Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Первомайський навчально-науковий інститут

Кафедра «Енергетичного інжинірингу та робототехнічних систем»

«Допущений до захисту»
Завідувач кафедри
_____
«_8_» ___06___ 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»

на тему: Виробничо-опалювальна котельня для ТОВ "Тернопільська меблева фабрика" вул. Білецька, 56, с. Біла потужністю 114 МВт з розробкою системи водопідготовки.

Виконала: студентка групи 47-ТЕ-22з
_____ ***Левкович А.О.***
(підпис)

Керівник роботи:
к.т.н., професор кафедри ЕІ та РС ПННІ НУК
(посада, науковий ступінь, вчене звання)
_____ ***Димо Б.В.***
(підпис)

Первомайськ - 2026 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Первомайський навчально-науковий інститут

Кафедра «Енергетичного інжинірингу та робототехнічних систем»
Спеціальність 144 – «Теплоенергетика»
Освітня програма «Теплоенергетика»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Гарант освітньої програми
_____
(підпис)
«23» 02 2026 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»

Студентки Левкович Альоні Олександрівні
(Прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Виробничо-опалювальна котельня для ТОВ "Тернопільська меблева фабрика" вул. Білецька, 56, с. Біла потужністю 114 МВт з розробкою системи водопідготовки.

Керівник роботи к.т.н. професор кафедри ЕІ та РС Димо Б.В.

Затверджено розпорядженням ПННІ НУК № 19 від « 19 » 02. 2026року

2. Термін подання студентом роботи до розгляду на кафедру: 05.06.2026

3. Вихідні дані по роботі: Котельня використовується для постачання парою фабрики та для опалення житлового району. Теплові навантаження на технологічні потреби – 9 тонн пари на годину; на опалення та вентиляцію – 16 ГДж/год; на ГВП - 8 ГДж / год.

З виробництва конденсат повертається з температурою $t_{конд.техн.}$ = 75 ° С у кількості 65%

У котельні повинні застосовуватися котли марки ДКВР-6,5-13 виробництва Бійського котельного заводу.

Теплопостачання району здійснюється за двотрубною закритою схемою. Розрахункові параметри теплоносія: подаючий трубопровід – 95°С; зворотний трубопровід – 70°С.

4. Перелік питань, що належать до розробки (найменування розділів).

1. Характеристика підприємства для якого розробляється котельня. 2. Розробка та опис теплової схеми котельної. 3. Розробка системи водопідготовки котельні. 4. Розрахунок та вибір допоміжного обладнання котельні. 5. Розрахунок та підбір тягодутьевого обладнання 6. Розробка заходів з охорони праці.

5. Перелік презентаційних матеріалів

1. Теплова схема. 2. Компоновка обладнання. 3. Компоновка обладнання переріз. 4. Креслення ГРУ. 5. Креслення котла. 6. Креслення фільтра.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання «20» лютого 2026р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Номер	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Характеристика підприємства для якого розробляється котельня.	9.03.26	
2	Розробка та опис теплової схеми котельної	22.03.26	
3	Розробка системи водопідготовки котельні	10.04.26	
4	Розрахунок та вибір допоміжного обладнання котельні	20.04.26	
5	Розрахунок та підбір тягодутьевого обладнання	10.05.26	
6	Розробка заходів з охорони праці	16.05.26	
7	Графічна частина	22.05.26	

Студентка _____ Левкович А.О.
(підпис)

Керівник роботи _____ Димо Б.В.
(підпис)

Анотація

У межах кваліфікаційної роботи спроектовано виробничо-опалювальну котельню для потреб ТОВ «Тернопільська меблева фабрика» загальною тепловою потужністю 114 МВт. Виконано розробку та розрахунок теплової схеми котельні, визначено оптимальну кількість котлів.

Запроектовано систему водопідготовки, розглянуто технологічні методи обробки живильної води для парових котлів, обґрунтовано вибір та проведено розрахунок схеми її підготовки. Підібрано натрій-катіонітні та натрій-хлор-іонітні фільтри, а також обрано та спроектовано солерозчинник.

Виконано розрахунок і підбір допоміжного обладнання котельні, включно з дуттьовими установками.

У роботі також передбачено комплекс заходів з охорони праці, спрямованих на безпечну експлуатацію котельні та мінімізацію ризиків для персоналу.

Ключові слова: котельня, теплова схема, вентиляція, натрій-катіонітові фільтри, аеродинамічний розрахунок, деаератор, тягодутьове обладнання, димосос, мережний насос.

Abstract

As part of the qualification work, a production and heating boiler house was designed for the needs of LLC "Ternopil Furniture Factory" with a total thermal capacity of 114 MW. The boiler house thermal scheme was developed and calculated, the optimal number of boilers was determined.

A water treatment system was designed, technological methods for treating feed water for steam boilers were considered, the choice and calculation of its preparation scheme were justified. Sodium cationite and sodium chloride ionite filters were selected, and a brine solvent was selected and designed.

The calculation and selection of auxiliary equipment for the boiler house were performed, including draft fans.

The work also provides for a set of occupational safety measures aimed at the safe operation of the boiler house and minimizing risks to personnel.

Keywords: boiler room, thermal scheme, ventilation, sodium cationite filters, aerodynamic calculation, deaerator, traction equipment, smoke pump, mains pump.

ЗМІСТ

ВСТУП……. 6
РОЗДІЛ 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ПІДПРИЄМСТВА ДЛЯ ЯКОГО РОЗРОБЛЯЄТЬСЯ КОТЕЛЬНЯ…… 9
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ТА ОПИС ТЕПЛОВОЇ СХЕМИ КОТЕЛЬНОЇ…. 11
2.1. Короткий опис котельного агрегату ДКВР-6,5-13…….. 11
2.2. Опис теплової схеми котельні…… 14
2.3. Розрахунок теплової схеми котельні……. 16
2.4. Вибір числа встановлених котлів…….. 23
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА СИСТЕМИ ВОДОПІДГОТОВКИ КОТЕЛЬНІ… 25
3.1. Склад природної води……. 25
3.2. Показники якості води…… 26
3.3. Обробка води для парових котлів…….. 27
3.3.1. Видалення механічних домішок за допомогою фільтрів…… 28
3.3.2. Пом'якшення води методом іонного обміну……. 28
3.4. Вибір схеми обробки вхідної води…….. 32
3.5. Підбір натрій-катіонітних фільтрів…… 33
3.6. Підбір натрій-хлор-іонітних фільтрів…… 36
3.7. Вибір солерозчинника……. 39
3.8. Вибір деаератора……. 40
РОЗДІЛ 4. РОЗРАХУНОК ТА ВИБІР ДОПОМІЖНОГО ОБЛАДНАННЯ КОТЕЛЬНІ…….. 44
4.1. Вибір насосів…… 44
4.1.1. Вибір насосів вхідної води……. 44
4.1.2. Вибір живильних насосів…… 45
4.1.3. Вибір мережних насосів…….. 47
4.1.4. Вибір підживлювальних насосів…… 48
4.1.5. Вибір конденсатних насосів……... 49
4.2. Вибір теплообмінників……... 50
4.3. Вибір сепаратора безперервного продування……... 54
РОЗДІЛ 5. РОЗРАХУНОК ТА ПІДБІР ТЯГОДУТЬЄВОГО ОБЛАДНАННЯ……... 58
5.1. Опис схеми подачі повітря та димовидалення……. 58
5.2. Розрахунок обсягів продуктів згоряння та ККД котлоагрегату…. 59
5.2.1. Вибір коефіцієнта надлишку повітря…… 59
5.2.2. Розрахунок об’ємів та ентальпій повітря та продуктів згоряння... 60

5.2.3. Розрахунок втрат теплоти та ККД котельному агрегаті…….. 61
5.2.4. Розрахунок кількості палива, що спалюється в котельному агрегаті…….. 63
5.3. Вибір тягодуттьового обладнання……. 64
5.3.1. Аеродинамічний опір котельної установки…….. 64
5.3.2. Вибір дутьового вентилятора……. 64
5.3.3. Вибір димососу…… 66
РОЗДІЛ 6. РОЗРОБКА ЗАХОДІВ З ОХОРОНИ ПРАЦІ…… 68
6.1. Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторі у машинному і котельному відділеннях……... 69
6.2. Розробка технічних заходів захисту від шуму……. 74
ВИСНОВКИ…… 76
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ…….. 77
ДОДАТКИ…….. 79

ВСТУП

Котельня, що входить до складу ТОВ «Тернопільська меблева фабрика», забезпечує виробництво насиченої пари для технологічних потреб підприємства та системи теплопостачання. На ній експлуатуються парові котли типу ДКВР-6,5-13, які використовують газоподібне паливо, а в якості резервного — мазут.

Існуюча теплова схема котельні не відповідає сучасним вимогам енергоефективності. Відсутність сепаратора безперервного продування та охолодника випару з деаератора призводить до значних теплових втрат. Додатковим фактором зниження ефективності є підсмоктування холодного повітря до газоходів економайзерів, що збільшує втрати тепла з відхідними газами, підвищує навантаження на димососи, знижує ККД як окремих котлоагрегатів, так і всієї установки.

Проект реконструкції котельні, розроблений у межах кваліфікаційної роботи, передбачає комплекс заходів для підвищення ефективності її функціонування. Запланована заміна чавунних економайзерів на сталеві з газощільним виконанням газоходів, що унеможливить присоси холодного повітря. Також передбачено встановлення охолодника випару та сепаратора безперервного продування, використання тепла відсепарованої води для підігріву хімічно очищеної води, а також застосування охолодника випару для додаткової утилізації теплової енергії. Пара з сепаратора безперервного продування надходитиме безпосередньо до деаератора, що дозволить зменшити втрати пари та підвищити економічність роботи котельні.

Мета дослідження

Підвищення енергоефективності та надійності роботи котельні ТОВ «Тернопільська меблева фабрика» шляхом удосконалення теплової схеми, модернізації обладнання та впровадження заходів з утилізації теплових втрат.

Завдання дослідження

Провести аналіз існуючого стану котельні та виявити основні причини втрат теплової енергії.

Розробити оновлену теплову схему з урахуванням сучасних вимог енергоефективності.

Обґрунтувати вибір та провести розрахунок нового обладнання (економайзери, сепаратор безперервного продування, охолоджувач випару).

Запропонувати конструктивні рішення для усунення присосів холодного повітря в газоходи.

Розробити заходи з утилізації вторинних енергоресурсів (тепла відсепарованої води та пари).

Оцінити економічний ефект від впровадження проектних рішень.

Передбачити заходи з охорони праці та безпеки персоналу при експлуатації модернізованої котельні.

Об’єкт дослідження

Процеси виробництва та утилізації теплової енергії в паровій котельні промислового підприємства.

Предмет дослідження

Теплова схема та конструктивні елементи котельні, що впливають на ефективність виробництва та використання теплової енергії.

Методи дослідження

Аналіз та узагальнення технічної документації та експлуатаційних даних котельні.

Теплотехнічні розрахунки елементів теплової схеми.

Порівняльний аналіз енергоефективності до та після модернізації.

Моделювання теплових процесів з використанням інженерних методик.

Економічне обґрунтування запропонованих рішень.

Очікувані результати

Зниження втрат теплової енергії з відхідними газами та вторинними теплоносіями.

Підвищення ККД котлоагрегатів та котельної установки в цілому.

Зменшення витрат палива при збереженні або збільшенні продуктивності котельні.

Забезпечення стабільної та безпечної роботи обладнання.

Підвищення економічної ефективності експлуатації котельні та зниження собівартості виробленої теплової енергії.

РОЗДІЛ 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ПІДПРИЄМСТВА ДЛЯ ЯКОГО РОЗРОБЛЯЄТЬСЯ КОТЕЛЬНЯ.

Підприємство засноване в 1950–1954 роках на базі деревообробної майстерні зі старовинними виробничими традиціями.

Лідер у галузі: нагороджене як Лідер галузі 2017 року, увійшло до «100 кращих товарів 2016 року» та отримало премію «Вибір України 2016 року».

Фабрика виготовляє ексклюзивні меблі та елементи інтер'єру з натурального дерева (ясен, дуб): корпусні меблі, спальні, кухні, дитячі кімнати, вітальні, їдальні, кабінети, м'які меблі, сходові марші, двері, панелі та ін.

Меблі часто мають художню різьбу, декоративні колони, витончені інтер'єрні елементи.

Головне виробництво: с. Біла, вул. Білецька, 56. Має представництво у м. Тернополі, просп. С. Бандери, 22.

1. Кліматичний тип і температура

Клімат — помірно-континентальний (Dfb за класифікацією Кеппена).

Середня температура січня — −5,6 °C, липня — +18,6 °C.

Середньорічна температура — приблизно +6,8 °C (центральний район області).

