$a_T = \frac{a_\phi}{a_\phi + (1 - a_\phi)\psi}$	0.752	0.748	0.745
Середня сумарна теплоємність продуктів згоряння, ккал/(кг·°С)	$V_{ср}$	$\frac{Q_T - I_T''}{\theta_a - \theta_T''}$	1)5,37 2)5,35	1)5,28 2)5,28	1)5,26 2)5,24
Температура газів на виході з топки, °С	θ_T''	$\frac{T_a}{M \left(\frac{(4,9\psi_{ср} F_{ст} a_T T^3 a)}{10^8 \varphi B_p V_{ср}} \right)^{0,6} + 1} - 273$	1)1267 2)1232	1)1046 2)1010	
Ентальпія, ккал/кг	I''	[1]	1)5301 2)5730	1)4790 2)4609	1)3883 2)3783
Теплота, передана випромінюванням у топці	Q_L^T	$\varphi(Q_T - I_T'')$	1)4050 2)3666	1)5220 2)4787	1)5880 2)5500
Середнє теплове навантаження променевосприймаючої поверхні, ккал/(м²·год)	q_L	$\frac{B_p Q_L^T}{H_L}$	1)180·10² 2)161·10²	1)120·10² 2)103·10²	1)79·10² 2)72·10²
<i>Перший фестон</i>					
Повна поверхня нагріву, м²	H	За конструктивними характеристиками		57.8	

Кутовий коефіцієнт пучка фестоноу	x	Те саме				0.79
Діаметр труб, мм	$d \times \delta$..				60×3
Відносний поперечний крок	σ_1	..				4.27
Відносний поздовжній крок	σ_2	..				2.08
Число рядів труб по ходу	z_2	..				4
Площа живого перерізу для проходу газів, м ²	F	..				12.8
Ефективна товщина випромінюючого шару, м	S	..				0.568
Температура газів перед фестоном, °С	θ'	З розрахунку топки	1)1267 2)1232	1)1046 2)1010	1)865 2)845	
Ентальпія газів перед фестоном, ккал/кг	I'	Те саме	1)5901 2)5730	1)4790 2)4609	1)3883 2)3783	
Температура газів за фестоном, °С	θ''	Приймаємо з наступним уточненням	1)1200 2)1165	1)975 2)939	1)795 2)775	
Ентальпія газів за фестоном, ккал/кг	I''	[1]	1)5573 2)5395	1)4432 2)4252	1)3537 2)3440	
Теплосприйняття фестоноу за балансом, ккал/кг	Q_6	$\varphi(I' - I'')$	1)1326 2)332	1)354 2)354	1)339 2)336	

Продовження табл. 6.2

Параметри	Позначення	Формула чи обґрунтування	Розрахунок при навантаженні котла, %		
			100	50	30
Температура кипіння води при $p=23$ кгс/см ²	$t_{\text{кип}}$	[1]	219	219	219
Середня температура газів, °С	θ	$0.5(\theta' - \theta'')$	1)1233 2)1200	1)1010 2)975	1)830 2)810
Середній температурний натиск, °С	Δt	$\theta - t_{\text{кип}}$	1)1014 2)980	1)791 2)756	1)611 2)591
Об'єм газів на 1 кг палива, м ³ /кг	V_r	[1]		12.44	
Об'ємна доля Н ₂ О	$r_{\text{H}_2\text{O}}$	[1]		0.111	
Сумарна об'ємна доля трьохатомних газів	r_n	[1]		0.237	
Середня швидкість газів у фєстоні, м/с	ω_r	$\frac{VpVr(\theta - 273)}{3600 F \cdot 273}$	17.7	7.1	3.9
Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, ккал/(м ² ·ч·°С)	α_k	[1]	80.4	46.4	32.9
Сумарна поглинаюча властивість трьохатомних газів, м (кгс/см ²)	$p_n S$	$p r_n S$		0.135	

Коефіцієнт послаблення променів трьохатомними газами	k_r	[1]	1.18	1.35	1.48
Оптична товщина	kpS	$k_r r_{пS}$	0.159	0.182	0.2
Ступінь чорноти продуктів згоряння	a	[1]	0.145	0.165	0.18
Температура забрудненої стінки труб, °C	t_3	$t_{кип} + \Delta t$	219+80= =299	299	20.7
Коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням, ккал/(м ² ·ч·°C)	$\alpha_{л}$	[1] $\alpha_{нa} C_r$	33.9	25.4	20.7
Коефіцієнт використання	ζ	[1]		1	
Коефіцієнт тепловіддачі від газів до стінки, ккал/(м ² ·ч·°C)	α_1	$\xi (\alpha_k + \alpha_{л})$	114.3	71.4	53.6
Коефіцієнт теплової ефективності	ψ	[1]	0.6	0.63	0.65
Коефіцієнт теплопередачі, ккал/(м ² ·ч·°C)	k	ψa_1	68.5	45	34.9
Теплосприйняття фестона за рівнянням теплопередачі, ккал/кг	Q_r	$\frac{kH\Delta t}{Bp}$	1)337 2)330	1)341 2)341	1)344 2)341
Співвідношення розрахованих теплосприйняттів, %	Q_6/Q_r	$\frac{Q_6}{Q_r} 100$	1)3.25 2)3.0	1)3.8 2)3.8	1)1.4 2)1.5
Коефіцієнт розподілення теплоти сприйняття по висоті топки	η_b	[1]		1.4	

q
n

Теполосприйняття першої поворотної камери з топки, ккал/кг	$Q'_{л}$		24	33	39
--	----------	--	----	----	----

Продовження табл. 6.2

Параметри	Позначення	Формула чи обґрунтування	Розрахунок при навантаженні котла, %		
			100	50	30
<i>Перша поворотна камера</i>					
Площа променевосприймаючої поверхні поворотної камери, м ²	$H_{ек}$	За конструктивними характеристиками		76.5	
Ефективна товщина випромінюючого шару, м	S	Те саме		2.47	
Об'ємна доля H ₂ O	r_{H_2O}	[1]		0.106	
Сумарна об'ємна частка триатомних газів	r_n	[1]		0.226	
Температура газів на вході, °C	θ'	З розрахунку першого фестоу	1200	975	795
Ентальпія газів на вході, ккал/кг	I	[1]	5573	4432	3537
Температура газів на виході, °C	θ''	Приймає з наступним уточненням	1094	865	688
Ентальпія газів на виході, ккал/к	I''	[1]	5286	4078	3196

Теплосприйняття поверхні за балансом, ккал/к	Q_6	$\varphi(I - I'' + \Delta\alpha l_{x,B}^0)$	290	354	339
Середня температура газів, °С	θ	$0,5(\theta' - \theta'')$	1147	920	742
Середня температура середовища, °С	t	-		110	
Добуток, м/(кгс·см ²)	$P_n S$	$pr_n S$		0.559	
Коефіцієнт ослаблення променів триатомними газами	k_r	[1 ном 3]	0.56	0.69	0.75
Оптична товщина	kr_3	$k_r pr_n S$	0.308	0.386	0.42
Теплосприйняття випромінюванням з топки, ккал/кг	Q_L	Із розрахунку фестона	24	33	39
Температура забрудненої поверхні труб, °С	t_3	$t_{cp} + \varepsilon \frac{B_p(Q_6 - Q_L)}{F_{ек}}$	260	201	163
Ступінь чорноти продуктів згоряння	a	[1]	0.265	0.32	0.34
Коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням, (м ² ·ч·°С)	α_L	[1] $\alpha_{на} C_r$	51.2	38.7	26.9
Об'ємна доля Н ₂ О	r_{H_2O}	[1]		0.103	
Сумарна об'ємна частка триатомних газів	r_n	[1]		0.218	
Температура газів на вході, °С	θ'	Із розрахунку другого фестона	1020	809	642
Ентальпія газів на вході, ккал/кг	I	Те саме	4999	3858	3003
Температура газів на виході, °С	θ''	Приймаємо з наступним уточненням	969	769	607

Ентальпія газів на виході, ккал/к	I''	[1]	4809	3728	2881
Середня температура газів, °С	θ	$0,5(\theta' + \theta'')$	994	789	625

Продовження табл. 6.2

Параметри	Позначення	Формула чи обґрунтування	Розрахунок при навантаженні котла, %		
			100	50	30
Середня температура навколишнього середовища, °С	t	---	110	110	110
Теплосприйняття другої поворотної камери за балансом, ккал/кг	Q_6	$\varphi (I' - I'' + \Delta a I_{x,v}^0)g$	116	134	134
Температура забрудненої стінки, °С	t_3	$t_{cp} + g \frac{B_p Q_6}{H_{ЭК}}$	197	161	138
Сумарна поглинаюча властивість трьохатомних газів, м·(кгс/см ²)	$p_n S$	$p_n S$	0.43	0.43	0.43
Коефіцієнт послаблення променів газами	k_r	[1]	0.68	0.68	0.68
Сумарна оптична товщина	kpS	$k_r p_n S$	0.292	0.38	0.41
Ступінь чорноти газів	a	[1]	0.25	0.62	0.34
Теплосприйняття поворотної камери, ккал/кг	Q_L	$\alpha_L \frac{(\theta - t_3) H_L}{B_p}$	288	353	333
Співвідношення теплосприйняттів, %	Q_L/Q_6	$Q_6 - Q_L Q_6^{-1}$	$\frac{290 - 288}{290} \times$	$\frac{354 - 353}{354} \times$	$\frac{339 - 333}{339} \times$