2. Опади

Середня річна кількість опадів — 617 мм

Місяці з найменшою кількістю опадів: березень (~29 мм); найбільше — червень (~90 мм)

Для області в цілому: 600–650 мм/рік

3. Вегетаційний період

Дані загальнообласного рівня: безморозний період — 150–165 днів

4. Вітри

Переважаючі напрямки: західні та північно-західні вітри

5. Інсоляція та фактори формування клімату

Область отримує достатню сонячну радіацію, її рівень варіює залежно від пори року та географічної широти

Основні кліматоутворюючі чинники — західні циклони (волога погода, опади), континентально-північні антициклонні впливи (холодні, сухі повітряні маси), особливо на весні та восени.

Коротка таблиця кліматичних показників с. Біла

Кліматичний тип помірно-континентальний (Dfb)

Середня температура січня	−5,6 °C
Середня температура липня	+18,6 °C
Середня річна температура	≈ +6,8 °C
Річна кількість опадів	617 мм
Найвологіший місяць	Червень (~90 мм)
Найсухіший місяць	Березень (~29 мм)
Безморозний період	150–165 днів
Переважаючі вітри	Західні, північно-західні

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ТА ОПИС ТЕПЛОВОЇ СХЕМИ КОТЕЛЬНОЇ

2.1. Короткий опис котельного агрегату ДКВР-6,5-13

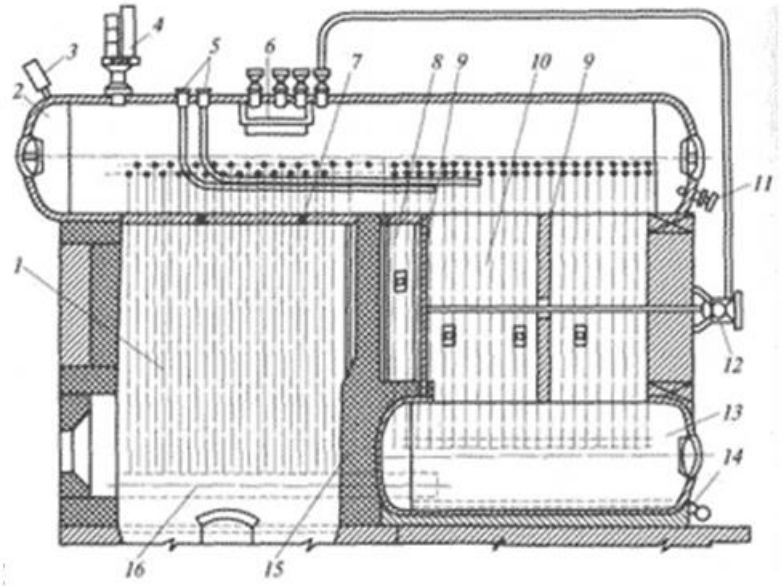
Вертикально-водотрубні опалювальні котли типу ДКВР призначені для генерування насиченої або перегрітої пари з температурою 250, 370 чи 440 °С. Лінійка обладнання включає кілька типорозмірів, що відрізняються робочим тиском (1,4; 2,4; 3,9 МПа) та номінальною паропродуктивністю (2,5; 4; 6,5; 10; 20; 35 т/год).

Котли цього типу є уніфікованими двобарабанними агрегатами з природною циркуляцією теплоносія. Залежно від модифікації, верхній барабан може мати збільшену або скорочену довжину. Ранні моделі (2,5; 4; 6,5 і 10 т/год) характеризуються значно довшим верхнім барабаном, ніж нижній, тоді як у пізніших версіях на 10, 20 і 35 т/год верхній барабан укорочений. Комплектація топкових пристроїв визначається видом палива, на якому працює котел. Конструктивне виконання моделей ДКВР-2,5-13, ДКВР-4-13 та ДКВР-6,5-13 є однаковим.

Верхній і нижній барабани виготовляються зі сталі 16ГС, мають однаковий внутрішній діаметр (1000 мм), при цьому нижній барабан зменшений за довжиною на розмір топки. Камера топки обладнана екрануванням і розвиненим кип’ятильним пучком труб. Для топкових екранів і пучка застосовуються труби діаметром 51 × 2,5 мм. Простір камери опалення розділено цегляною стінкою на топку та камеру догоряння, що зменшує ризик потрапляння полум’я в конвективний пучок і знижує втрати теплоти через хімічну неповноту згоряння палива.

Відпрацьовані димові гази виходять із топки через бокове вікно та спрямовуються до камери догоряння. Усередині котла за допомогою намотної та чавунної перегородок формуються два газоходи, по яких димові гази поперечно омивають трубний пучок конвективної частини. Після цього вони залишають котел через вихідний отвір у задній стінці.

У передній частині верхній барабан з’єднується з колекторами двома бічними топковими екранами, труби яких одним кінцем вальцьовані у барабан, а іншим приварені до колекторів діаметром 108 × 4 мм. У задній частині барабан зв’язаний із нижнім барабаном кип’ятильним пучком труб із коридорним розташуванням (крок 110 мм у поздовжньому та поперечному напрямках). Колектори з’єднані з нижнім барабаном перепускними трубами, що забезпечують циркуляцію робочого середовища.



1 - топкова камера; 2 - верхній барабан; 3 - манометр; 4 - запобіжний клапан; 5 - поживні трубопроводи; 6 - сепараційний пристрій; 7 - легкоплавка пробка; 8 - камера догоряння; 9 - перегородка; 10 - кип’ятильний пучок труб; 11 - трубопровід безперервного продування; 12 - обдувний пристрій; 13 - нижній барабан; 14 - трубопровід періодичного продування; 15 - цегляна стінка; 16 - колектор.

Рис. 2.1. Паровий котел ДКВР-6,5-13

Живильна вода надходить у паровий котел опалювального типу ДКВР через два перфоровані живильні трубопроводи з бічними отворами, розташовані під рівнем води у верхньому барабані. Із цього барабана по опускних трубах вода спрямовується в колектори, а по бічних екранних трубах пароводяна суміш піднімається назад у верхній барабан, утворюючи два замкнені контури природної циркуляції.

Третій контур складається з верхнього та нижнього барабанів, з’єднаних трубами кип’ятильного пучка. Опускними трубами тут виступають останні ряди пучка (по ходу димових газів), що отримують найменше теплове навантаження. Вода з верхнього барабана надходить до нижнього, а пароводяна суміш із більш

нагрітих труб піднімається у верхній барабан, де відбувається розділення на пару і воду.

Для зниження вологості та вмісту солей у парі у верхньому барабані встановлюють сепараційний пристрій із жалюзі та перфорованим листом, який затримує краплі котлової води. Якщо потрібно отримати перегріту пару, пароперегрівач монтують після другого або третього ряду труб кип'ятильного пучка, замінюючи частину труб. Для котлів із тиском 1,4 МПа і температурою перегріву 225…250 °С застосовують однопетльовий вертикальний пароперегрівач, а для котлів із тиском 2,4 МПа – багатопетльову конструкцію з труб Ø32×3 мм.

У нижній частині верхнього барабана є патрубок для безперервного продування, яке підтримує солевміст води на заданому рівні, а також дві легкоплавкі пробки, що спрацьовують у разі перегріву. Нижній барабан виконує роль шламовідстійника; із нього по перфорованій трубі здійснюють періодичне продування, а також є патрубок для зливу води та пристрій підігріву парою під час пуску котла.

На верхньому барабані розташовані два водовказівні скла, манометр, запобіжні клапани, патрубок відбору пари на власні потреби та парозапірний вентиль. Для захисту топки та газоходів від руйнувань і вибухів у верхніх частинах встановлюють вибухові запобіжні клапани. Очищення зовнішніх поверхонь труб від нагару та пилу виконується за допомогою обдувного пристрою – обертової труби з соплами, через які подається пара.

Котел ДКВР не має несущого каркаса – трубно-барабанний блок монтують на опорній рамі, яка закріплюється на фундаменті. Моделі з продуктивністю 10, 20 та 30 т/год розраховані на робочий тиск 1,4; 2,4 або 3,9 МПа і можуть комплектуватися пароперегрівачами або працювати без них. Обмурівка виконується з намотної та звичайної цегли або з полегшених теплоізоляційних плит.

Усі котли цього типу, особливо високого тиску, експлуатують на хімічно очищеній і деаерованій воді. При спалюванні природного газу чи мазуту їхній ККД сягає близько 90 %.

Таблиця 2.1

Основні характеристики котла ДКВр-6,5-13ГМ

Паливо	природний газ/мазут
Номінальна продуктивність	6,5 т/г
Надлишковий тиск пари	13 кг/см^2 (1,3 МПа)
Температура перегрітої пари	194 °С
Температура живильної води	100 °С
Розрахунковий ККД	87 %
Габарити компонування (LxBxH)	8526x4695x5170 мм
Маса з компонування, кг	11447

2.2. Опис теплової схеми котельні

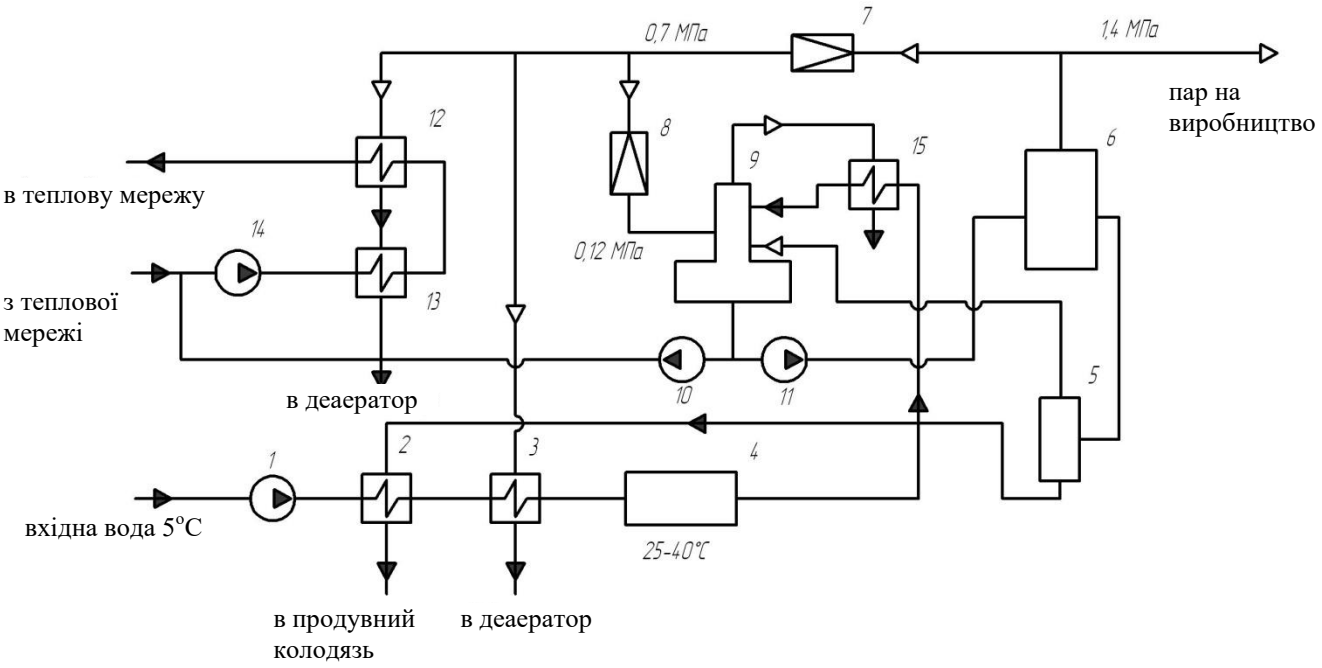
Принципова теплова схема котельні зображена на рисунку 2.1.

Вода, що надходить з температурою близько 5 °С, подається насосом 1 у теплообмінник 2, де здійснюється її попередній підігрів за рахунок тепла залишкової води з підвищеним вмістом солей, яка надходить із сепаратора безперервного продування (СБП) 5. Після цього підігріта вода спрямовується в теплообмінник 3, де нагрівається парою до температури 25–40 °С. Такий попередній нагрів забезпечує підвищення ефективності роботи катіонітних фільтрів та запобігає утворенню конденсату на трубопроводах і обладнанні хімічного водоочищення.

Далі вода потрапляє в установку хімводоочищення 4, де відбувається пом’якшення (видалення іонів кальцію та магнію) і, за потреби, зменшення загального солевмісту. Після хімічної обробки вода подається в деаератор 9, де з неї видаляються корозійно-активні гази, зокрема кисень і вуглекислий газ.

З деаератора частина підготовленої води поживним насосом 11 спрямовується до парового котла 6, а інша частина – підживлювальним насосом 10 у теплову мережу для компенсації втрат. Паровий котел 6 виробляє пару з робочим тиском 1,4 МПа. Частина цієї пари без редукування тиску постачається

на виробничі потреби, а решта використовується для нагріву теплоносія в системах опалення, вентиляції, гарячого водопостачання, а також для технологічних потреб самої котельні – підігріву води перед хімводоочищенням та у процесі деаерації.



1-насос вихідної води; 2-охолоджувач безперервного продування; 3-підігрівач сирої води; 4-хімводоочищення; 5-сепаратор безперервного продування; 6-паровий котел; 7,8-редукціонний клапан; 9-деаератор; 10-підживлювальний насос; 11-поживний насос; 12-мережевий підігрівач; 13-охолоджувач конденсату; 14-мережевий насос; 15-охолоджувач випару.

Рис. 2.2. Принципова теплова схема виробничо-опалювальної котельні

Оскільки пароводяні теплообмінники за міцнісними характеристиками розраховані на робочий тиск не більше 1 МПа, перед їхнім входом тиск пари знижується за допомогою редукційного клапана 7 до 0,7 МПа. Атмосферний деаератор функціонує при тиску близько 0,12 МПа, який підтримується редукційним клапаном 8.

Процес підігріву мережної води організовано таким чином: рідина із зворотного трубопроводу тепломережі за допомогою насоса 14 надходить у водо-водяний теплообмінник 13, де отримує тепло від конденсату, що утворюється в пароводяному теплообміннику 12. Далі вода прямує в теплообмінник 12, де нагрівається парою до необхідної температури (приблизно 130–150 °С).

Для утилізації теплоти продувної води в котельні передбачено роботу сепаратора безперервного продування (СБП) 5. Продувна вода, що надходить до

нього, має тиск, рівний робочому тиску котла (1,4 МПа). Усередині СБП тиск знижується до 0,15 МПа, внаслідок чого відбувається її закипання та розподіл на пару вторинного закипання й залишкову воду з високим вмістом солей. Пара вторинного закипання спрямовується в деаератор, тоді як залишкова вода використовується для підігріву вихідної води в теплообміннику 2, після чого скидається в продувний колодязь.

Крім того, для відбору теплоти випару деаератора застосовується охолоджувач випару 15, який передає цю енергію хімічно очищеній воді перед її подачею в деаератор.

Увесь конденсат, що утворюється після роботи пароводяних теплообмінників, а також конденсат, який повертається з виробничих процесів, подається у деаератор для подальшої підготовки.

2.3. Розрахунок теплової схеми котельні

Загалом основними цілями розрахунку теплової схеми котельні є:

– визначення загальних теплових навантажень, що складаються із зовнішніх навантажень та витрати пари на власні потреби та втрат,

– визначення всіх теплових та масових потоків необхідних для вибору обладнання,

- визначення вихідних даних для подальших техніко-економічних розрахунків (річних виробок тепла, палива і т.д.).

Розрахунок теплової схеми дозволяє визначити сумарну продуктивність котельної установки за кількох режимах її роботи. Розрахунок проводиться для 4-х характерних режимів з відповідної зовнішнього повітря в Тернопільській області для характерних режимів визначаються за ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 «Будівельна кліматологія» [1]:

1. максимально-зимового (- 20 ° С),
2. середньої температури найбільш холодного місяця (- 16 ° С),
3. середньої температури за опалювальний період (- 6 ° С),
4. літнього.

Задані теплові навантаження котельні зведені до таблиці 2.2

Таблиця 2.2

Задані максимальні теплові навантаження котельної установки.

Вид теплового навантаження	Розрахункові теплові навантаження		Характеристика теплоносія
	Зима	Літо	
Опалення та вентиляція, ГДж/год	16	нет	Вода 130/70°С
Гаряче водопостачання, ГДж/год	8	8	Вода 130/70°С
Пара на технологічні потреби т/год	9	9	Пар 1,4МПа

Виходячи із заданих теплових навантажень на опалення, вентиляцію та гаряче водопостачання для всіх характерних режимів визначаються:

Теплове навантаження на опалення та вентиляцію:

$$Q_{о.в.} = Q_{о.в.}^{розр.} \cdot \frac{t_{в.н.}^{розр} - t_{з.п.}}{t_{в.н.}^{розр.} - t_{о}^{розр.}}, кДж/год \quad (2.1)$$

де $Q_{о.в.}^{розр.}$– розрахункове теплове навантаження на опалення та вентиляцію кДж/год,

$t_{в.н.}^{розр.}$ – розрахункова температура всередині приміщень приймається +18°С,

$t_{з.п.}$ - температура зовнішнього повітря, [1] °С,

$t_{о}^{розр.}$ - температура зовнішнього повітря за максимально-зимового режиму, [1] °С.

Коефіцієнт зниження витрати теплоти на опалення та вентиляцію:

$$К_{о.в.} = \frac{t_{в.н.}^{розр.} - t_{з.п.}}{t_{в.н.}^{розр.} - t_{о}^{розр.}} \quad (2.2)$$

Поточна температура мережної води в подаючому трубопроводі:

$$t_1 = t_{в.н.}^{розр.} + (t_1^{розр.} - t_{з.п.}^{розр.}) \cdot К_{о.в.}, °С \quad (2.3)$$

де $t_1^{розр.}$ – розрахункова температура теплоносія в подаючому трубопроводі, °С.

Поточна температура мережі у зворотному трубопроводі:

$$t_2 = t_{в.н.}^{розр.} + (t_2^{розр.} - t_{з.п.}^{розр.}) \cdot К_{о.в.}, °С \quad (2.4)$$

де $t_2^{розр}$ – розрахункова температура теплоносія у зворотному трубопроводі, °С.

Витрата мережної води на опалення та вентиляцію:

$$G_{о.в.} = \frac{Q_{о.в.}}{(t_1 - t_2) \cdot c_в}, т/год \quad (2.5)$$

де $Q_{о.в.}$ – теплове навантаження на опалення та вентиляцію, кДж/год;

t_1, t_2 – температура мережевої води в прямому та зворотному трубопроводах, °С,

$C_в = 4{,}19$ кДж/кг · °С – теплоємність води.

Витрата мережної води на гаряче водопостачання:

$$G_{г.в.} = \frac{Q_{г.в.}}{(t_1 - t_2) \cdot C_в}, т/год$$

де $Q_{г.в.}$– теплове навантаження на гаряче водопостачання, кДж/год;

Загальна витрата води зовнішніми споживачами в подаючої магістралі теплової мережі:

$$G_{с.} = G_{о.в.} + G_{г.в.}, т/год \quad (2.6)$$

Витрата пари на опалення, вентиляцію та гаряче водопостачання:

$$D_{о.в.} = \frac{Q_{о.в.}}{(h_п - h_к) \cdot \eta}, т/год \quad (2.7)$$

$$D_{г.в.} = \frac{Q_{г.в.}}{(h_п - h_к) \cdot \eta}, т/год \quad (2.8)$$

де $h_п$ – ентальпія пари, що подається на підігрівачі води, кДж/кг (тиск 0,07 МПа);

$h_к$ – ентальпія конденсату на виході з підігрівачів води, кДж/кг.

$$h_к = C_в \cdot t_в = 4{,}19 кДж/кг°С \cdot 95°С = 398 кДж/кг$$

η - ККД підігрівача, приймаємо $\eta = 0{,}98$.

Визначаємо вироблення пари для зовнішніх споживачів:

$$D_{зов} = D_{о.в.} + D_{г.в.} + D_{тех}, т/год \quad (2.9)$$

де $D_{тех}$ - витрата пари на технологічні потреби, т / год.

Тоді максимальна паропродуктивність котельної установки:

$$D_{к.у.}^{ах} = D_{вн} + D_{в.п.} + D_{втр}, т/год \quad (2.10)$$

де $D_{в.п.}$– витрата пари на власні потреби котельні, т/год.

Приймаємо $D_{с.н.} = 0{,}1 \cdot D_{вн}$;

$D_{втр}$- втрати пари всередині котельні, т/год. Приймаємо $D_{втр} = 0{,}02 \cdot D_{вн}$.

Визначаємо витрату живильної води, що подається в котел [19]:

$$G_{жив} = D_{к.у.}^{ах} + G_{пр}, т/год \quad (2.11)$$

де $G_{пр}$– витрата продувної води, т/год. Відповідно до ДБН В.2.5-77:2014 «Котельні» [2] для котлів з тиском до 1,4 МПа включно, витрата поживної води повинна бути не більше 10%. Приймаємо $G_{пр} = 0{,}1 \cdot D_{к.у.}^{ах} = 0{,}1 \cdot 23{,}85 = 2{,}39$ т/год.

Визначаємо витрату пари D_c і витрату залишкової води $G'_{пр}$ на виході з сепаратора безперервного продування. Для цього складемо рівняння матеріального та теплового балансу сепаратора.

$$\begin{cases} G_{пр} = D_c + G'_{пр} \\ G_{пр} \cdot h'_{1,4} = D_c \cdot h''_{0,15} + G'_{пр} \cdot h'_{0,15} \end{cases} \quad (2.12)$$

звідси:

$$D_c = \frac{G_{пр} \cdot (h'_{1,4} - h'_{0,15})}{h''_{0,15} - h'_{0,15}}, т/год \quad (2.13)$$

$$G'_{пр} = G_{пр} - D_c, т/год \quad (2.14)$$

де D_c - витрата залишкової води на виході з сепаратора, т / год;

$h''_{0,15}$ и $h'_{0,15}$ - ентальпії насиченої пари та води на виході із СНП при тиску 0,15МПа, кДж/кг ºС. ;

$h'_{1,4}$ - ентальпія насиченої пари при тиску 1,4 МПа, кДж/кгºС. $h'_{1,4}$ = 814,8 кДж/ кг ^{0}С.

Втрати конденсату технологічними споживачами [19]:

$$G_{пк} = D_{тех} \cdot \left(\frac{100-\mu}{100}\right), т/год \quad (2.15)$$

де μ – повернення конденсату технологічними споживачами.

Витрата живильної води згідно зі ДБН В.2.5-39:2008 «Теплові мережі», приймається як 0,75% від обсягу води у системі теплопостачання.

$$G_{жив} = 0{,}0075 \cdot V_{сист}, т/год \quad (2.16)$$

де $V_{сист}$ – об’єм води у системі теплопостачання, м^3.

$$V_{сист} = g_c \cdot (Q_{о.в.} + Q_{г.в.}), м^3 \quad (2.17)$$

де g_c – питомий об'єм води у системі, м^3/МВт. Для закритих систем g_c = 65 м^3/МВт;

$Q_{о.в.}$ – теплове навантаження на опалення та вентиляцію МВт;

$Q_{г.в.}$ - теплове навантаження на гаряче водопостачання, МВт.

Випар з деаератора:

$$D_{вип} = 0{,}05 \cdot G_д$$

де $G_д = G_{жив} + G_{пджив}$ – витрата деаерованої води, т/год.

Кількість води, що має піддатися пом'якшенню [19]:

$$G_{хво} = G_{пк} + G'_{пр} + G_{підж} + D_{втр} + D_{вип}, т/год \quad (2.18)$$

Дійсна витрата сирої води, яка подається в котельню, буде дещо більшою, т.к. частина води використовується для регенерації фільтрів: $G_{вих} = 1{,}1 \cdot G_{хво}$, т/год.

Визначаємо температуру вихідної води на виході з теплообмінника 2. З рівняння теплового балансу теплообмінника 2:

$$t'_{вих} = \frac{G_{вих} \cdot t_{ив} + G'_{пр} \cdot t_{пр} - G_{пр} \cdot t'_{пр}}{G_{вих}}, ℃ \quad (2.19)$$

де $t_{вих}$ - температура вихідної води. Приймаємо $t_{вих} = 5℃$ для зимового періоду та $t_{вих} = 15℃$ для літнього періоду;

$t_{пр}$ - температура продувної води на виході з сепаратора. Приймається рівною температурі насичення при тиску 0,15МПа. ; $t_{пр} = t'_{0,15} = 111{,}35℃$

$t'_{пр}$ - температура продувної води на виході з теплообмінника. Приймаємо $t'_{пр} = 60℃$.

Витрата пари на підігрів вихідної води:

$$D_{вих} = \frac{G_{вих} \cdot C_в \cdot t'_{вих} - G_{вих} \cdot C_в \cdot t_{хво}}{C_в \cdot t_{конд} - h''_{0,7}}, т/год \quad (2.20)$$

де $t_{хво}$ – температура води, необхідна для ефективного хімводоочищення. Приймаємо $t_{хво} = 40℃$;

$t_{конд}$ – температура конденсату після пароводяного теплообмінника. Приймаємо $t_{конд} = 95℃$.

Знайдемо температуру води на виході з охолоджувача випару (на вході в деаератор):

$$t_д = \frac{G_{хво} \cdot C_в \cdot t_{хво} + D_{вип} \cdot h''_{0,12} - D_{вип} \cdot C_в \cdot t_к}{G_{хво} \cdot C_в}, ℃ \quad (2.21)$$

де $t_к$ - температура конденсату після охолоджувача випару. Приймаємо $t_к = 95℃$.