<i>Перша конвективна шахта (водогрійна)</i>					
Діаметр та товщина труб, мм	$d \times \delta$	За конструктивними характеристиками		28×3	
Розташування труб	---	Те саме		Шахове	
Ефективна товщина випромінюючого шару, м	S	--		0.085	
Відносний поперечний шаг	σ_1	s_1/d		64/28=2.28	
Відносний поздовжній шаг	σ_2	s_2/d		40/28=1.5	
Площа поверхні нагріву, м ²	H	За конструктивними характеристиками		2364	
Площа живого перерізу по газам, м ²	F	Те саме		10.7	
Число рядів по ходу газу, шт.	z	32×3=96		96	
Середній об'єм газів, м ³ /кг	V_r	[1]		13.68	
Об'ємна доля Н ₂ О	γ_{H_2O}	[1]		0.103	
Сумарна об'ємна доля трьохатомних газів	γ_n	[1]		0.218	
Доля газів, що проходять через газохід	g	Згідно завдання	1)0.4 2)1	1)0 2)1	1)0 2)1
Температура газів на вході, °С	t'	З розрахунку першої поворотної камери	1094	865	688
Ентальпія газів на вході, ккал/кг	I'	[1]	5288	4078	
Температура газів на виході, °С	θ''	Приймаємо з подальшим уточненням	1)130 2)180	1)140 ---	1)120 ----
Ентальпія газів на виході, ккал/кг	I''	[1]		580	

Продовження табл. 6.2

Параметри	Позначення	Формула чи обґрунтування	Розрахунок при навантаженні котла, %		
			100	50	30
Теплосприйняття за балансом, ккал/кг	Q_6	$\varphi g(I' - I'' + \Delta \alpha I_{x,B}^0)$		1866	
Середня температура води, °С	t_{cp}^B	-		110	
Середній температурний напор, °С	Δt	$\frac{(\theta' - t_B'')(\theta'' - t_B')}{2,3 \lg(\theta' - t_B'')(\theta'' - t_B')}$		321	
Середня температура газів, °С	θ	$t_{cp} + \Delta t$		431	
Середня швидкість газів, м/с	ω_r	$\frac{gV_r B_p (\theta_{cp} + 273)}{3600 \cdot 273F}$		4.35	
Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, ккал/(м ² ·ч·°С)	α_K	[1] $s c_z$		50.4	
Температура забрудненої стінки, °С	t_3	$t_{cp} + \Delta t$		170	
Добуток, м/(кгс·см ²)	$P_n S$	$p r_n S$		0.0185	
Коефіцієнт ослаблення променів триатомними газами	k_r	[1]		5	
Оптична товщина	$k_p S$	$k_r p r_n S$		0.0925	
Ступінь чорноти газів	a	[1]		0.092	
Коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням, ккал/(м ² ·ч·°С)	$\alpha_{л}$	[1] $\alpha_H a C_r$		3.03	
Коефіцієнт теплової ефективності	η	[1]		0.55	

Коефіцієнт теплопередачі від газів до води, ккал/(м ² ·ч·°С)	k	$\varphi(\alpha_k - \alpha_d)$	29.3
Теплосприйняття першої конвективної шахти за рівнянням теплопередачі, ккал/кг	Q _т	$\frac{k H \Delta t}{B_p}$	1868
Нев'язка, %	-	$\frac{Q_b - Q_{тQ}}{6100}$	0.2
<i>Другий фестон</i>			
Діаметр та товщина труб, м	d×δ	За конструктивними характеристиками	60×3
Площа поверхні нагріву, м ²	H	Те саме	37.6
Відносний поперечний крок	σ ₁	..	4.27
Відносний поздовжній крок	σ ₂	..	3.34
Число рядів труб по ходу газів	z ₂	..	4
Площа перерізу для проходу газів, м ²	F	..	9.15
Ефективна товщина випромінюючого шару, м	S	..	0.925

Продовження табл. 6.2

Параметри	Позначення	Формула чи обґрунтування	Розрахунок при навантаженні котла, %		
			100	50	30
Доля газів, що йдуть через газохід	g	Згідно завдання	1)0.5 2)0.0	1)1 2)0.0	1)1.0 2)0.0
Температура газів перед фестоном, °С	θ'	З розрахунку першої поворотної камери	1094	865	688
Ентальпія газів перед фестоном, ккал/кг	I'	Те саме	5286	4078	3196
Температура газів за фестоном, °С	θ''	Приймаємо з подальшим уточненням	1020	809	642
Ентальпія газів за фестоном, ккал/кг	I''	[1]	4999	3858	3003
Теплосприйняття другого фестона за балансом, ккал/кг	Q_6	$\varphi (I' - I'')g$	170	218	189
Середня температура газів, °С	θ	$0.5(\theta' + \theta'')$	1057	837	665
Середня температура води, °С	t	$0.5(t' + t'')$		110	
Середній температурний натиск, °С	Δt	$\theta_{cp} - t_{cp}$	947	727	555
Об'єм газів при $a=1.23$ м ³ /кг	V_r	[1]		13.4	
Об'ємна доля Н ₂ О	Γ_{H_2O}	[1]		0.105	
Сумарна об'ємна доля трьохатомних газів	Γ_n	[1]		0.222	
Середня швидкість газів у другому фестононі, м/с	ω_r	$\frac{BV_r(\theta_{cp} + 273)}{3600 Fr \cdot 273}$	14	11.8	4.4

Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, ккал/(м ² ·ч·°С)	α_k	$\alpha_k C_z C_s C_\phi$	67.4	61.5	33.8
Сумарна поглинаюча властивість трьохатомних газів, м·(кгс/см ²)	$p_n S$	$p_n S$		0.205	
Коефіцієнт послаблення променів трьохатомними газами	k_r	[1]	0.95	1.2	1.6
Сили поглинання незапиленого потоку	$k_p S$	$k_r p_n S$	0.195	0.236	0.267
Ступінь чорноти продуктів згоряння, °С	a	[1]	0.175	0.21	0.24
Температура забрудненої стінки труб, °С	t_3	[1]; $t_{cp} + \Delta t$	170	170	170
Коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням, ккал/(м ² ·ч·°С)	α_l	[1]; $\alpha_n a C_r$	25.6	19.1	15.3
Коефіцієнт використання	ζ	[1]		1	
Коефіцієнт теплової ефективності	ψ	[1]	0.6	0.6	0.6
Коефіцієнт теплопередачі, ккал/(м ² ·ч·°С)	k	$\psi \alpha_1 = \psi \zeta (\alpha_k + \alpha_l)$	56.0	48.4	31.9
Теплосприйняття фестоно за рівнянням теплопередачі, ккал/кг	Q_r	$\frac{kH\Delta t}{Bp}$	158	218	187

Продовження табл. 6.2

Параметри	Позначення	Формула чи обґрунтування	Розрахунок при навантаженні котла, %		
			100	50	30
Відношення теплових величин теплосприйняттів, %	-	$\frac{Q_6 - Q_T}{Q_6} 100$	0.99	0.9	1.17
<i>Друга поворотна камера</i>					
Екранована поверхня поворотної камери, м ²	H _е	За конструктивними характеристиками		47.6	
Ефективна товщина випромінюючого шару, м	S	Те саме		2.03	
Коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням, ккал/(м ² ·ч·°С)	α _л	[1]	36.2	27.2	19
Теплосприйняття поворотної камери випромінюванням, ккал/кг	Q _л	$\alpha_n \frac{(\theta - t_3)H_{ек}}{B_p}$	116	135	123
Нев'язка, %	-	$\frac{Q_л - Q_6}{Q_6}$	0	0.7	0.8
<i>Визначення витрати пари та води</i>					
Тиск пари на виході, кгс/см ²	p _п	Задано		23	
Температура пари на виході, °С	t _{н.п}	[1]		219	
Ентальпія пари на виході, ккал/кг	i _{н.п}	Те саме		668.6	

Температура живильної води, °С	$t_{п.в}$	Приймаємо		100	
Ентальпія живильної води, ккал/кг	$i_{п.в}$	[1]		100.4	
Кількість теплоти, що сприймається фронтним екраном, ккал/кг	$Q_{фр}$	$Q_{л.г} \frac{F_{фр}}{F_{ст}}$	1)770 2)695	1)992 2)910	1)1120 2)1040
Кількість теплоти, що сприймається іншими випарними поверхнями, ккал/кг	Q^n	$Q_{л.г} - Q_{фр}$	1)3606 2)3303	1)4577 2)4231	1)5099 2)4796
Паропродуктивність фронтного екрану, кг/год	$D_{фр}$	$\frac{Q_{фр} B}{i_{п.п} - i_{кип}}$	1)20600 2)18400	1)13500 2)11800	1)9000 2)8100
Ентальпія води на виході з другого економайзера, ккал/кг	$i_{ек}''$	Приймаємо з наступним уточненням	1)216,5 2)100,4	1)220 2)100,4	1)186,6 2)100,4
Паропродуктивність інших екранів, кг/год	D'	$\frac{Q^{пв}}{i_{п.п} - i_{ек}''}$	1)85500 2)68500	1)61600 2)43000	1)38000 2)29400
Паропродуктивність	D	$D_{фр} + D'$	1)106100 2)86900	1)75100 2)54800	1)47000 2)37500
Кількість теплоти, яка віддана воді у мережі, ккал/кг	Q	$Q_{к.а} - D(i_{п} - i_{п.в})$	1)29·10 ⁶ 2)51,5·10 ⁶	1)5,3·10 ⁶ 2)19·10 ⁶	1)2·10 ⁶ 2)8,7·10 ⁶