Визначаємо витрату пари на деаерацію води:

$$D_д = \frac{(D_{о.в.} + D_{г.в.}) \cdot C_в \cdot t_к + D_{вих} \cdot C_в \cdot t_к + \frac{D_{т\ х} \cdot \mu}{100} \cdot C_в \cdot t_к + D_c \cdot h''_{0,15} + G_{хво} \cdot C_в \cdot t_д}{-h''_{0,12}} + \frac{D_{вип} \cdot h''_{0,12} + G_д \cdot C_в \cdot t'_д}{h''_{0,12}}, \quad (2.22)$$

Розрахункове значення витрати пари на власні потреби котельні:

$$D^p_{с.н.} = D_д + D_{вих}, т/год \quad (2.23)$$

Відносна похибка розрахунку:

$$\Delta = \frac{D^p_{с.н.} - D_{с.н.}}{D^p_{с.н.}} \cdot 100, \% \quad (2.24)$$

При Δ<20% вважається, що навчальний розрахунок виконаний з необхідним наближенням та не вимагає перерахунку [5,6,7,8]

Температура на вході в мережевий підігрівач:

$$t'_2 = \frac{G_c \cdot C_в \cdot t_1 + (D_{о.в.} + D_{г.в.}) \cdot h'_{0,7} - (D_{о.в.} + D_{г.в.}) \cdot h''_{0,7}}{G_c \cdot C_в}, т/год \quad (2.25)$$

Температура конденсату на виході з охолоджувача конденсату:

$$t'_к = \frac{(D_{о.в.} + D_{г.в.}) \cdot h'_{0,7} + G_c \cdot C_в \cdot t_2 - G_c \cdot C_в \cdot t'_2}{(D_{о.в.} + D_{г.в.}) \cdot C_в}, т/год \quad (2.26)$$

Результати розрахунку наведено у таблиці 2.3 [14,15,16,17,18,19].

Таблиця 2.3

Розрахунок теплової схеми котельні

№ з/п	Найменування величин	Режими			
		Максимально-зимовий (min t найбільш холодної п'ятиденки)	Середня температура найхолоднішого місяця	Середня температура за опалювальний період	Літній
1	2	3	4	5	6
1	Температура зовнішнього повітря $t_{з.п.}$, °С	- 20	- 16	- 6	-
2	Температура всередині опалюваних приміщень $t_{в.н.}$, °С	18	18	18	18
3	Теплове навантаження на опалення та вентиляцію $Q_{о.в.}$, ГДж/год	16,00	11,83	7,48	-
4	Теплове навантаження на гаряче водопостачання $Q_{г.в.}$, ГДж/год	8,00	8,00	8,00	8,00
5	Коефіцієнт зниження витрати теплоти на опалення та вентиляцію $К_{о.в.}$	1,00	0,74	0,47	-
6	Поточна температура мережної води в подаючому трубопроводі, t_1, °С	130,00	100,78	70,35	70,00
7	Поточна температура мережної води у зворотному трубопроводі t_2, °С	70,00	56,43	42,30	38,35

Продовження таблиці 2.3

1	2	3	4	5	6
8	Витрата мережної води на опалення та вентиляцію $G_{о.в.}$, т/год	63,70	63,70	63,70	-
9	Витрати мережної води на гаряче водопостачання $G_{г.в.}$, т/год	31,85	43,09	68,15	60,38
10	Витрата води зовнішніми споживачами в магістралі теплової мережі. $G_{с}$, т/год	95,56	106,80	131,85	60,38
11	Ентальпія пари, що подається на підігрівачі води $h_{п}$, кДж/кг (тиск 0,7МПа)	2763,00			
12	Ентальпія конденсату після паро-водяних теплообмінників $h_{к}$, кДж/кг	398,05			
13	ККД підігрівача	0,98			
14	Витрата пари на опалення та вентиляцію $D_{о.в.}$, т/год	6,90	5,10	3,23	-
15	Витрата пари на ГВП $D_{г.в.}$, т/год	3,45	3,45	3,45	3,45
16	Вироблення пари для зовнішніх споживачів $D_{зсп}$, т/год	21,29	19,31	17,25	13,70
17	Витрата пари на власні потреби котельні $D_{в.п.}$, т/год	2,13	1,93	1,72	1,37
18	Втрати пари всередині котельні $D_{втр}$, т/год	0,43	0,39	0,34	0,27
19	Максимальна паропродуктивність котельної установки $D_{к.у.}^{max}$, т/год	23,85	21,63	19,32	15,34
20	Витрата поживної води, що подається в котел $G_{жив}$, т/год	26,23	23,79	21,25	16,87
21	Витрата пари на виході з СНП $D_{с}$, т/год	0,38	0,35	0,31	0,25
22	Витрата залишкової води на виході з СНП $G'_{пр}$, т/год	2,00	1,81	1,62	1,29
23	Втрати конденсату технологічними споживачами $G_{пк}$, т/год	3,15			
24	Об'єм води в системі теплопостачання $V_{сист}$, $м^3$	433,33			
25	Витрата підживлювальної води $G_{підж}$, т/год	3,25			
26	Випар із деаератора $D_{вип}$, т/год	1,47	1,35	1,22	1,01
27	Кількість води, що піддається пом'якшенню $G_{хво}$, т/год	9,92	9,60	9,28	8,72
28	Витрата сирої води $G_{исх}$, т/год	10,91	10,56	10,21	9,59
29	Температура вихідної води на виході з теплообмінника 2 $t'_{вих}$	14,41	13,82	13,15	21,89
30	Витрата пари на підігрів вихідної води $D_{вих}$, т/год	0,49	0,49	0,49	0,31

Продовження таблиці 2.3

1	2	3	4	5	6
31	Температура конденсату після охолоджувача випару $t_д$, °С	121,06	116,76	111,98	102,93
32	Температура води на вході до мережного підігрівача τ'_2, °С	76,57	61,29	45,37	41,81
33	Температура конденсату після охолоджувача конденсату $t'_к$, °С	105,77	105,77	105,77	105,77
34	Витрата пари на деаерацію $D_д$, т/год	1,52	1,43	1,34	1,20
35	Розрахункова витрата пари на власні потреби котельні $D^p_{с.н.}$, т/год	2,02	1,92	1,82	1,51
36	Нев'язка витрати пари на власні потреби котельні Δ, %	-5,50	-0,44	5,39	9,11
37	Уточнена максимальна паропродуктивність котельні. $D^{max}_{к.у.}$, т/год	23,73	21,62	19,41	15,48

2.4. Вибір числа встановлених котлів

Відповідно до ДБН В.2.5-77:2014 «Котельні» [2], розрахункова потужність котельні визначається сумою потужностей, потрібних споживачам опалення, вентиляція та гаряче водопостачання при максимально-зимовому режимі.

При визначенні потужності котельні повинні також враховуватися потужності, що витрачаються на власні потреби котельні та покриття втрат у котельні та теплових мережах.

Кількість котлів, що встановлюються в котельні слід вибирати за режимом найхолоднішого місяця:

$$N_к = \frac{1}{1-К_{о.в.}} = \frac{1}{1-0,74} = 3,83, шт. \quad (2.27)$$

де $К_{о.в.}$ - коефіцієнт зниження витрати теплоти на опалення та вентиляцію, розрахований за режимом найбільш холодного місяця.

Орієнтовно приймаємо 4 котли. Продуктивність одного котла в максимально-зимовий період у такому разі дорівнюватиме:

$$G_к = \frac{D^{max}_{к.у.}}{N_к} = \frac{23,73}{4} = 5,93, т/год \quad (2.28)$$

За умовами надійності кількість котлів повинна бути такою, щоб при виході з ладу одного з котлів, що залишилися, забезпечили розрахункове теплове навантаження котельні за середньої температури найхолоднішого місяця.

$$G_к = \frac{D_{к.у.}^{н.х.м}}{(N_к - 1)} = \frac{21,62}{(4-1)} = 7,21, т/год. \quad (2.29)$$

Для забезпечення необхідної паропродуктивності приймаємо до встановлення чотири котли типу ДКВр-6,5-13ГМ.

При літньому режимі для забезпечення вироблення пари на технологічні потреби та гарячого водопостачання споживачів достатньо двох котлів, при цьому ще один котел повинен знаходитись у резерві на випадок виходу з ладу працюючого котла.

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА СИСТЕМИ ВОДОПІДГОТОВКИ КОТЕЛЬНІ

Ефективність та довговічність роботи котельної установки значною мірою визначається якістю води, що використовується для живлення котлів [20, 21, 22, 23]. Джерелами такої води можуть слугувати поверхневі водойми (ставки, річки, озера), підземні горизонти (ґрунтові та артезіанські води), а також мережі централізованого водопостачання міст або селищ. Природна вода містить розчинені мінеральні солі, колоїдні частинки та механічні домішки, тому без відповідної підготовки не придатна для подачі в котли. У даному проєкті джерелом водопостачання обрано річку Серет.

3.1. Склад природної води

Речовини, що містяться у воді, зазвичай поділяють на кілька груп: механічно зважені домішки (переважно мінерального, а подекуди й органічного походження), колоїдні сполуки та розчинені речовини. Кількість певної речовини, розчиненої в одиниці маси води, називають концентрацією розчину; її, як правило, виражають у міліграмах на кілограм (мг/кг).

Як і будь-яка рідина, вода здатна розчиняти лише певну кількість конкретної речовини, утворюючи насичений розчин. Якщо кількість перевищує межу розчинності, надлишок випадає в осад.

Розчинені у воді речовини можуть мати високу або низьку розчинність. До добре розчинних належать, наприклад, хлориди кальцію ($CaCl_2$), магнію ($MgCl_2$) та калію (KCl). Погано розчинними є сульфати — солі сірчаної кислоти ($CaSO_4$, $MgSO_4$, Na_2SO_4) — та силікати, тобто солі кремнієвої кислоти ($CaSiO_3$). Наявність сульфатів і силікатів у живильній воді призводить до утворення накипу на поверхнях нагріву котлів [19].

Розчинність більшості речовин змінюється залежно від температури води. Існують сполуки, розчинність яких збільшується зі зростанням температури ($CaCl_2$, $MgCl_2$, $Mg(NO_3)_2$, $Ca(NO_3)_2$), та такі, для яких вона, навпаки, зменшується ($CaSO_4$, $CaSiO_3$, $MgSiO_3$) [19].

3.2. Показники якості води

Показники якості води визначаються її прозорістю (кількістю завислих частинок), вмістом сухого залишку, жорсткістю, лужністю та окиснюваністю.

Сухий залишок — це сумарна кількість усіх розчинених у воді речовин (солей кальцію, магнію, натрію, амонію, сполук заліза, алюмінію тощо), що залишаються після випаровування зразка та висушування осаду при температурі 110 °C. Його кількісно виражають у мг/кг або мкг/кг води.

Жорсткість води визначається вмістом солей кальцію та магнію, які утворюють накип на теплопередавальних поверхнях. Прийнято виділяти загальну, тимчасову (карбонатну) та постійну (некарбонатну) жорсткість.

Загальна жорсткість — сума тимчасової і постійної, зумовлена присутністю у воді сульфатів ($CaSO_4$, $MgSO_4$), хлоридів ($CaCl_2$, $MgCl_2$), нітратів ($Ca(NO_3)_2$, $Mg(NO_3)_2$), силікатів ($CaSiO_3$, $MgSiO_3$), фосфатів ($Ca_3(PO_4)_2$, $Mg(PO_4)_2$) та бікарбонатів ($Ca(HCO_3)_2$, $Mg(HCO_3)_2$).

Тимчасова жорсткість зумовлена наявністю у воді лише бікарбонатів кальцію і магнію.

Постійна жорсткість визначається вмістом усіх зазначених вище солей, окрім бікарбонатів.

Жорсткість вимірюють у міліграм-еквівалентах або мікрограм-еквівалентах на кілограм води (мг-екв/кг, мкг-екв/кг). Для орієнтиру: 1 мг-екв/кг відповідає 20,04 мг/кг іона Ca^{2+} або 12,16 мг/кг іона Mg^{2+}.

Лужність води характеризує сумарний вміст у ній лужних сполук — гідроксидів (NaOH), карбонатів (Na_2CO_3), бікарбонатів ($NaHCO_3$), фосфатів (Na_3PO_4) тощо. Її визначають як суму концентрацій гідроксильних, карбонатних, біокарбонатних та фосфатних іонів. Розрізняють:

гідратну лужність — переважання гідроксильних іонів (OH^-),

карбонатну — переважання іонів CO_3^{2-},

біокарбонатну — переважання іонів HCO_3^-.

Окиснюваність води відображає вміст у ній окисників, перед-усім розчиненого кисню та вуглекислого газу, кількісно виражених у мг або мкг на кілограм.

Таблиця 3.1

Хімічний склад води р. Серет при відборі проби у м. Тернопіль.

Зважені речовини,мг/кг	Сухий залишок, мг/кг	Лужність, мг-екв/кг	Жорсткість, мг-екв/кг		Вміст катіонів та аніонів у воді, мг/кг								
			карбонатна	загальна	Ca^{2+}	Mg^{2}_{+}	Na^{+}	Fe^{3+}	HCO_3	SO_4^{2}	Cl^{-}	NO_3^{-}	SlO_3^{2-}
8	347	2,6	2,6	3,2	47	10,3	34,7	-	158,7	52,7	21,7	1,2	16,6

Вода, підготовлена для живлення котельної установки, не повинна давати відкладень шламу та накипу, роз'їдати стінки котла та його допоміжні поверхні нагріву, а також спінюватись.

3.3. Обробка води для парових котлів

Вихідними даними для вибору обладнання попереднього водоочищення є:

- величина продування котла;

– вміст вуглекислоти у парі;

- відносна лужність котлової води.

Обробка води для водогрійних котлів включає наступні основні етапи:

- видалення зважених частинок;

- видалення заліза;

– пом'якшення, запобігання накипіутворенню;

- запобігання корозії (видалення кисню і вуглекислого газу з живильної води за допомогою деаераторів різних конструкцій. Застосування деаератора дозволяє істотно знизити вміст вільного кисню (до 0,02 мг / кг), решта ж кількість повинна зв'язуватися хімічним способом).

3.3.1. Видалення механічних домішок за допомогою фільтрів

Для усунення осадових частинок (піску, оксидів заліза, кристалів $CaCO_3$ та інших важких домішок) і завислих забруднень (тонкодисперсної глини, мулу, органічних залишків) застосовують механічні фільтри різних типів.

Якщо концентрація механічних домішок у воді не перевищує 5,0 мг/кг, ефективним рішенням є компактні картриджні фільтри — змінні або промивні. Їх основні переваги — невеликі розміри, висока швидкість пропускання води та глибина очищення.

При більшому вмісті завислих речовин, наприклад понад 15 мг/л, доцільно використовувати напірні фільтри з багатошаровим завантаженням, зазвичай комбінацією кварцового піску та антрациту. Очищувальний шар при потребі відновлюють протиточним промиванням.

У проєктованій котельні передбачено встановлення саме напірних комбінованих фільтрів, оскільки використання картриджних аналогів є недоцільним через вміст завислих частинок у вихідній воді на рівні 8,0 мг/кг.

3.3.2. Пом'якшення води методом іонного обміну

Одним із найефективніших та найпоширеніших способів підготовки води для використання в якості теплоносія є методи іонного обміну. Їх принцип полягає у пропусканні води крізь спеціальне завантаження — іоніт, здатний змінювати іонний склад рідини у заданому напрямку.

З точки зору електрохімії, іоніт являє собою твердий електроліт, молекули якого утворюють дифузійний шар із певним електричним зарядом. Залежно від його знаку іоніти поділяють на катіоніти та аніоніти.

До найпоширеніших катіонітних матеріалів належать сульфовугілля та іонообмінні смоли марок КУ-1, КУ-2. Серед аніонітів найчастіше використовують марки АН-31, АВ-17 та АВ-18. Вибір конкретного методу іонного обміну залежить від початкових характеристик води та вимог до кінцевої якості обробленої рідини. На практиці застосовують різні технологічні варіанти, зокрема натрій-катіонування, водень-катіонування, хлор-іонування та амоній-катіонування

[24].Na-катіонування - найпоширеніший метод обробки води. Полягає у фільтруванні її через шар катіоніту, що містить обмінний іон натрію.

При цьому протікають наступні реакції:

$$Ca(HCO)_3 + 2NaR \rightarrow CaR_2 + 2NaHCO_3$$
$$Mg(HCO)_3 + 2NaR \rightarrow MgR_2 + 2NaHCO_3$$
$$CaCl_2 + 2NaR \rightarrow CaR_2 + 2NaCl$$
$$MgSO_4 + 2NaR \rightarrow MgR_2 + Na_2SO_4$$

Як видно з наведених реакцій, кальцієві та магнієві солі, що містяться у воді, вступають в обмінні реакції з катіонітом, заміщаючи в ньому натрій і тим самим пом'якшуючи воду. Замість кальцієвих та магнієвих солей в оброблюваній воді утворюється еквівалентна кількість легко розчинних натрієвих солей. Отже, солевміст при обробці води не знижується, а дещо збільшується. Лужність води та аніонний склад при Na-катіонуванні не змінюються.

Експлуатація катіонітного фільтра зводиться до послідовного проведення наступних операцій: пом'якшення, розпушування, регенерація, відмивання.

Основна операція процесу – пом'якшення. При пом'якшенні відбувається реакція обміну катіонів Ca^{2+} та Mg^{2+} на катіони Na^{+}. Принаймні проходження іонного обміну катіоніт виснажується і ущільнюється, обмінні реакції уповільнюються до проскоку катіонів Ca^{2+} і Mg^{2+} в оброблену воду. Для відновлення обмінної здатності катіоніту його розпушують та регенерують. Розпушування здійснюється зворотним потоком води, що подається з бака, розташованого вище фільтра, або за допомогою насоса. Регенерація здійснюється розчином кухонної солі NaCl. Останньою операцією є відмивання (промивання) катіоніту від залишкових продуктів регенерації.

У практиці застосовуються дві схеми пом'якшення води за методом Na-катіонування: одноступінчаста і двоступінчаста [19].

Одноступінчастим Na-катіонування можна отримати воду з залишковою жорсткістю до 0,1 мг-екв/кг. При необхідності глибшого пом'якшення води (до 0,01 – 0,02 мг-екв/кг) слід застосовувати двоступінчасте (послідовне) Na-катіонування.

Кількість ступенів катіонування визначається необхідними показниками якості обробленої води. Наприклад, для парових екранованих котлів, де потрібне максимально глибоке пом'якшення, доцільно використовувати двоступінчасту схему Na-катіонування. У випадку систем гарячого водопостачання, коли достатньо лише часткового пом'якшення, застосовують одноступінчастий процес.

Метод Н-катіонування передбачає пропускання води крізь фільтр, заповнений катіонітом, у якому в обмінній формі знаходяться катіони водню. Під час цього процесу катіони кальцію (Ca^{2+}), магнію (Mg^{2+}) і натрію (Na^{+}) у воді заміщуються на катіони водню. При цьому протікають такі хімічні реакції:

$$Ca(HCO_3)_2 + 2HR \rightarrow CaR_2 + 2H_2O + CO_2\uparrow$$
$$Mg(HCO_3)_2 + 2HR \rightarrow MgR_2 + 2H_2O + CO_2\uparrow$$
$$CaCl_2 + 2HR \rightarrow CaR_2 + 2HCl$$
$$MgSO_4 + 2HR \rightarrow MgR_2 + H_2SO_4$$
$$NaCl + HR \rightarrow NaR + HCl$$
$$Na_2SO_4 + 2HR \rightarrow 2NaR + H_2SO_4$$
$$2HR + Na_2SiO_3 \rightarrow 2NaR + H_2SiO_3$$

Отже, присутні у питній воді солі (сульфати, хлориди та інших.) перетворюються у процесі іонного обміну на кислоти (сірчану, соляну та інших.), тобто. оброблена вода має кислу реакцію (pH7), що неприпустимо. Тому Н-катіонування завжди поєднується з Na-катіонуванням, яке зумовлює лужну реакцію обробленої води.

Принцип роботи Н-катіонітного фільтра аналогічний роботі Na-катіонітного фільтра. Регенерація фільтра проводиться розчином сірчаної кислоти.

Розрізняють такі схеми Н-Na-катіонування:

- Н-Na-катіонування з «голодною» регенерацією фільтрів;
- паралельне Н-Na-катіонування;
- послідовне Н-Na-катіонування;
- спільне Н-Na-катіонування.

Н-Na-катіонування з «голодною» регенерацією фільтрів застосовується для обробки вод з підвищеною карбонатною жорсткістю при порівняно малому вмісті солей натрію.

Паралельне H-Na-катіонування застосовується в тих випадках, коли вода, що надходить на фільтри, має Жк>0,5 Жо;

$$c_{SO_4^{2-}} + c_{Cl^-} + c_{NO_3^-} < 7мг - екв/кг$$

і коли необхідно отримати пом'якшену воду із заданою залишковою лужністю не вище 0,35 мг-екв/кг.

Послідовне H-Na-катіонування застосовується для обробки сильно мінералізованих вод з вмістом солі вмістом вище 1000 мг/кг при Жк < 0,5 Жо і при

$$c_{SO_4^{2-}} + c_{Cl^-} + c_{NO_3^-} < 7мг - екв/кг$$

Спільне H-Na-катіонування застосовується в тих випадках, коли сума аніонів сильних кислот у воді, що надходить на фільтри, не перевищує 3,5 мг-екв/кг і коли лужність, що отримується за цією схемою ($Л_{ост}$= 1 – 1,3 мг-екв/кг) не викликає помітного збільшення продування котлів понад встановлених норм.

Спільне H-Na-катіонування застосовується в тих випадках, коли сума аніонів сильних кислот у воді, що надходить на фільтри, не перевищує 3,5 мг-екв/кг і коли лужність, що одержується за цією схемою ($Л_{ост}$= 1 – 1, 3 мг-екв/кг) не викликає помітного збільшення продування котлів понад встановлені норми.

Другий ступінь Na-катіонування, як правило, поєднують в одному фільтрі з Cl-іонуванням, при цьому внизу завантажується катіоніт, а зверху сильноосновний аніоніт типу АВ - 17.

У цьому методі катіоніт і аніоніт регенуються кухонною сіллю NaCl (Na^+ регенерує катіоніт, Cl-аніоніт). У фільтрах першого ступеня відбувається пом'якшення води за реакціями. У другому ступені (в поєднаному Na-Cl-іонітному фільтрі) в шарі аніоніту відбувається обмін аніонів SO_4^{2-}, NO^{3-}, NO^{2-}, HCO^{3-}, що містяться у воді, на хлор, а в шарі катіоніту "катиони жорсткості, що проскочили", обмінюються на Na^+.

При цьому в аніоніті протікають наступні реакції:

$$Na_2SO_4 + 2АнCl \rightarrow АнSO_4 + 2NaCl$$
$$NaNO_3 + АнCl \rightarrow АнNO_3 + NaCl$$
$$NaHCO_3 + АнCl \rightarrow АнHCO_3 + NaCl$$

Методом Na-Cl-іонування води можна знизити жорсткість води до 0,01 мг-екв/кг і лужність до 0,2 мг-екв/кг.

3.4. Вибір схеми обробки вхідної води

Вибір схеми обробки води для котлів визначається:

- якістю вихідної води;

– Вимогами до якості пари, котлової та поживної води.

Для вибору схеми обробки визначимо основні показники водно-хімічного режиму парового котла:

Величина продування котла

$$P = \frac{S_{о.в.} \cdot \alpha_{о.в.} \cdot 100}{S_{к.в.} - S_{о.в.} \cdot \alpha_{о.в.}}, \% \quad (3.1)$$

де $S_{о.в.}$ - сухий залишок обробленої води, мг/кг.

Для Na-катіонування $S_{о.в.} = 1{,}1 \cdot S_{и.в.} = 1{,}1 \cdot 347 = 381{,}7$мг/кг.;

$\alpha_{о.в.}$ - частка обробленої води у поживній;

$S_{к.в.}$ - сухий залишок котлової води, мг/кг.

$$\alpha_{о.в.} = \frac{G_{хво}}{G_{жив}} = \frac{9{,}92}{26{,}23} = 0{,}378$$

де $G_{хво}$ - витрата хімобробленої води, м^3/год;

$G_{жив}$ - витрата поживної води води, м^3/год;

$$P = \frac{381{,}7 \cdot 0{,}378 \cdot 100}{3000 - 381{,}7 \cdot 0{,}378} = 5{,}05, \%$$

Відносна лужність котлової води дорівнює відносної лужності обробленої води та визначається за формулою:

$$Л^{от}_{к.в.} = Л^{от}_{о.в.} = \frac{40 \cdot Л_{о.в.} \cdot 100}{S_{о.в.}}, \% \quad (3.2)$$

де $Л^{от}_{о.в.}$ - відносна лужність обробленої води, мг-екв/кг. Для схеми натрій-катіонування $Л^{от}_{о.в.}$ приймається рівної лужності вихідної води $Л^{от}_{о.в.} = 2{,}6$ мг-екв/кг.

$$Л^{от}_{к.в.} = \frac{40 \cdot 2{,}6 \cdot 100}{381{,}7} = 27{,}25\%$$

Вміст вуглекислоти в парі при використанні деаератора з барботажем визначається за такою формулою:

$$CO_2 = 22 \cdot Л_{о.в.} \cdot \alpha_{о.в.} \cdot (\sigma_1 + \sigma), мг/кг$$

де σ - частка розкладання Na_2CO_3 у котлі σ =0,7;

σ_1 - Частка розкладання Na2CO_3 в котлі σ = 0,4

$$CO_2 = 22 \cdot 2{,}6 \cdot 0{,}378 \cdot (0{,}4 + 0{,}7) = 23{,}79 мг/кг$$

При $Р = 5{,}05\%$; $Л^{от}_{к.в.} = 27{,}25\%$та $CO_2 = 23{,}79 мг/кг$ оптимальним способом очищення води є натрій-хлор-іонування. Як перший ступінь ХВО виступає Na-катіонітний фільтр, як другий - Na-Cl-іонітний.