Продовження табл. 6.2

Параметри	Позначення	Формула чи обґрунтування	Розрахунок при навантаженні котла, %		
			100	50	30
<i>Пароперегрівач</i>					
Діаметр та товщина труб, м	$d \times \delta$	За конструктивними характеристиками		38×3	
Кількість рядів по ходу газів	z_r	Те саме		12	
Площа живого перерізу по ходу газів, м ²	F	--		10,1	
Площа поверхні нагріву, м ²	H	--		162	
Площа додаткової водогрійної поверхні, м ²	H'	--		31,1	
Ефективна товщина випромінюючого шару, м	S	--		0,256	
Площа живого перерізу по парі, м ²	f	--		0,0916	
Температура газів на вході в перегрівач, °С	θ	З розрахунку другої поворотної камери	369	769	607
Ентальпія газів, ккал/кг	I'	З розрахунку другої поворотної камери	4809	3728	2881
Температура перегрітої пари, °С	$t_{n.n}$	Приймаємо з подальшим уточненням	297	280	265
Ентальпія перегрітої пари, ккал/кг	$i_{n.n}$	[1, табл. XXV]	718,1	709	700
Ентальпія насиченої пари, ккал/кг	$i_{n.n}$	[1, табл. XXV]	668,6	668,6	668,6

Паропродуктивність котла, кг/с	D	Приймаємо з подальшим уточненням	106000	75000	47000
Теплосприйняття пароперегрівача за балансом, ккал/кг	Q_b	Те саме	478	502	414
Теплосприйняття додаткових водогрійних поверхонь, ккал/кг	Q_b^e	--	41	62	77
Ентальпія газів за перегрівачем, ккал/кг	I''	$I - \frac{Q_b + Q_b^e}{\varphi_g} + \Delta\alpha_r$	3940	3141	2384
Доля газів, що проходять через газохід	g	Згідно завдання	1)0.6 2)0.0	1)1.0 2)0.0	1)1.0 2)0.0
Температура газів за перегрівачем, °С	θ''	[1]	791	643	497
Середня температура газів, °С	θ	$0.5(\theta' + \theta'')$	880	706	552
Середня температура пари, °С	t	$0.5(t_{п.п} + t_{п.п})$	258	250	242
Об'єм газів на 1 кг палива, м ³ /кг	V_r	[1]	14,05	14,05	14,05
Об'ємна доля Н ₂ О	r_{H_2O}	[1]		0,1	
Сумарна об'ємна доля трьохатомних газів	r_n	[1]		0,212	
Середня швидкість газів в пароперегрівачі, м/с	ω_r	$\frac{gBpVr(\theta + 273)}{3600 \cdot 273F}$	11,7	8,2	4,2

Продовження табл. 6.2

Параметри	Позначення	Формула чи обґрунтування	Розрахунок при навантаженні котла, %		
			100	50	30
Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, ккал/(м ² ·ч·°С)	α_k	$\alpha_n C_z C_s C_\phi$	$85 \cdot 1 \cdot 0,99 \times 0,96 = 80,9$	$57 \cdot 1 \cdot 0,99 \times 0,98 = 55,3$	$37 \cdot 1 \cdot 0,99 \times 1 = 80,9$
Добуток, м/(кгс·см ²)	$p_n S$	$p_n S$	$1 \cdot 0,212 \cdot 0,256 = 0,053$		
Коефіцієнт ослаблення променів триатомними газами	k_r	[1]	2,3	2,7	2,8
Оптична товщина	$k_p S$	$k_r p_n S$	$2,3 \cdot 0,053 = 0,123$	0,143	0,149
Ступінь чорноти продуктів згоряння	a	[1]	0,11	0,135	0,14
Питомий об'єм пари при t_{cp} , м ³ /кг	V_n	[1]	0,1003	0,0976	0,0965
Середня швидкість пари, м/с	ω_n	$\frac{DV_n}{3600 f_r}$	31	22	13,8
Коефіцієнт тепловіддачі від стінки пару, ккал/(м ² ·год·°С)	α_2	[1] $\alpha_n C_d$	1128	840	590
Температура забрудненої стінки перегрівача, °С	t_3	$t + \left(\varepsilon + \frac{1}{\alpha_2} \right) \frac{B_p Q_6}{H}$	395	328	290
Коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням, ккал/(м ² ·год·°С)	α_n	[1] $\alpha_n a C_r$	15,3	12,5	8,4
Коефіцієнт	A	[1]	-	0,3	-

Коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням з урахуванням випромінювання газового обсягу, ккал/(м ² ·год·°С)	$\alpha'_{л}$	$\alpha_{л} \left[1 + A \left(\frac{T_{к}}{1000} \right)^{0,25} \times \left(\frac{l_{об}}{l_{п}} \right)^{0,07} \right]$	19,5	16,6	11,1
Коефіцієнт тепловіддачі, ккал/(м ² ·год·°С)	α_1	$\xi [\alpha_{к} + \alpha'_{л}]$	101,4	71,9	47,7
Коефіцієнт теплової ефективності	φ	[1]	0,6	0,6	0,65
Коефіцієнт теплопередачі, ккал/(м ² ·год·°С)	k	$\frac{\varphi \alpha_1}{1 + \alpha_1/\alpha_2}$	57,2	39,8	28,8
Середній температурний натиск, °С	Δt	$\theta - t$	622	456	310
Теплосприйняття перегрівача за рівнянням теплопередачі, ккал/кг	$Q_{т}$	$\frac{kH\Delta t}{B_p}$	484	488	406
Нев'язка, %		$\frac{Q_6 - Q_{т}}{Q_6} 100$	1,2	2,8	2
Температурний натиск для водогрійної поверхні, °С	$\Delta t'$	$\theta - t_1$	770	596	442
Теплосприйняття водогрійних поверхонь, ккал/кг	$Q^{B}_{т}$	$\frac{k'H'\Delta t'}{B_p}$	40,6	61,5	76,5
Нев'язка, %		$\frac{Q_6 - Q_{т}}{Q_6} 100$	1	0,8	0,6

Продовження табл. 6.2

Параметри	Позначення	Формула чи обґрунтування	Розрахунок при навантаженні котла, %		
			100	50	30
<i>Другий економайзер</i>					
Діаметр труб та товщина стінки, мм	$d \times \delta$	За конструктивними характеристиками		28×3	
Розташування труб	--	Шахове		Шахове	
Поперечний шаг, мм	s_1	За конструктивними характеристиками		88	
Поздовжній шаг, мм	s_2	Те саме		36	
Відносний поперечний шаг, мм	σ_1	--		3,14	
відносний поздовжній шаг, мм	σ_2	--		1,29	
Число рядів по ходу газу, шт.	z_2	--		28	
Площа поверхні нагріву, м ²	H	--		400	
Площа поверхні водогрійного контуру, м ²	H'	--		18,4	
Ефективна товщина випромінюючого шару, м	S	--		0,1044	
Площа перерізу для проходу газів, м ²	F	--		9,85	
Площа перерізу для проходу води, м ³	f	--		0..0258	
Температура води на вході, °С	t'	Приймаємо з подальшим уточненням	124	130	118

Ентальпія води на вході, ккал/кг	i'	[1]	124,7	130,7	118,6
Доля газів, що проходять через газохід	g	Згідно завдання	1)0.6 2)0.0	1)1.0 2)0.0	1)1.0 2)0.0
Температура газів на вході, °C	θ'	Із розрахунку перегрівача	791	643	495
Ентальпія газів на входів, ккал/кг	I'	[1]	3940	3141	2384
Температура газів на виході із другого економайзера, °C	θ''	Приймаємо з подальшим уточненням	490	408	302
Ентальпія газів, ккал/кг	I''	[1]	2390	1906	1438
Теплосприйняття водогрійних поверхонь, ккал/кг	Q'_B	Приймаємо з подальшим уточненням	15	26	30
Теплосприйняття другого економайзера за балансом, ккал/кг	Q_6	$\varphi (I' - I'' + \Delta\alpha I^0_{x,B}) - Q'_B$	909	1122	916
Ентальпія води на виході з другого економайзера, ккал/кг	i''	$i' + Q_6$ $B_{\text{н}}$	216,5	220	186,4
Температура води на виході, °C	t''	[1]	212	215	184
Температурний натиск на виході газів, °C	$\Delta t'$	$\theta' - t''$	579	428	311
Температурний натиск на виході газів, °C	Δt	$\theta'' - t'$	366	278	184
Середня температура газів, °C	θ	$0.5(\theta' + \theta'')$	640	525	398

Продовження табл. 6.2

Параметри	Позначення	Формула чи обґрунтування	Розрахунок при навантаженні котла, %		
			100	50	30
Середня температура води, °С	t	$0,5(t' + t'')$	168	175	151
Середній температурний натиск, °С	Δt	$\theta - t$	472	330	247
Температура забрудненої стінки, °С	t_3	$t + \Delta t$	228	237	211
Об'єм газів на 1 кг палива, м ³ /м	V_r	[1]	14,3	14,3	14,3
Об'ємна частка Н ₂ О	Γ_{H_2O}	[1]	0,099	0,099	0,099
Об'ємна частка триатомних газів	Γ_n	[1]	0,209	0,209	0,209
Середня швидкість газів, м/с	ω_r	$\frac{gV_r B_p (\theta_{cp} + 273)}{3600F \cdot 273}$	9,7	7	3,5
Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, ккал/(м ² ·ч·°С)	α_k	[1], $\alpha_n C_z C_s C_\phi$	85	69	16,5
Сумарна поглинаюча здатність триатомних газів, м·кгс/см ²	$p_n S$	$z_n S$		0,0218	
Коефіцієнт ослаблення променів триатомними газами	k_r	[1]	4,1	4,5	4,8
Оптична товщина	kpS	$k_r p_n S$	0,0895	0,098	0,105

Ступінь чорноти продуктів згоряння	a	[1]	0,07	0,088	0,105
Коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням, ккал/(м ² ·год·°С)	$\alpha_{\text{л}}$	[1]	4,8	4,1	3,4
Те саме з урахуванням випромінювання газового об'єму, ккал/(м ³ ·год·°С)	α'	Те саме	6	5,5	4,1
Коефіцієнт використання	ζ	[1]		1	
Коефіцієнт тепловіддачі, ккал/(м ² ·год·°С)	α_1	$\xi[\alpha_{\text{к}} + \alpha_{\text{л}}]$	91	74,5	50,6
Коефіцієнт теплової ефективності	φ	[1]		0,65	
Коефіцієнт теплопередачі, ккал/(м ² ·год·°С)	K	$\varphi\alpha_1$	58,3	48,4	32,9
Теплосприйняття другого економайзера по рівнянню теплопередачі, ккал/кг	Q_{T}	$\frac{\kappa H \Delta t}{B_p}$	921	1123	910
Температурний натиск для водогрійної поверхні,	$\Delta t_{\text{в}}$	$\theta - t_{\text{в.ср}}$	530	415	288
Теплосприйняття, ккал/кг	$Q_{\text{в}}$	$\frac{\kappa H' \Delta t}{B_p}$	16,4	25,4	29,7
Нев'язка теплосприйняттів, %	$Q_{\text{T}}/Q_{\text{в}}$	$\frac{Q_{\text{б}} - Q_{\text{T}}}{Q_{\text{б}}} 100$	1,3	0,8	0,7
		$\frac{Q'_{\text{в}} - Q_{\text{в}}}{Q_{\text{в}}} 100$	0,9	1,8	1
		$\frac{1,025D}{3600f}$			

Швидкість води у економайзері, м/с	ω_B		1,17	0,8	0,5
------------------------------------	------------	--	------	-----	-----

Продовження табл. 6.2

Параметри	Позначення	Формула чи обґрунтування	Розрахунок при навантаженні котла, %		
			100	50	30
Доля газів, що проходять через газохід	g	Згідно завдання	1)0.6 1)0.0	1)1.0 2)0.0	1)1.0 2)0.0
Температура газів перед повітропідігрівачем, °C	θ'	З розрахунку другого економайзера	490	408	302
Ентальпія газів, ккал/кг	I'	Те саме	2390	1969	1438
Температура повітря перед повітропідігрівачем, °C	$t'_{вп}$	Із теплового балансу		30	
Ентальпія повітря, ккал/кг	$I'^0_{вп}$	Те саме		98	
Температура підігріву, °C	$t''_{вп}$	Приймається з подальшим уточненням	188	215	168
Ентальпія підігріву, ккал/кг	$I''^0_{вп}$	[1]	610	700	544
Коефіцієнт надлишку повітря	α''_T	З розрахунку топки		1,18	
Відношення кількості повітря за повітропідігрівачем до теоритичного	$\beta''_{вп}$	$\alpha_T + \Delta\alpha_T$		1,1	
Присос повітря у повітропідігрівачі	$\Delta a_{вп}$	[1]		0,03	
Теплосприйняття повітропідігрівача за балансом, ккал/кг	$Q_б$	$(\beta''_{вп} + \frac{\Delta a_{вп}}{2})(I''^0_{вп} - I'^0_{вп})$	570	672	496
Середня температура повітря, °C	t	$0.5(t'_{вп} + t''_{вп})$	109	122	99
Ентальпія повітря, ккал/кг	$I^0_{прс}$	[1]	355	394	316

Ентальпія газів за повітропідігрівачем, ккал/кг	I''	$I - \frac{Q_6}{\varphi_{1g}} + \Delta\alpha_{ВП} I_{прс}^{\rho}$	1445	1301	931
Температура газів за повітропідігрівачем, °С	θ''	[1]	298	269	192
Діаметр та товщина труб, м	$d \times \delta$	За конструктивними характеристиками		40×1.5	
Розташування труб	--	Те саме		Шахове	
Поперечний шаг, мм	s_1	--		80	
Поздовжній шаг, мм	s_2	--		45	
Відносний поперечний шаг, мм	σ_1	--		2	
відносний поздовжній шаг, мм	σ_2	За конструктивними характеристиками		1,13	
Число рядів по ходу повітря, шт.	z_2	Те саме		106	
Площа поверхні нагріву, м ²	H	--		1190	
Площа живого перерізу для проходу газів, м ²	F	--		4,44	
Площа живого перерізу для проходу повітря, м ²	f	--		3,8	

Продовження табл. 6.2

Параметри	Позначення	Формула чи обґрунтування	Розрахунок при навантаженні котла, %		
			100	50	30
Об'єм газів на 1 кг палива, м ³ /м	V _r	[1]		14,57	
Середня температура газів, °С	θ	0,5(θ' + θ'')	394	338	247
Об'ємна частка Н ₂ О	Γ _{Н₂О}	Те саме		0,098	
Об'ємна частка триатомних газів	Γ _n	..		0,206	
Середня швидкість газів, м/с	ω _r	$\frac{gV_r B_p (\theta_{cp} + 273)}{3600F \cdot 273}$	17,3	12,7	6,5
Коефіцієнт тепловіддачі з газової сторони, ккал/(м ² ·ч·°С)	α _к	[1]	44,5	36,2	22,6
Ефективна товщина випромінюючого шару, м	S	0,9d		0,033	
Сумарна поглинаюча здатність триатомних газів, м·кгс/см ²	P _n S	pr _n S		0,0067	
Коефіцієнт ослаблення променів триатомними газами	k _r	[1]	7	7,2	7,6
Оптична товщина	kpS	k _r pr _n S	0,047	0,048	0,051
Ступінь чорноти газів	a	[1]	0,045	0,046	0,047
Температура стінки, °С	t ₃	0,5(θ + t)	252	229	172

Коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням, ккал/(м ² ·год·°С)	α_L	[1]	1,9	1,4	0,9
Коефіцієнт тепловіддачі, ккал/(м ² ·год·°С)	α_1	$\alpha_K + \alpha_L$	46,4	37,6	23,5
Коефіцієнт	$\beta_{ВП}$	$\beta''_{ВП} + \frac{\Delta\alpha_{ВП}}{2}$		1,115	
Розрахункова швидкість повітря, м/с	ω_B	$\frac{B_p \beta_{ВП} V^0 (t + 273)}{3600 f \cdot 273}$	13,9	7,2	4,4
Коефіцієнт тепловіддачі, ккал/(м ² ·год·°С)	α_2	[1]	88	66,8	49,6
Коефіцієнт використання	ξ	[1]		0,7	
Коефіцієнт теплопередачі, ккал/(м ² ·год·°С)	K	$\xi \frac{\alpha_K \alpha_L}{\alpha_1 + \alpha_2}$	21,4	16,8	11
Температурний натиск, °С	$\Delta t'$	$\theta' - t'$	302	193	134
Температурний натиск, °С	$\Delta t''$	$\theta'' - t'$	268	239	152
Температурний натиск при протитечії, °С	$\Delta t_{прт}$	$0,5(\Delta t' + \Delta t'')$	285	216	198
	σ_6	$\theta' - \theta''$	192	185	138
	σ_M	$t'' - t'$	158	138	110
Параметр	P	$\tau_6(\theta' - t')$	0,35	0,367	0,4
Параметр	R	τ_6/τ_M	1,19	1,34	1,25
Коефіцієнт	φ	[1]	0,95	0,93	0,92
Температурний натиск середній, °С	Δt	$\varphi \Delta t_{прт}$	271	201	136

Продовження табл. 6.2

Параметри	Позначення	Формула чи обґрунтування	Розрахунок при навантаженні котла, %		
			100	50	30
Теплосприйняття повітропідігрівача, ккал/кг	Q_r	$\frac{kH\Delta t}{Bp}$	580	666	439
Нев'язка, %	Q_6/Q_r	$\frac{Q_6 - Q_r}{Q_6} 100$	1,52	0,9	0,6
<i>Перший економайзер</i>					
Діаметр труб та товщина стінки, мм	$d \times \delta$	За конструктивними характеристиками		28×3	
Розташування труб	--	Те саме		Шахове	
Поперечний шаг, мм	s_1	--		88	
Поздовжній шаг, мм	s_2	--		36	
Відносний поперечний шаг, мм	σ_1	--		3,14	
відносний поздовжній шаг, мм	σ_2	--		1,29	
Число рядів по ходу газів, шт.	z_2	--		28	
Площа поверхні нагріву, м ²	H	--		400	
Ефективна товщина випромінюючого шару, м	S	--		0,1044	
Площа переріз для проходу газів, м ²	F	--		9,85	
Температура води на вході, °С	t'	Згідно завдання		100	