3.5. Підбір натрій-катіонітних фільтрів

Розрахунок та вибір Na-катіонітних фільтрів ведеться на основі наступних даних:

- продуктивність установки $G_{хво}$, $м^3$/год;
- загальна жорсткість води, що надходить на фільтри Жорст, г-екв/$м^3$;
- залишкова жорсткість води після фільтрів Жорст, г-екв/$м^3$.

Технологічні дані для розрахунку Na-катіонітних фільтрів наведено у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

Технологічні дані для розрахунку натрій-катіонітних фільтрів

Показник	Фільтр першого ступеня	Фільтр другого ступеня
Висота шару катіоніту, м	2 – 2,5	1,5
Крупність зерен катіоніту, мм	0,5 – 1,1	0,5 - 1,1
Швидкість фільтрування, м/год, нормальна, у дужках максимальна (при регенерації одного з фільтрів), жорсткості, мг-екв/л: до 5 до 10	 25 (35) 15 (25)	 40 (50)
Розпушуюче промивання катіоніту: Інтенсивність, кг/($м^2$·с), при крупності зерен катіоніту, мм 0,5 – 1,1 0,8 – 1,2 тривалість [2], мин	 4 5 30 (15)	 4 5 30 (15)
Питома витрата кухонної солі на регенерацію сульфовугілля, г/г-екв, при двоступінчастому натрій-катіонуванні та жорсткості оброблюваної води, мг-екв/л: до 5 до 10	 100 – 120 120 –200	 300 - 400
Концентрація регенераційного розчину, %	5 - 8	8 - 12
Швидкість пропускання регенераційного розчину, м/год	3 - 4	3 - 5
Відмивання катіоніту від продуктів регенерації: швидкість пропускання відмивальної води через катіоніт, м/год	 6 – 8	 6 – 8

питома витрата відмивальної води, $м^3/м^3$,	4	6
під час завантаження фільтра:		
сульфовугіллям катіонітом КУ-2	6	8

Підберемо діаметр фільтра за швидкістю фільтрування. Розрахуємо живий переріз фільтра:

$$f_{Na} = \frac{G_{хво}}{\omega_{Cl} \cdot a}, м^2 \quad (3.3)$$

де ω_{Cl} – швидкість фільтрування. Приймаємо;

$G_{хво}$ - продуктивність фільтра, $м^3$/год;

а – кількість фільтрів. Кількість фільтрів приймаємо рівну трьом, один із яких є резервним і в розрахунку не бере участі.

$$f_{Cl} = \frac{9,92}{15 \cdot 2} = 0,198\ м^2$$

Виходячи з розрахованого живого перерізу, вибираємо стандартний фільтр із найближчим перетином, діаметром D_y=700мм з площею фільтрування. Це фільтр ФІПу І-0,7-0,6-Na. Габаритні розміри фільтра наведено рис 3.1.

Перевіряємо вибраний типорозмір фільтра

– за нормальною швидкістю (коли обидва фільтри у роботі):

$$\omega_н = \frac{G_{хво}}{f_{Na}^{ст} \cdot a} = \frac{9,92}{0,39 \cdot 2} = 12,7 м/год$$

– за максимальною швидкістю (коли один із фільтрів регенерується):

$$\omega_м = \frac{G_{хво}}{f_{Na}^{ст} \cdot (a-1)} = \frac{9,92}{0,39 \cdot (2-1)} = 25,4 м/год$$

Нормальна та максимальна швидкості лежать у рекомендованих та допустимих межах відповідно.

Кількість солей жорсткості, що видаляється в Na-катіонітних фільтрах:

$$A = 24 \cdot Ж_о \cdot G_{хво}, г-екв/доб$$

Число регенерацій натрій-катіонітного фільтра на добу:

$$n = \frac{A}{f_{Na}^{ст} \cdot H_{шар} \cdot E_p^{Na} \cdot a} \quad (3.4)$$

де $H_{шар}$ - висота шару катіоніту, м. Приймаємо $H_{шар} = 2м$;

E_p^{Na} - робоча обмінна здатність катіоніту. Приймаємо $E_p^{Na} = 250\ г-екв/м^3$.

$$n = \frac{761,6}{0,39 \cdot 2 \cdot 250 \cdot 2} = 1,95$$

Отже, регенерацію натрій-катіонітного фільтра необхідно проводити двічі на добу.

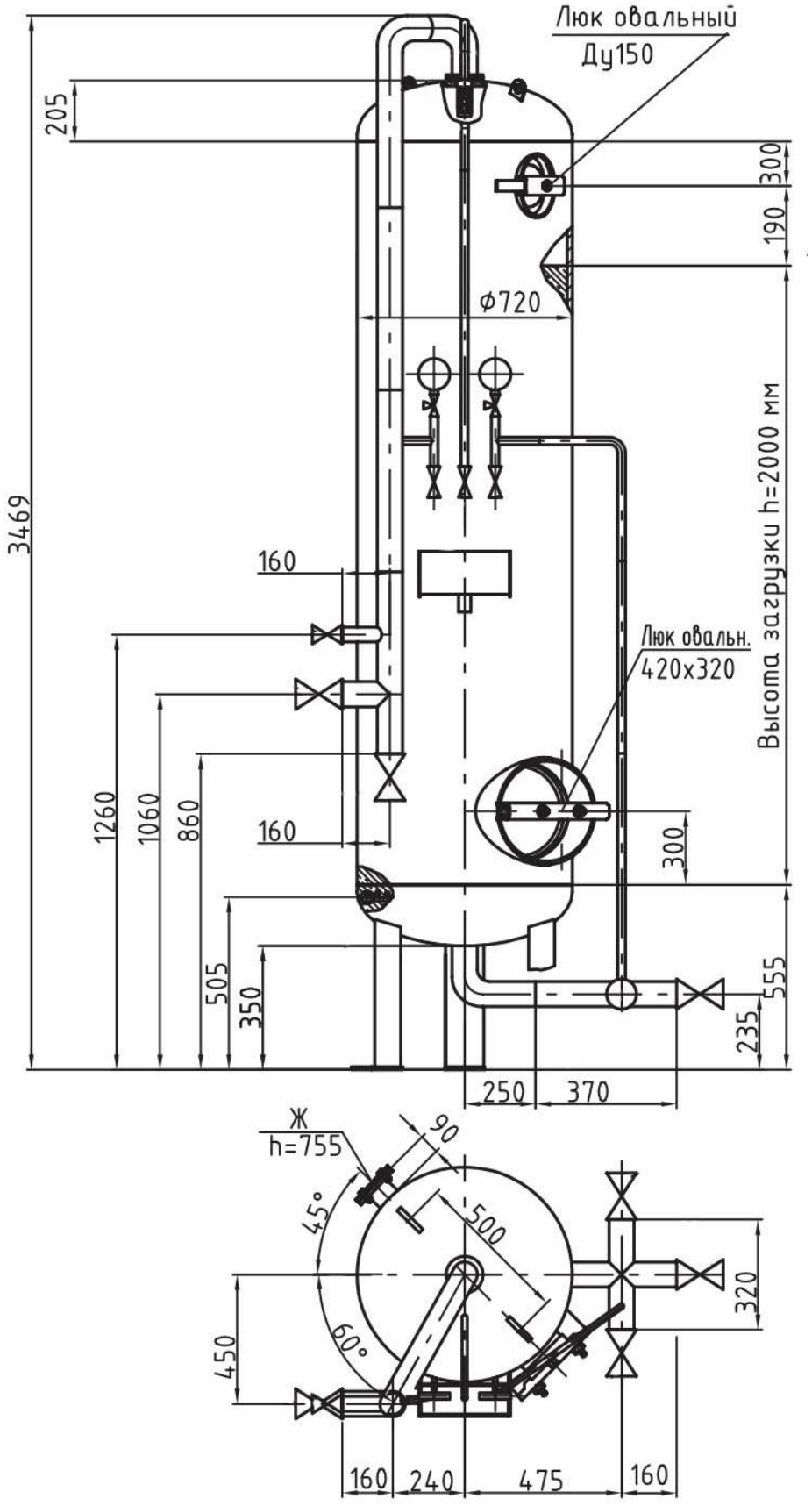


Рис. 3.1. Габаритні розміри фільтра ФІПу І-0,7-0,6-Na

Витрата солі на одну регенерацію визначається за виразом:

$$G_c^{Na} = \frac{E_p^{Na} \cdot f_{Na}^{ст} \cdot H_{шар} \cdot g_c}{1000}, кг \quad (3.5)$$

де g_c – питома витрата солі на регенерацію, г/г-екв обмінної здатності катіоніту. Приймаємо $g_c = 100$ г/г – екв.

$$G_c^{Na} = \frac{250 \cdot 0{,}39 \cdot 2 \cdot 100}{1000} = 19{,}5кг$$

Враховуючи, що регенерація проводиться 8% розчином солі, кількість води на одну регенерацію:

$$G_{H_2O}^{Na} = \frac{G_c^{Na} \cdot 100\%}{8\%} = \frac{19{,}5 \cdot 100\%}{8\%} = 243{,}75л$$

3.6. Підбір натрій-хлор-іонітних фільтрів

Розрахунок Na-Cl-іонітних фільтрів ведеться на основі таких даних:

- продуктивність натрій-хлор-іонітних фільтрів Gхво, м^3/год;

– залишкова лужність оброблюваної води Щост, мг-екв/л;

- Якісний склад вихідної води (таблиця 3.1).

Технологічні дані для розрахунку фільтрів наведено у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3

Технологічні дані розрахунку хлор-іонітних фільтрів

Показник	Змішаний Na-Cl-іонітний фільтр
Висота шару, м: аніоніту катіоніту	 0,5-2,0 0,5 – 2,0
Крупність зерен аніоніту, мм	0,35 – 1,2
Швидкість фільтрування, м/год: допустима рекомендована	 4-30 15 - 20
Розпушуюче промивання аніоніту: інтенсивність, л/(с·м^2) тривалість, хв	 3 15
Відмивання аніоніту: швидкість відмивання, м/год витрата води на відмивання аніоніту, м^3/м^3	 6 - 8 4

Підберемо діаметр фільтра за швидкістю фільтрування. Розрахуємо живий переріз фільтра:

$$f_{Cl} = \frac{G_{хво}}{\omega_{Cl} \cdot a}, м^2 \quad (3.6)$$

де ω_{Cl} - швидкість фільтрування. Приймаємо $\omega_{Cl} = 15м/год$;

$G_{хво}$ - продуктивність фільтра, $м^3$/год;

а – кількість фільтрів. Кількість фільтрів приймаємо рівну трьом, два фільтри працюють поперемінно, третій є резервним.

$$f_{Cl} = \frac{9,92}{15 \cdot 1} = 0,661 м^2$$

Виходячи з розрахованого живого перерізу, вибираємо найближчий стандартний фільтр діаметром D = 1500мм з площею фільтрування $f_{Cl}^{ст} = 1,72м^2$. Габаритні розміри фільтри наведено рис. 3.2

Перевіряємо вибраний типорозмір фільтра

– за нормальною швидкістю (при паралельній роботі вона є максимальною):

$$\omega_н = \frac{G_{хво}}{f_{Cl}^{ст} \cdot a} = \frac{9,92}{1,72 \cdot 1} = 5,8м/год$$

Нормальна швидкість лежить у допустимих межах.

$$A_{Cl} = 24 \cdot G_{хво} \cdot (Л_{вих} - Л_{зал}), г - екв/доб$$

де $Л_{вих}$ - лужність вихідної води, г-екв/$м^3$;

$Л_{зал}$ - залишкова лужність після хлор-іонування, г-екв/$м^3$. Залишкова лужність визначається за формулою:

$$Л_{зал} = \frac{0,826}{\alpha_{о.в.}} = \frac{0,826}{0,378} = 2,18 г - екв/м^3$$

$$A_{Cl} = 24 \cdot 9,92 \cdot (2,6 - 2,18) = 98,8г - екв/доб$$

Число регенерацій хлор-іонітного фільтра на добу:

$$n = \frac{A_{Cl}}{f_{Cl}^{ст} \cdot H_{шар}^{а} \cdot E_р^{Cl} \cdot a}$$

де $H_{шар}^{а}$ – висота шару аніоніту, м. Згідно з даними заводу-виробника;

$E_р^{Cl}$ - робоча обмінна здатність аніоніту АВ-17 за іоном $HCO3$. У розрахунках приймають.

$$n = \frac{A_{Cl}}{f_{Cl}^{ст} \cdot H_{шар}^{а} \cdot E_р^{Cl} \cdot a} = \frac{98,8}{1,72 \cdot 0,54 \cdot 300 \cdot 1} = 0,35$$

Отже, регенерацію хлор-іонітного фільтра необхідно проводити 1 раз на 3 доби.