Ентальпія води на вході, ккал/кг	i'	[1]		100,4	
Доля газів, що проходять через перший економайзер	g	Згідно завдання	1)0.6 2)0.0	1)1.0 2)0.0	1)1.0 2)0.0
Температура газів перед економайзером, °С	θ'	З розрахунку повітропідігрівача	298	269	192
Ентальпія газів після першого економайзера, ккал/кг	I'	З розрахунку повітропідігрівача	1445	1301	931
Ентальпія газів перед першим економайзером, ккал/кг	I''	[1]	1095	973	747
Температура газів після першого економайзера, °С	θ''	Приймаємо з подальшим уточненням	224	200	154
Теплосприйняття першого економайзера за балансом, ккал/кг	Q_6	$(I' - I'' + \Delta\alpha I_{x,B}^0)$	210	326	182
Ентальпія води на після першого економайзера, ккал/кг	i''	$i' + \frac{Q_6 B_p}{1.025D}$	121,5	126	113,9
Температура води на виході з першого економайзера, °С	t''	[1]	121	125	114
Температурний натиск на вході, °С	$\Delta t'$	$\theta' - t''$	177	144	78
Температурний натиск на виході, °С	Δt	$\theta'' - t''$	124	100	54

Продовження табл. 6.2

Параметри	Позначення	Формула чи обґрунтування	Розрахунок при навантаженні котла, %		
			100	50	30
Середня температура газів, °С	θ	$0,5(\theta' + \theta'')$	261	235	173
Середня температура води, °С	t	$0,5(t' + t'')$	111	113	107
Середній температурний натиск, °С	Δt	$\theta - t$	150	122	66
Об'єм газів на 1 кг палива, м ³ /м	V_r	[1]	14,84	14,84	14,84
Об'ємна частка Н ₂ О	Γ_{H_2O}	[1]	0,096	0,096	0,096
Об'ємна частка триатомних газів	Γ_n	[1]		0,202	
Середня швидкість газів, м/с	ω_r	$\frac{gV_r B_p (\theta_{cp} + 273)}{3600 \cdot 273F}$	5,9	4,7	2,4
Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, ккал/(м ² ·ч·°С)	α_k	[1]	63,8	57,8	37,8
Коефіцієнт використання	ξ	[1]		1	
Коефіцієнт тепловіддачі	α_1	$\xi \alpha_k$	63,8	57,8	37,8
Коефіцієнт теплової ефективності	φ	[1]	0,65	0,65	0,65
Коефіцієнт теплопередачі, ккал/(м ² ·год·°С)	K	$\varphi \alpha_1$	41,4	39,8	24,6

Теплосприйняття першого економайзера по рівнянню теплопередачі, ккал/кг	Q_T	$\frac{k H \Delta t}{B_p}$	209	322	182
Нев'язка, %	Q_T/Q_B	$\frac{Q_6 - Q_T}{Q_6} 100$	0,5	1,2	0
<i>Розрахункова нев'язка балансу</i>					
Ентальпія вихідних газів, ккал/кг	l_{yx}	$l'(l - g) + l''g$	889	973	747
Температура вихідних газів, °С	θ_{yx}	[1]	186	200	154
Втрата теплоти вихідними газами, %	q_2	$\frac{(l_{yx} - \alpha_{yx} l_{x.B}^0) 100}{Q_p^p}$	8,14	9	6,6
ККД котла	$\eta_{к.а}$	$100 - \Sigma q$	90,56	89,9	90,6
Витрата палива	B	$\frac{Q_k \cdot 100}{Q_p^p \eta_{к.а}}$	11900	6040	3550
Теплота, що вноситься в топку повітрям, ккал/кг	Q_B	$(\alpha_T - \Delta \alpha_T) l_{Г.В}^0 + \Delta \alpha_T l_{x.В}^0$	678	778	606
Корисне тепловиділення в топці, ккал/кг	Q_T	$Q_p^p \frac{100 - q_3 - q_4}{100 - q_4} + Q_B$	9948	10058	9870
Теплота, передана випромінюванням у топці	Q_L^T	$\varphi(Q_T - I_T'')$	4015	5215	5870
Середнє теплове навантаження променевосприймаючих поверхонь, ккал/(м ² ·год·°С)	q_L	$\frac{B_p Q_T^T}{H_L}$	$179,2 \cdot 10^3$	-	-

Продовження табл. 6.2

Параметри	Позначення	Формула чи обґрунтування	Розрахунок при навантаженні котла, %		
			100	50	30
Розрахункова нев'язка теплового балансу, ккал/кг	ΔQ	$Q_p^p \eta_{к.а} - [Q_{л}^I + Q_{ф}^I + Q_{пк}^I + Q_{к} + Q_{ф}'' + Q_{пк}'' + Q_{пе} + Q_{ек}'' + Q'_{ек}]$	24	37	0,32
Відносна нев'язка, %	--	$\frac{\Delta Q}{Q_p^p} 100$	0,26	0,29	--
* Характеристика палива:	$C^p=83\%; O^p=0.7\%; A^p=0.1\%; H^p=10.4\%; S^p=2.8\%; W^p=3\%$				
П р и м і т к и:	1) - пропуск газів через конвективну шахту; при 100% навантаженні кількість газів складає 60% загального.				
	2) - пропуск всіх газів через водогрійну конвективну шахту.				

.

.

Модернізація парового котла КВГ-162-150

ЗВЕДЕНИЙ КОШТОРИСНИЙ РОЗРАХУНОК ВАРТОСТІ БУДІВНИЦТВА

125-024-П - ЗК

Том 7

Керівник проектної організації

Головний інженер проекту (Головний архітектор проекту)

2024 р.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

Модернізація парового котла КВГ-162-150

Будівництво розташоване на території м.Києва.

Кошторисна документація складена із застосуванням:

- Збірники ресурсних елементних кошторисних норм на монтаж устаткування, технологічних трубопроводів, контроль якості зварних з'єднань. КНУ РЕКНму;
- Спеціальні та ремонтно-будівельні роботи (КНіРрс-97);
- Прейскурант 26-05-43Е Ремонтних, експериментальних, налагоджувальних та інших робіт на енергетичному, електротехнічному, паливоспоживаючому та газоводоочисному устаткуванні;
- Ремонт основного та допоміжного енергетичного обладнання, передавальних пристроїв і споруд. СОУ-Н МПЕ 40.1.05.602:2005;
- Збірники ресурсних елементних кошторисних норм на пусконалагоджувальні роботи. КНУ РЕКНпн;
- Збірники ресурсних елементних кошторисних норм на будівельні роботи. КНУ РЕКНб;
- Будівельні матеріали, вироби і конструкції;
- Перевезення ґрунту і сміття;
- Перевезення будівельних вантажів;
- Устаткування і матеріали;

Вартість матеріальних ресурсів і машино-годин прийнято за поточними цінами станом на дату складання документації та за усередненими показниками .

Загальновиробничі витрати розраховані відповідно до показників Додатка 18 Настанови з визначення вартості будівництва

При складанні розрахунків інших витрат прийняті такі нарахування:

1. Відсоток для визначення ліміту коштів на утримання служби замовника, Настанова [4.32]	1,00	%
2. Відсоток для визначення ліміту коштів на здійснення технічного нагляду, Настанова [4.32]	1,50	%
3. Показник витрат на покриття ризиків усіх учасників будівництва, Настанова [4.40]	4,50	%
4. Показник для визначення розміру кошторисного прибутку (див.графу 8 Кошторисного розрахунку №П130), Настанова [4.38]	13,15	грн./люд.год
5. Показник для визначення розміру адміністративних витрат (див.графу 8 Кошторисного розрахунку №П147), Настанова [4.39]	4,57	грн./люд.год

Загальна кошторисна трудомісткість	63,24064	тис.люд.год
Нормативна трудомісткість робіт, яка передбачається у прямих витратах	58,389	тис.люд.год
Загальна кошторисна заробітна плата	11142,049	тис.грн.
Середньомісячна заробітна плата на 1 робітника в режимі повної зайнятості:		
Тарифна сітка для будівельних, монтажних і ремонтних робіт при середньомісячній нормі тривалості робочого часу 174,67 люд.год та розряді робіт 3,8	25500,00	грн.
Тарифна сітка для ремонтно-будівельних і ремонтно-монтажних робіт Мінпромполітики України при середньомісячній нормі тривалості робочого часу 174,67 люд.год та розряді робіт 3,8	25500,00	грн.
Тарифна сітка для робіт, що виконуються, з ремонту енерго- та електроустаткування (прейскурант 26-05-43Е) при середньомісячній нормі тривалості робочого часу 174,67 люд.год та розряді робіт 3,8	25500,00	грн.
Тарифна сітка для пусконалагоджувального персоналу при середньомісячній нормі тривалості робочого часу 174,67 люд.год та розряді робіт 4	25500,00	грн.
Тарифна сітка для робіт з ремонту основного та допоміжного енергетичного обладнання, передавальних пристроїв і споруд [Мінпаливенерго] при середньомісячній нормі тривалості робочого часу 174,67 люд.год та розряді робіт 3,8	25500,00	грн.

Всього за зведеним кошторисним розрахунком:	100784,308	тис.грн.
у тому числі:		
будівельні роботи -	35685,139	тис.грн.
вартість устаткування -	45191,081	тис.грн.
інші витрати -	3110,703	тис.грн.
податок на додану вартість -	16797,385	тис.грн.

Примітка:

1. Дані про структуру кошторисної вартості будівництва наведені у документі "Підсумкові вартісні параметри".

Склав:

Перевірив:

(назва організації, що затверджує)

Затверджено (схвалено)

Зведений кошторисний розрахунок в сумі 100784,308 тис. грн.

В тому числі зворотних сум 0 тис. грн.

(посилання на документ про затвердження)

" " _____ 20 р.