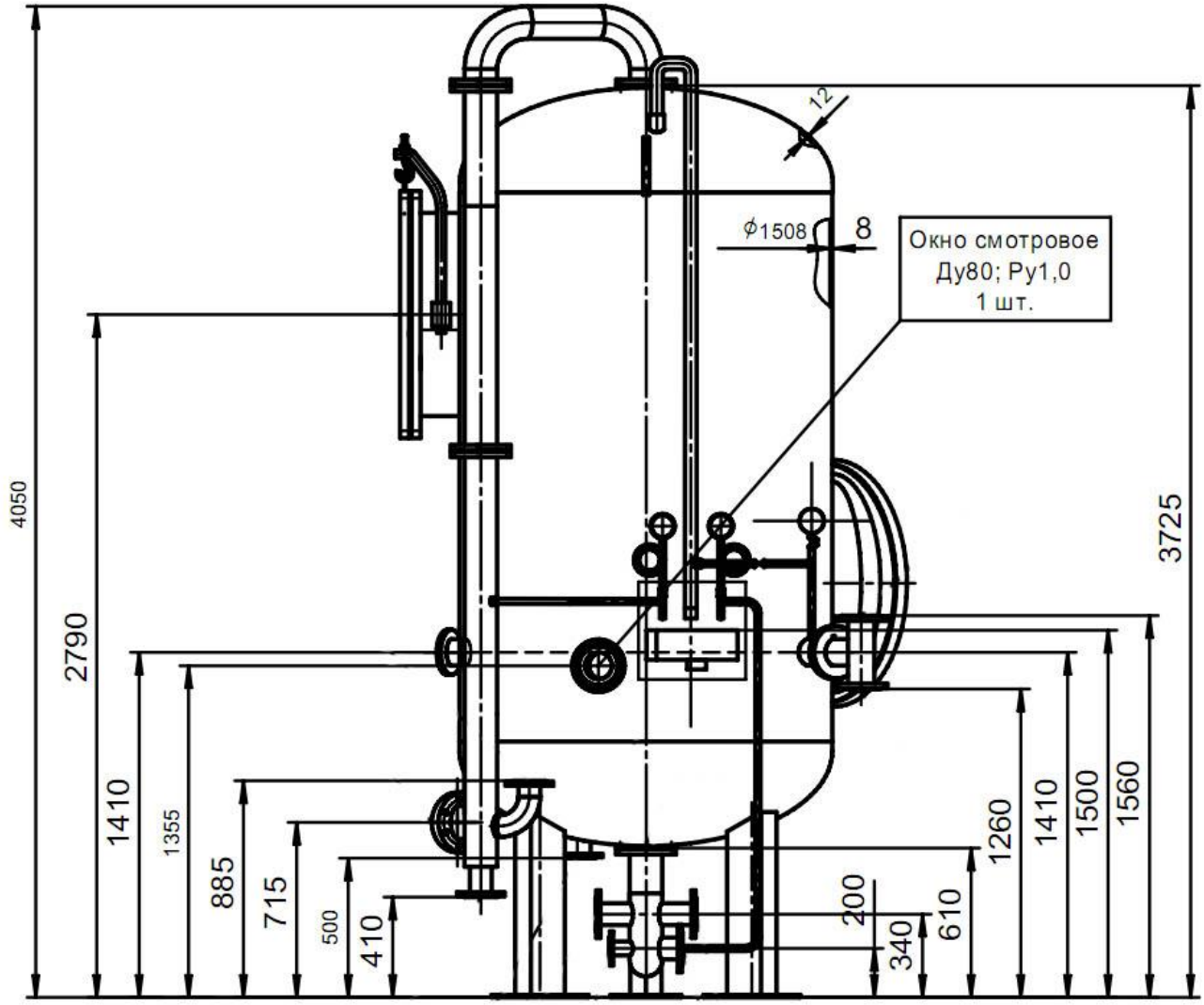


Рис. 3.2. Габаритні розміри фільтра ФІСДВР-1,5-0,6

Витрата солі на одну регенерацію визначається за виразом:

$$G_c^{Cl} = g_c \cdot f_{Cl}^{ст} \cdot H_{шар}^{а}, \text{ кг}$$

де g_c - питома витрата солі на 1м^3 аніоніту, кг.

$$G_c^{Cl} = 65 \cdot 1{,}72 \cdot 1 = 60{,}4 \text{ кг}$$

Регенерація проводиться 12% розчином солі, отже кількість води одну регенерацію:

$$G_{H_2O}^{Cl} = \frac{G_c^{Cl} \cdot 100\%}{12\%} = \frac{60{,}4 \cdot 100\%}{12\%} = 503{,}1 \text{л}$$

3.7. Вибір солерозчинника

Солерозчинник використовується для приготування розчину хлориду натрію (NaCl), який застосовується під час регенерації Na-катіонітних та Na-Cl-іонітних фільтрів у системі водопідготовки. Вибір моделі солерозчинника здійснюється з урахуванням максимальної маси солі, необхідної для приготування розчину заданої концентрації MNaCl, кг.

Для підвищення надійності експлуатації та запобігання помилкам під час приготування регенераційних розчинів для кожного типу фільтрів — Na-катіонітних та Na-Cl-іонітних — передбачаються окремі ємності-солерозчинники.

$M_{NaCl} \geq G_c^{Na} = 19{,}5$кг - для Na-катіонітних фільтрів;

$M_{NaCl} \geq G_c^{Cl} = 60{,}4$кг - для Na-Cl-іонітних фільтрів.

Для обох випадків вибираємо однотипні солерозчинники марки С-0,5-0,7.

Габаритні розміри солерозчинників представлені рис 3.3.

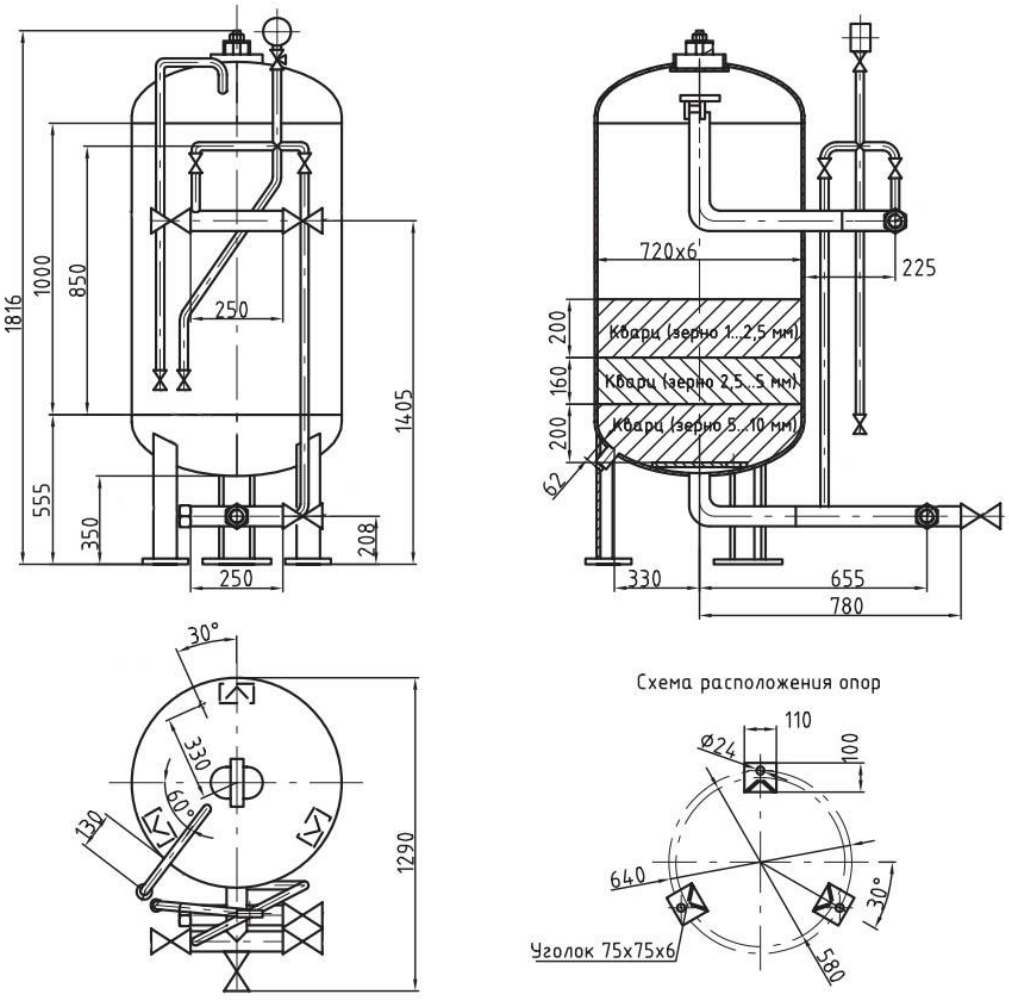


Рис. 3.3. Габаритні розміри солерозчинника С-0,5-0,7

3.8. Вибір деаератора

Деаератори застосовуються для усунення з живильної води парових котлів і підживлювальної води тепломереж корозійно-активних газів, зокрема кисню та вільного вуглекислого газу. Принцип їхньої роботи базується на нагріванні води до температури кипіння, за якого з неї інтенсивно вивільняються розчинені гази.

У котельнях виробничо-опалювального призначення зазвичай використовують атмосферні деаератори, що функціонують при тиску, близькому до атмосферного (приблизно 0,12 МПа). Необхідна температура кипіння досягається шляхом подачі гріючої пари з парового котла у колону деаератора.

Для живильної води парових котлів вміст залишкового кисню допускається не більше ніж 0,03 мг/кг.

Підбір деаератора здійснюють, враховуючи його номінальну продуктивність і об’єм бака. Номінальна продуктивність повинна бути не меншою від витрати деаерованої води в котельні при максимально-зимовому режимі:

$$G_д = G_{жив} + G_{підж} = 26{,}23 + 3{,}25 = 29{,}48т/г \quad (3.7)$$

Місткість бака деаератора повинна бути не менше 50% від годинної паропродуктивності котельні $D_{к.у.}^{max} = 23{,}73т/год$.

Виходячи з цих умов, вибираємо деаератор атмосферного типу марки ДА-25/15. Основні параметри деаератора наведено у таблиці 3.4, габаритні розміри деаератора в котлі рис 3.4.

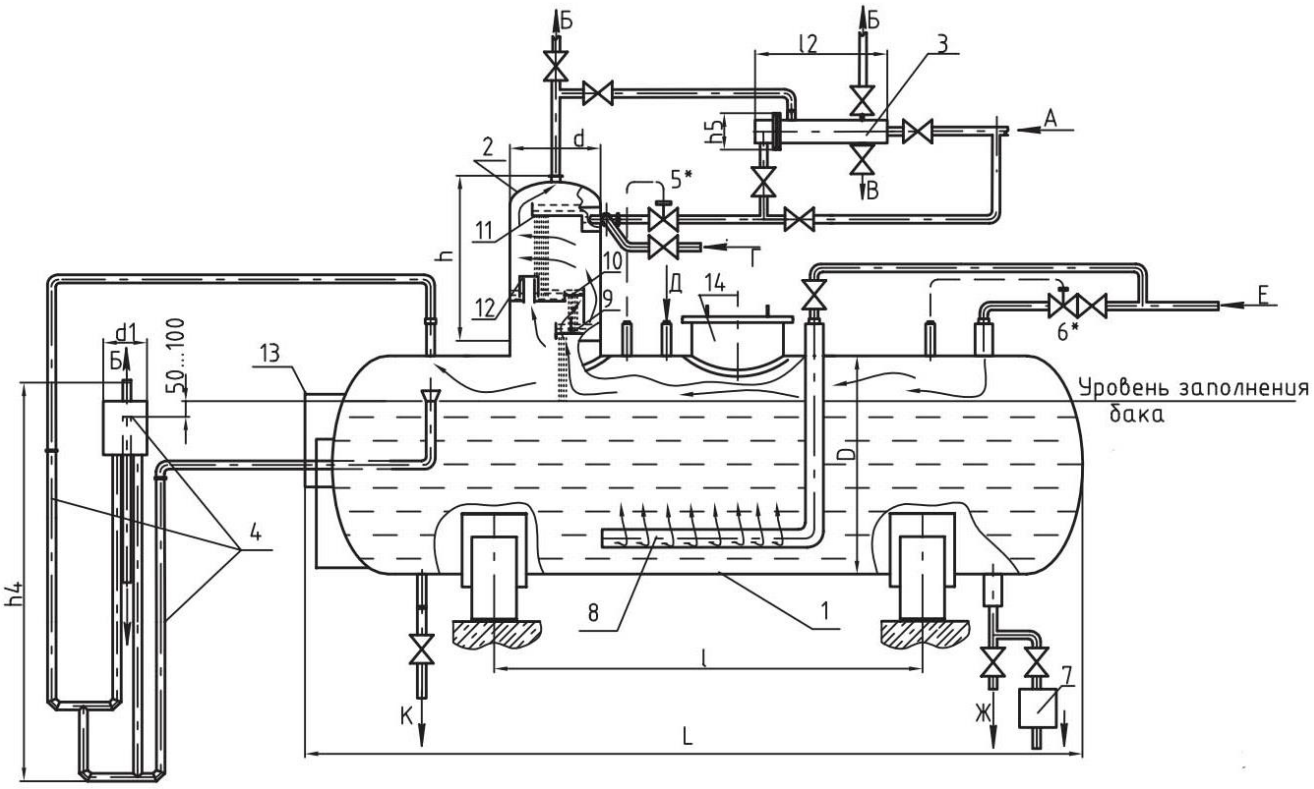
Таблиця 3.4

Параметри деаератора ТАК-25/15

1	2	3
Деаератор	Продуктивність номінальна, т/год	25
	Діапазон продуктивності, %	30…120
	Діапазон продуктивності, т/год	7,5…30
	Тиск робочий надлишковий, МПа	0,02
	Тиск макс. При спрацюванні захисного пристрою, надлишковий, МПа	0,07
	Температура деаерованої води,°С	104,25
	Середнє нагрівання води в деаераторі, °С	10...50
	Питома витрата випару, кг/т.д.в	1,5...2