ЗВЕДЕНИЙ КОШТОРИСНИЙ РОЗРАХУНОК ВАРТОСТІ ОБ'ЄКТА БУДІВНИЦТВА №

Модернізація парового котла КВГ-162-150

Складений за поточними цінами станом на 30 листопада 2024 р.

№ Ч.ч	Номери кошторисів і кошторисних розрахунків	Найменування глав, будівель, споруд, лінійних об'єктів інженерно-транспортної інфраструктури, робіт і витрат	Кошторисна вартість, тис.грн.			
			будівельних робіт	устаткування, меблів та інвентарю	інших витрат	загальна вартість
1	2	3	4	5	6	7
		Глава 2. Об'єкти основного призначення				
1	02-01	Котельня	33352,754	43245,054	-	76597,808
		Разом по главі 2:	33352,754	43245,054	-	76597,808
		Разом по главах 1-7:	33352,754	43245,054	-	76597,808
		Разом по главах 1-8:	33352,754	43245,054	-	76597,808
		Разом по главах 1-9:	33352,754	43245,054	-	76597,808
		Глава 10. Утримання служби замовника та інжинірингові послуги				
2	Настанова [4.32]	Кошти на утримання служби замовника (1 %)	-	-	765,978	765,978
3	Настанова [4.32]	Кошти на здійснення технічного нагляду (1,5 %)	-	-	1148,967	1148,967

1	2	3	4	5	6	7
		Разом по главі 10:	-	-	1914,945	1914,945
		Глава 12. Проектні, вишуквальні роботи, експертиза та авторський нагляд				
4	Настанова [4.34]	Вартість проектних робіт	-	-	714,000	714,000
5	Настанова [4.34]	Вартість експертизи проектної документації (К=1,1)	-	-	71,500	71,500
6	Настанова [4.35]	Кошти на здійснення авторського нагляду	-	-	-	-
		Разом по главі 12:	-	-	785,500	785,500
		Разом по главах 1-12:	33352,754	43245,054	2700,445	79298,253
	Настанова [4.38]	Кошторисний прибуток (П)	831,511	-	-	831,511
	Настанова [4.39]	Кошти на покриття адміністративних витрат будівельних організацій (АВ)	-	-	288,738	288,738
	Настанова [4.40]	Кошти на покриття ризику всіх учасників будівництва	1500,874	1946,027	121,520	3568,421
		Разом	35685,139	45191,081	3110,703	83986,923
	Настанова [4.43]	Податок на додану вартість	-	-	16797,385	16797,385
		Всього по зведеному кошторисному розрахунку	35685,139	45191,081	19908,088	100784,308

Керівник проектної організації _____

Головний інженер проекту
(Головний архітектор проекту) _____

Керівник _____

Модернізація парового котла КВГ-162-150

ОБ'ЄКТНИЙ КОШТОРИС № 02-01

на будівництво : Котельня

Кошторисна вартість об'єкта	76597,808 тис.грн.
Кошторисна трудомісткість	63,24064 тис.люд.год.
Кошторисна заробітна плата	11142,049 тис.грн.
Вимірник одиничної вартості	
Будівельні обсяги	

Складений за поточними цінами станом на 30 листопада 2024 р.

№ Ч. Ч	Номери кошторисів і кошторис- них роз- рахунків	Найменування робіт і витрат	Кошторисна вартість, тис.грн.			Кошторисна трудо- місткість, тис. люд.год.	Кошторис- на заробіт- на плата, тис. грн.	Показники одиничної вартості
			будівельних робіт	устаткуван- ня, меблів та інвен- тарю	всього			
1	02-01-01	на монтажні роботи	31585,828	43245,054	74830,882	56,23580	9744,536	-
2	02-01-02	на пусконаладжуальні роботи	1766,926	-	1766,926	7,00484	1397,513	-
-	-	Всього:	33352,754	43245,054	76597,808	63,24064	11142,049	-

Головний інженер проєкту
(Головний архітектор проєкту)

[підпис, (ініціали, прізвище)]

Керівник

[підпис, (ініціали, прізвище)]

Склав

[підпис, (ініціали, прізвище)]

Перевірив

[підпис, (ініціали, прізвище)]

Модернізація парового котла КВГ-162-150
125-024-П

Локальний кошторис на будівельні роботи №02-01-01
на монтажні роботи
Котельня

Основа:
креслення (специфікації) №

Кошторисна вартість 74830,882 тис. грн.
Кошторисна трудомісткість 56,2358 тис.люд.год.
Кошторисна заробітна плата 9744,536 тис. грн.
Середній розряд робіт 4,3 розряд

Складений за поточними цінами станом на "30 листопада" 2024 р.

№ Ч.ч.	Обґрунтування (шифр норми)	Найменування робіт і витрат	Одиниця виміру	Кількість	Вартість одиниці, грн.		Загальна вартість, грн.			Витрати труда робітників, люд.год.	
					Всього	експлуатації машин	Всього	заробітної плати	експлуатації машин	не зайнятих обслуговуванням машин	
										заробітної плати	в тому числі заробітної плати
									на одиницю	всього	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	TE1-330101-1-1	Підготовчо-заклучні роботи. Підготовка до реконструкції, паровидатність котла 35 т/год	котел	1	<u>5879,42</u>	-	5879	5879	-	38,4000	38,4
					5879,42	-			-	-	-
2	КМ6-4-1 к дем.=0,5	(Демонтаж) Екрани і труби конвективного пучка із перепускними трубами парових котлів, що працюють на газомазутному паливі, паропродуктивністю 2,5-50 т/год, тиском 1,4-2,4 МПа	т	10	<u>69011,14</u>	<u>43525,47</u>	690111	253847	<u>435255</u>	<u>173,8800</u>	<u>1738,8</u>
					25384,74	12348,96			123490	77,2230	772,23
3	С331-4-1	Перевезення металокопункцій легкого типу автотягачами зі спеціальним причіпом на відстань 30 км	т	10	<u>480,00</u>	<u>480,00</u>	4800	-	<u>4800</u>	-	-
					-	-			-	-	-
4	КБ45-53-1 к дем.=0,6	(Демонтаж) Ізоляція мурування печей, котлів і трубопроводів шамотним мертелем з азбестом	м3	8	<u>2208,95</u>	<u>478,12</u>	17672	13839	<u>3825</u>	<u>14,9040</u>	<u>119,23</u>
					1729,91	219,90			1759	1,4510	11,61
5	С311-30-М	Перевезення сміття до 30 км	т	14,4	<u>600,00</u>	<u>600,00</u>	8640	-	<u>8640</u>	-	-
					-	67,93			978	0,4110	5,92

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
6	КМ6-2-3	Монтаж барабана із сепараційним пристроєм, опорами та підвісками парових котлів паропродуктивністю 36-50 т/год, тиском 1,4-3,9 МПа	т	2,5	<u>14677,77</u> 7104,38	<u>1639,59</u> 501,60	36694	17761	<u>4099</u> 1254	<u>50,4000</u> 2,6308	<u>126</u> 6,58
7	С121-783 варіант 1	Металокопструкції барабанів з сепараційними пристроями	т	2,5	<u>397312,20</u> -	<u>-</u> -	993281	-	<u>-</u> -	<u>-</u> -	<u>-</u> -
8	КМ6-4-24	Труби водопідвідні та паровідвідні з виносними циклонами, опорами та підвісками, барабанних котлів, що працюють на газомазутному паливі, паропродуктивністю 50 т/год, тиском 1,4 МПа	т	12,5	<u>147940,90</u> 102744,26	<u>30545,99</u> 5620,51	1849261	1284303	<u>381825</u> 70256	<u>621,6000</u> 35,9090	<u>7770</u> 448,86
9	С121-783 варіант 2	Вузли водопідвідних труб	т	12,5	<u>451717,20</u> -	<u>-</u> -	5646465	-	<u>-</u> -	<u>-</u> -	<u>-</u> -
10	КМ6-6-2	Пароперегрівник конвективний зі сполучними елементами, який постачається окремими деталями, парових котлів, що працюють на газомазутному паливі, паропродуктивністю 35-75 т/год, тиском 1,4-3,9 МПа	т	2,25	<u>45176,26</u> 30261,77	<u>12059,23</u> 4267,53	101647	68089	<u>27133</u> 9602	<u>188,1600</u> 22,9298	<u>423,36</u> 51,59
11	С121-783 варіант 3	Пароперегрівник конвективний	т	2,25	<u>384214,70</u> -	<u>-</u> -	864483	-	<u>-</u> -	<u>-</u> -	<u>-</u> -
12	КМ6-7-3	Економайзер сталевий змійовиковий зі сполучними елементами, який постачається окремими деталями, парових котлів, що працюють на газомазутному паливі, паропродуктивністю 35-75 т/год, тиском 1,4-3,9 МПа	т	10,1	<u>36558,85</u> 17532,21	<u>10697,69</u> 3505,33	369244	177075	<u>108047</u> 35404	<u>107,5200</u> 18,8834	<u>1085,95</u> 190,72
13	1905-13008 варіант 1	Економайзер	шт	1	<u>1882264,12</u> -	<u>-</u> -	1882264	-	<u>-</u> -	<u>-</u> -	<u>-</u> -
14	КБ45-53-1	Ізоляція мурування печей, котлів і трубопроводів шамотним мертелем з азбестом	м3	14	<u>40733,93</u> 2883,18	<u>796,87</u> 366,51	570275	40365	<u>11156</u> 5131	<u>24,8400</u> 2,4184	<u>347,76</u> 33,86
15	КМ6-281-5	Монтаж теплообмінника пароводяного продуктивністю до 40 т/год	т	16	<u>139795,44</u> 130239,08	<u>2235,77</u> 644,45	2236727	2083825	<u>35772</u> 10311	<u>935,7600</u> 3,6415	<u>14972,16</u> 58,26
16	С121-783 варіант 5	Теплообмінник (2шт)	т	16	<u>532317,20</u> -	<u>-</u> -	8517075	-	<u>-</u> -	<u>-</u> -	<u>-</u> -

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
17	КМ6-9-2	Трубопроводи та перепускні труби з арматурою, фасонними частинами, опорами та підвісками, включаючи конденсаційну установку та паропаровий теплообмінник котлів, що працюють на газомазутному паливі, паропродуктивністю 35-75 т/год, тиском 3,9 МПа	т	1,5	<u>124292,23</u> 111735,81	<u>9326,71</u> 1894,67	186438	167604	<u>13990</u> 2842	<u>666,9600</u> 11,9957	<u>1000,44</u> 17,99
18	С121-783 варіант 4	Трубопроводи в межах котлів з фасонними частинами і арматурою	т	1,5	<u>212939,70</u> -	-	319410	-	-	-	-
19	КМ6-13-3	Гідравлічне випробування котлів П-подібного компонування, що працюють на газомазутному паливі, паропродуктивністю 35-75 т/год, тиском 1,4-3,9 МПа	комплект	1	<u>64230,91</u> 46122,85	<u>2808,41</u> 297,61	64231	46123	<u>2808</u> 298	<u>304,0800</u> 1,7957	<u>304,08</u> 1,8
20	КМ6-1-3	Монтаж каркаса і каркасних конструкцій парових котлів, що працюють на газомазутному паливі, паропродуктивністю 35-75 т/год, тиском 1,4-2,4 МПа	т	6,3	<u>18527,45</u> 8538,87	<u>6248,66</u> 1981,77	116723	53795	<u>39367</u> 12485	<u>55,4400</u> 10,4072	<u>349,27</u> 65,57
21	С121-783	Металоконструкції індивідуальні	т	6,3	<u>109167,20</u> -	-	687753	-	-	-	-
22	КМ12-2-12	Трубопроводи зі сталевих труб із фланцями та зварними стиками на умовний тиск не більше 2,5 МПа [25 кгс/см ²], що монтуються з готових вузлів, діаметр зовнішній 219 мм	т	1,8	<u>38685,74</u> 27259,68	<u>10251,72</u> 2773,57	69634	49067	<u>18453</u> 4992	<u>182,4000</u> 16,7825	<u>328,32</u> 30,21
23	КМ12-1301-13	Виготовлення вузлів для технологічних цехових трубопроводів із труб вуглецевих та якісних сталей із фланцями та зварними стиками на умовний тиск не більше 2,5 МПа [25 кгс/см ²], зовнішній діаметр трубопроводу 219 мм	т	1,8	<u>24426,56</u> 13267,57	<u>8615,85</u> 2468,48	43968	23882	<u>15509</u> 4443	<u>88,7760</u> 13,1033	<u>159,8</u> 23,59
24	С113-471	Труби сталеві безшовні гарячедеформовані із сталі марки 15, 20, 25, зовнішній діаметр 219 мм, товщина стінки 8 мм	м	38	<u>2497,26</u> -	-	94896	-	-	-	-
25	С1534-42	Відводи гнуті під кутом 90 град. із сталі марки 20, радіус кривизни 1,5 Ду, Ру 10 МПа [100 кгс/см ²], діаметр умовного проходу 200 мм, зовнішній діаметр 219 мм, товщина стінки 8 мм	шт	8	<u>1529,72</u> -	-	12238	-	-	-	-
26	С130-989 варіант 1	Фланці ст. Ду200 Ру16 (10,1)	шт	8	<u>1457,72</u> -	-	11662	-	-	-	-
27	КМ37-1-4	Очищення металевими щітками поверхні контрольованого зварного шва на трубопроводі, діаметр труб до 273 мм	стик	6	<u>105,81</u> 105,81	-	635	635	-	0,7080	4,25

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
28	КМ37-27-4	Контроль якості зварних з'єднань трубопроводів зовнішнім оглядом і вимірюванням, який виконується на монтажі, діаметр труб до 219 мм	стик	6	<u>49,56</u> 49,56	- -	297	297	- -	0,2880	1,73 -
29	КМ37-1-19	Очищення металевими щітками поверхні контрольованого зварного шва устаткування	м шва	142	<u>111,19</u> 111,19	- -	15789	15789	- -	0,7440	105,65 -
30	КМ37-28-1	Контроль якості зварних з'єднань устаткування, конструкцій і закладних деталей зовнішнім оглядом і вимірюванням, який виконується на монтажі, контроль з одного боку	м	142	<u>45,43</u> 45,43	- -	6451	6451	- -	0,2640	37,49 -
31	КМ37-40-2	Рентгенографічний контроль зварних з'єднань трубопроводів просвічуванням через одну стінку, який виконується на монтажі, товщина просвічуваного металу до 10 мм	знімок	10	<u>3134,79</u> 418,77	<u>1803,38</u> 281,49	31348	4188	<u>18034</u> 2815	<u>2,0880</u> 1,5598	<u>20,88</u> 15,6
32	КБ13-44-7	Очищення поверхонь щітками	м2	29,6	<u>39,71</u> 39,71	- -	1175	1175	- -	0,3000	8,88 -
33	КБ13-44-9	Знепилювання металевих поверхонь	м2	29,6	<u>34,04</u> 27,71	<u>6,33</u> 0,36	1008	820	<u>188</u> 11	<u>0,2040</u> 0,0024	<u>6,04</u> 0,07
34	КБ13-16-6	Ґрунтування металевих поверхонь за два рази Ґрунтовкою ГФ-021	100м2	0,296	<u>4812,20</u> 1896,21	<u>205,00</u> 25,62	1424	561	<u>61</u> 8	<u>11,4720</u> 0,1728	<u>3,4</u> 0,05
35	КБ13-26-6	Фарбування металевих поґрунтованих поверхонь емаллю ПФ-115	100м2	0,296	<u>3612,74</u> 708,33	<u>76,92</u> 14,36	1069	210	<u>23</u> 4	<u>4,3440</u> 0,0965	<u>1,29</u> 0,03
36	КБ26-15-11	Покриття поверхні ізоляції трубопроводів діаметром від 159 мм до 273 мм виробами покриття з алюмінієвих сплавів, товщина ізоляційного шару 100 мм	10 м	4,3	<u>4488,18</u> 4037,11	<u>451,07</u> 205,13	19299	17360	<u>1939</u> 882	<u>26,6160</u> 1,3726	<u>114,45</u> 5,9
37	ПР26-13025	Виготовлення ожужок з алюмінієвого листа	м2	64,5	<u>327,33</u> 308,36	<u>13,06</u> 3,65	21113	19889	<u>842</u> 235	<u>2,0640</u> 0,0234	<u>133,13</u> 1,51
38	С114-140-У варіант 1	Лист алюмінієвий 0,55мм	м2	70,95	<u>255,89</u> -	- -	18155	-	- -	- -	- -
39	КБ9-34-2	Монтаж опорних конструкцій для кріплення трубопроводів всередині будівель і споруд масою до 0,5 т	т	1,5	<u>13962,52</u> 12287,20	<u>912,68</u> 251,87	20944	18431	<u>1369</u> 378	<u>87,1680</u> 1,6642	<u>130,75</u> 2,5
40	С121-783	Металоконструкції індивідуальні	т	1,5	<u>109167,20</u> -	- -	163751	-	- -	- -	- -
41	КМ6-344-1	Монтаж турбіни парової типу Р, потужність 2500 кВт	т	1	<u>146919,22</u> 74917,79	<u>52954,15</u> 21921,09	146919	74918	<u>52954</u> 21921	<u>493,9200</u> 127,9279	<u>493,92</u> 127,93
42	КМ6-360-1	Монтаж турбогенераторів, потужність 2500 кВт	т	1	<u>42946,33</u> 19816,47	<u>6559,09</u> 2966,47	42946	19816	<u>6559</u> 2966	<u>147,8400</u> 16,3538	<u>147,84</u> 16,35

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
43	1904-4025 варіант 1	Турбогенератор Сіменс 2,5МВт	шт	1	##### -	- -	37500000	-	- -	- -	- -
44	1904-4025 варіант 2	Турбогенератор Сіменс 2,5МВт (витрати на шефмонтаж)	шт	1	405000,00 -	- -	405000	-	- -	- -	- -
45	ПЕ10-11-1-8	Монтаж комплекту автоматичних регуляторів, захисту, сигналізації та блокування парової турбіни і допоміжного обладнання	шт	1	2065028,43 2065028,43	- -	2065028	2065028	- -	10298,8800 -	10298,88 -
46	1602-10951 варіант 1	Комплект обладнання і матеріалів автоматизації	комплект	1	1400000,00 -	- -	1400000	-	- -	- -	- -
47	ПЕ10-11-1-8	Реконструкція системи електропостачання з урахуванням доданої потужності	шт	1	1961777,01 1961777,01	- -	1961777	1961777	- -	9783,9360 -	9783,94 -
48	1602-10951 варіант 2	Комплект обладнання і матеріалів електропостачання	комплект	1	1240000,00 -	- -	1240000	-	- -	- -	- -
Разом прями витрати по кошторису							70465599	8492799	1192648 312465		50056,09 1888,73
Разом устаткування, грн.							42427264				
Транспортні та заготівельно-складські витрати, грн.							817790				
Всього устаткування, грн.							43245054				
Разом будівельні роботи, грн.							28038335				
в тому числі:											
вартість матеріалів, виробів та комплектів, грн.							18352888				
всього заробітна плата, грн.							8805264				
Загальновиробничі витрати, грн.							3547493				
трудомісткість в загальновиробничих витратах, люд.год.							4290,98				
заробітна плата в загальновиробничих витратах, грн.							939272				
Всього будівельні роботи, грн.							31585828				

Всього по кошторису							74830882				
Кошторисна трудомісткість, люд.год.							56235,8				

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
		Кошторисна заробітна плата, грн.						9744536				

Склав _____
[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

Перевірив _____
[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

Модернізація парового котла КВГ-162-150
125-024-П

Локальний кошторис на будівельні роботи №02-01-02
на пусконаладжувальні роботи
Котельня

Основа:
креслення (специфікації) №

Кошторисна вартість 1766,926 тис. грн.
Кошторисна трудомісткість 7,00484 тис.люд.год.
Кошторисна заробітна плата 1397,513 тис. грн.
Середній розряд робіт 6,0 розряд

Складений за поточними цінами станом на "30 листопада" 2024 р.

№ Ч.ч.	Обґрунтування (шифр норми)	Найменування робіт і витрат	Одиниця виміру	Кількість	Вартість одиниці, грн.		Загальна вартість, грн.			Витрати труда робітників, люд.год.	
					Всього	експлуатації машин	Всього	заробітної плати	експлуатації машин	не зайнятих обслуговуванням машин	
										заробітної плати	в тому числі заробітної плати
						на одиницю	всього				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		Перелік нарахувань:									
		Коефіцієнт до витрат усіх ресурсів=1,2 [налагодження експериментального, досвідченого або незасвоєного устаткування - вітчизняного і імпортного - [по нормам для аналогічного устаткування [близького по конструкції, технологічному призначенню]									
1	КП7-1-5	Котел на рідкому або газоподібному паливі без пароперегрівів, паропроодуктивність до 35 т/год	котел	1	<u>250163,42</u> 250163,42	- -	250163	250163	- -	1276,8000	1276,8
2	КП7-6-3	Випробування парових котлів, паропроодуктивність понад 1 до 35 т/год, тиском 3,9 [40] МПа [кгс/см ²]	котел	1	<u>89344,08</u> 89344,08	- -	89344	89344	- -	456,0000	456

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
3	КП7-52-6	Еколого-теплотехнічні випробування котла парового або водогрійного, що працює на газоподібному паливі, теплопродуктивність до 180 Гкал/год	котел	1	70534,80 70534,80	- -	70535	70535	- -	360,0000 -	360 -	
4	КП7-48-4	Режимно-налагодувальні випробування. Котел паровий, що працює на рідкому або газоподібному паливі без пароперегрівача, паропроодуктивність до 35 т/год	котел	1	134721,47 134721,47	- -	134721	134721	- -	687,6000 -	687,6 -	
5	КП7-17-3	Налагодження паротурбінної установки	установ.	1	43261,34 43261,34	- -	43261	43261	- -	220,8000 -	220,8 -	
6	ПЕ10-15-3-8-2-1	Підвищення рівня експлуатації обладнання. Електрифікація та автоматизація технологічного агрегату [паротурбінна установка, котлоагрегат та ін.]	шт	1	690355,93 690355,93	- -	690356	690356	- -	3443,0000 -	3443 -	
Разом прями витрати по кошторису							1278380	1278380	- -		6444,2 -	
Разом будівельні роботи, грн.							1278380					
в тому числі:												
всього заробітна плата, грн.							1278380					
Загальновиробничі витрати, грн.							488546					
трудоємність в загальновиробничих витратах, люд.год.							560,64					
заробітна плата в загальновиробничих витратах, грн.							119133					
Всього будівельні роботи, грн.							1766926					

Всього по кошторису							1766926					
Кошторисна трудоємність, люд.год.							7004,84					
Кошторисна заробітна плата, грн.							1397513					

Склав

_____ [посада, підпис (ініціали, прізвище)]

Перевірив

_____ [посада, підпис (ініціали, прізвище)]

ВИСНОВОК

Проаналізувавши конструкцію котла КВ-Г-116,3-150 та виконавши тепловий розрахунок, ми прийшли до висновку, що можливо вбудувати парогенеруючу секцію в існуючий котел, що дозволяє значно підвищити його ККД та здатність вироблення промислової пари для виробництва електроенергії для покриття частини власних потреб. Розробка проекту базується на сучасних технологічних рішеннях та інноваційних матеріалах, які дозволяють зменшити споживання палива та викиди шкідливих речовин, а також покращити надійність і довговічність обладнання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Розпорядження Президента України № 1199/2005-рп від 20 жовтня 2005 року. Про заходи щодо забезпечення енергетичної безпеки України // Урядовий кур'єр. – 2005. – № 202. – <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/1199/2005-rp>,
2. Васькін В. В. Теплові схеми міні-ТЕЦ на базі протитискових парових турбін, що застосовуються в робочих проектах / В. В. Васькін, В. А. Петрущенко // Новини теплопостачання. - 2004. - № 8. - С. 22-26.
3. Ольховський Г. Н. Застосування ГТУ та ПДУ на електростанціях / Г. Н. Ольховський // Енергоринок. - 2004. - № 5. - С. 68-73.
4. Утилізація скидної теплоти ДПА в енергоустановках з низькокиплячими робочими тілами / Б. Білека, Є. Васильєв, В. Ізбаш та ін // Газотурбінні технології. - 2002. - № 5. - С. 6-10.
5. Вирішення питань енергозбереження на коксохімічних підприємствах на прикладі розширення енерговузла «Ясинівський коксохімічний завод» / Н. Ю. Бабак, Н. В. Лихвар, С. А. Медянець та ін // Пробл. Машинобудування.- 2007. - Т. 10, № 1. - С. 4-12.
6. Енергозбереження за допомогою установки турбін малої потужності / А. Л. Шубенко, Н. Ю. Бабак, М. І. Роговий, А. В. Сенецький // Енергозбереження. - 2008. - № 9. - С. 2-5.
7. Сенецький А. В. Енергозбереження на основі застосування турбін малої потужності на низькокиплячих робочих тілах [Текст] / А. В. Сенецький // Сучасні проблеми машинобудування. Конференція молодих вчених та спеціалістів 3–6 листопада 2010 р.: тез. доп. - Харків, 2010. - С. 67.
8. Шубенко О. Л. Перспективи використання парових турбін малої потужності на промислових енерговузлах та комунальних котельнях України / О. Л. Шубенко, О. А. Тарелін, В. М. Голощапов // Нові розробки та технології у газотурбобудуванні: зб. наук. тр. – Кривий Ріг: КрТЗ «Констар», 2004. – С. 17–20.
9. Березін С. Р. Технологія енергозбереження з використанням парових гвинтових машин / С. Р. Березін // Теплоенергетика, 2007. - № 8. - С. 40-44.

10. Погосов, О. Г., Чепурна, Н. В., Пасічник, П. О., Кулінко, Є. О., & Дорошенко, А. А. (2023). Сучасні системи тепло-та паропостачання промислових підприємств при застосуванні глибокої утилізації енергетичного потенціалу технологічної пари. Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання, 45, 42-51.
11. Гвинтова енергетична машина (ВМ) виробництва ТОВ "ВМ-енергія" [Електронний ресурс] / ТОВ "ВМ-енергія": офіційний сайт виробника. http://www.vm-energy.ru/products_vm.html,
12. Призначення парової гвинтової машини (ПВМ-250) ЗАТ «Мала незалежна енергетика» [Електронний ресурс] / 436 ЗАТ "Мала незалежна енергетика": офіційний сайт. <http://www.energywell.narod.ru/business1.html>,
13. Виробництво паро-гвинтового розширювача АВПР-1.0 [Електронний ресурс] / ЗАТ «Еко-Енергетика»: офіційний сайт.: <http://www.eco-energetika.ru/>,
14. Переведення теплоелектроцентралі на спалювання місцевого палива в обсягах, що забезпечують роботу стації в літню пору / О. Л. Шубенко, Н. Ю. Бабак, А. В. Сенецький, С. В. Роговий // Енергозбереження. Енергетика. Енергоаудит, -2013. - № 4. - С. 17-26. - ISSN 2218-1849.
15. Погосов, О. Г., Пасічник, П. О., Кольчик, Ю. М., Кулінко, Є. О., Козячина, Б. І., & Габа, К. О. (2024). Парові та газові турбіни.
16. Malkin, E ., & P ogosov, O . (2015). Оцінка вторинних енергоресурсів та напрямки підвищення енергоефективності при реконструкції систем паропостачання промислових підприємств. Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання, (18), 106-112.
17. Кулінко, Є., Скочко, В., Тисленко, П., & Шебанова, М. (2024). Геометричне моделювання мереж системи тепlopостачання на основі мінімізації. Прикладна геометрія та інженерна графіка, 1(106), 278-300.
18. Приймак, О. В., & Гламаздін, П. М. (2011). Аналіз технічних рішень, що пропонуються при розробці оптимізованих схем тепlopостачання міст України.
19. Гламаздін, П. М., & Гламаздін, Д. П. (2021). Енергоефективна модернізація котлів КВГ та ТВГ. Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання, 36, 22-35.
20. Бузніков Е.Ф., Роддатіс К.Ф., Берзінш Е.Я. Виробничі та опалювальні котельні 2-ге вид., перероб. - М.: Вища школа, 1984. - 248 с.: іл.