Продовження таблиці 3.4

1	2	3
Колонка	Позначення колонки деаераторної	КДА-25
	Маса суха, кг	427
Бак	Позначення бака деаераторного	БДА-25
	Корисна ємність бака, $м^3$	15
	Маса суха, кг	3720
Охолоджувач	Позначення охолоджувача випару	ОВА-2
	Площа поверхні теплообміну охолоджувача випару, $м^2$	2
	Маса суха, кг	232
Запобіжний пристрій	Позначення запобіжного пристрою	ДА-25
	Маса суха, кг	277



1-Бак деаераторний; 2-колонка деаераційна; 3-охолоджувач випару; 4-пристрій запобіжний; 5-регулятор рівня; 6-регулятор тиску; 7-холодильник відбору проб; 8-барботажний пристрій; 9-барботажна тарілка; 10-перепускна тарілка; 11-верхня тарілка; 12-пароперепускний пристрій; 13-покажчик рівня; 14-люк-лаз.

Рис. 3.4. Пристрій та габаритні розміри деаератора ТАК

До складу деаератора моделі ТАК-25/15 входять такі основні елементи:

деаераційна колонка;

бак деаератора;

охолоджувач випару;

комбінований запобіжний механізм, який забезпечує захист від аварійного підвищення рівня та тиску.

У деаераторі ДА-25/15 реалізована двоступенева схема дегазації: обробка відбувається на двох етапах у колонці — перший етап є струминним, другий — барботажним. Третій ступінь дегазації, додатковий, розташований у баку і виконаний у вигляді зануреного барботажного пристрою.

Вода для деаерації подається у колонку (позначена як 2) через штуцери (А, 3, І, Г). Вона послідовно проходить через струминний і барботажний етапи, де підігрівається та обробляється парою. Після колонки вода по струменях спрямовується у бак, де після певної витримки виводиться через штуцер (Ж).

Основна пара надходить у бак через штуцер (Е), вентиляція парового простору бака відбувається за рахунок подачі пари в колонку. Пара проходить через отвори барботажної тарілки (9), де інтенсивно взаємодіє з водою, забезпечуючи її догрівання до насичення та видалення залишкових газів. Якщо теплове навантаження збільшується, спрацьовує гідрозатвор пароперепускного пристрою (12), який перепускає пару в обвід барботажної тарілки. При зменшенні навантаження гідрозатвор заливається водою і перепуск припиняється.

Пар, що вийшов із барботажного відсіку, потрапляє до струминного відсіку, де вода нагрівається до температури близько насичення, відбувається видалення більшості газів і конденсація пари. Парогазова суміш (випар) із верхньої частини колонки відводиться через штуцер (Б) в охолоджувач випару (3) або безпосередньо в атмосферу.

Останній етап дегазації проходить у баку (1), де дрібні бульбашки газів виділяються із води завдяки відстоюванню. Частина пари може подаватися через штуцер до зануреного барботажного пристрою (8), що забезпечує ефективну деаерацію, особливо при використанні води з низькою бікарбонатною лужністю (0,2–0,4 мг-екв/кг), високим вмістом вільної вуглекислоти (понад 5 мг/кг) та при значних коливаннях навантаження.

Внутрішні елементи деаераційної колонки спроектовані для зручного огляду і виготовлені з корозійностійкої сталі (перфоровані листи).

Охолоджувач випару — це поверхневий теплообмінник із горизонтальним корпусом і трубною системою, виготовленою з латуні або корозійно-стійкої сталі. Хімічно очищена вода циркулює всередині трубок і надходить у колонку через штуцер (А), а парогазова суміш подається у міжтрубний простір, де відбувається конденсація пари. Залишкові гази виводяться в атмосферу, а конденсат збирається у деаератор або дренажний бак.

Для безпечної експлуатації пристрій оснащений комбінованою системою захисту від перевищення тиску та рівня води, що підключається через штуцер переливу. Цей запобіжний пристрій складається із двох гідрозатворів, об’єднаних загальною гідравлічною системою та розширювальним баком, який забезпечує самозаливання пристрою після усунення неполадок.

Діаметр парового гідрозатвора визначений виходячи з максимально допустимого робочого тиску в деаераторі (0,07 МПа) і максимальної можливої аварійної витрати пари.

Бак має антикорозійне покриття, а бак та колонка — теплоізоляцію.

Розрахунковий термін експлуатації деаератора становить 20 років, а середній ресурс до капітального ремонту — не менше 24 000 годин.

РОЗДІЛ 4. РОЗРАХУНОК ТА ВИБІР ДОПОМІЖНОГО ОБЛАДНАННЯ КОТЕЛЬНІ

4.1. Вибір насосів

Поживні пристрої є відповідальними елементами котельної установки, забезпечуючи безпеку її експлуатації.

Поживні пристрої повинні мати паспорт заводу-виготовлювача та забезпечувати необхідну витрату поживної води при тиску, що відповідає повному відкриттю робочих запобіжних клапанів, встановлених на паровому котлі.

Насоси в цьому дипломному проекті вибираються за продуктивністю. Продуктивність насоса підбирається з урахуванням коефіцієнта запасу $k_з = 1{,}1$.

У котельні, що проектується, використовуємо насоси з електроприводом. Відповідно до ДБН В.2.5-77:2014 «Котельні» [2], при використанні насосів з електроприводом, вони повинні бути підключені до двох незалежних джерел електропостачання.

Число і продуктивність поживних насосів вибираються з таким розрахунком, щоб у разі зупинки найбільшого за продуктивністю насоса, що залишилися, забезпечили подачу води в необхідних кількостях.

4.1.1. Вибір насосів вхідної води

Насос вхідної води служить для подачі сирої води із системи водопроводу житлового району до устаткування водопідготовки котельні. Дані насоси вибираються виходячи з максимальної потреби котельні в хімічно очищеній воді (Gхво), включаючи витрати води на власні потреби хімводоочищення. При визначенні витрати враховується коефіцієнт запасу $k_з = 1{,}1$.

Розрахункова витрата сирої води для вибору насоса:

$$G^{р}_{вих} = 1{,}1 \cdot G_{хво} \cdot k_з = 1{,}1 \cdot 9{,}92т/г \cdot 1{,}1 = 12т/г \quad (4.1)$$

Для живлення котельні вибираємо два насоси марки GRUNDFOS CR 15-4 (Вертикальний багатоступеневий відцентровий насос із нормальним всмокту-

ванням типу "ін-лайн" для монтажу на плиті-основі). Один із них є резервним. Основні характеристики насоса представлені у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

Технічні характеристики насоса GRUNDFOS CR 15-4

Матеріал корпуса	Чавун
Матеріал робочих коліс та проміжних камер	Нержавіюча сталь
Привід насосу	Трифазний асинхронний електродвигун
Робоча рідина	Чиста вода
Діапазон температур рідини	-20 .. 120 °C
Частота обертів	2917 об/м
Поточна розрахована витрата	12,1 $м^3$/год
Загальний гідростатичний напір насоса	51,1 м
Тип електродвигуна	112MC
Номінальна потужність електродвигуна	4 кВт
Промислова частота	50 Гц
Номінальна напруга	380 В
Номінальний струм	8 А
Пусковий струм	1120-1230 %
Cos φ	0,88-0,84
клас захисту	IP55
Вага нетто	68 кг
Повна вага	87 кг

4.1.2. Вибір живильних насосів

Поживні насоси призначені для безперебійного постачання парових казанів живильною водою. Кількість і подача поживних насосів вибирається так, щоб у випадку зупинки найпотужнішого насоса, що залишилися, забезпечили подачу води в кількості, необхідної для живлення всіх робочих парових котлів.

Розрахункова витрата поживної води:

$$G^{р}_{жив} = G_{жив} \cdot k_з = 26{,}23т/год \cdot 1{,}1 = 28{,}85т/год \quad (4.2)$$

Для живлення котлів вибираємо два насоси GRUNDFOS CRE 32-2 A-F-A-E HQQE. Один із них є резервним. Основні характеристики насоса представлені у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2

Технічні характеристики насоса grundfos cre 32-2 a-f-a-e hqqe

Матеріал корпуса	Чавун
Матеріал робочих коліс та проміжних камер	Нержавіюча сталь
Привід насосу	Трифазний асинхронний електродвигун
Робоча рідина	Чиста вода
Робоча рідина	-30 .. 120 °C
Діапазон температур рідини	2917 об/м
Частота обертів	29 $м^3$/год
Поточна розрахована витрата	20 м
Загальний гідростатичний напір насоса	112MC
Тип електродвигуна	4 кВт
Номінальна потужність електродвигуна	50 Гц
Промислова частота	380 В
Номінальна напруга	8,1-6,6 А
Номінальний струм	360-3530 об/м
Пусковий струм	1120-1230 %
клас захисту	IP55
Вага нетто	92 кг
Повна вага	115 кг

Двигун насоса оснащений захистом від перевантажень та перегріву.

Витрата поживної води змінюється залежно від режиму роботи котельної установки і не є постійною величиною. Для забезпечення плавного регулювання подачі поживних насосів, зниження споживання електроенергії та подовження строку служби обладнання, електродвигуни насосів підключаються до електроживлення через перетворювачі частоти.

Застосування перетворювачів частоти дає змогу автоматично регулювати подачу поживної води відповідно до фактичної витрати. Такий спосіб керування запобігає виникненню гідроударів та забезпечує економію електроенергії завдяки регулюванню швидкості обертання робочого колеса, а не перекриванню засувки.

Обраний насос комплектується перетворювачем частоти та датчиком тиску, що дозволяє автоматизувати його роботу.

4.1.3. Вибір мережних насосів

Мережеві насоси призначені для забезпечення циркуляції теплоносія у тепловій мережі. Мережеві насоси встановлюються на виході з котельні у зворотній лінії теплової мережі перед підігрівачами, оскільки температура мережної води в цій точці не перевищує 70 °С. У котельні має бути встановлене не менше двох мережевих насосів. Витрата одного насоса:

$$G_м^р = \frac{G_м \cdot k_з}{N} = 131{,}85 \text{т/год} \cdot 1{,}1 = 145{,}04 \text{т/год} \quad (4.3)$$

де $G_м$ – максимальна витрата мережної води, т/год;

$k_з$ - коефіцієнт запасу;

N – кількість паралельно працюючих насосів.

Як мережеві застосовуємо два насоси GRUNDFOS TPE 125-320/4-S A-F-A BAQE. Один насос є основним, другий – резервним. Насоси комплектуються вбудованим перетворювачем частоти серії CUE, що дозволяє здійснювати плавне регулювання подачі насосів у широких межах.

Керування насосом може здійснюватися за допомогою пульта дистанційного керування R100, який дозволяє задавати та зчитувати кількісні параметри, такі як "Поточне значення", "Швидкість", "Вхідна потужність" та "Енергоспоживання".

Основні характеристики насоса представлені у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3

Технічні характеристики насоса GRUNDFOS TPE 125-320/4-S A-F-A BAQE

1	2
Матеріал корпуса	Чавун
Матеріал робочих коліс та проміжних камер	Чавун
Привід насосу	Трифазний асинхронний електродвигун
Робоча рідина	Вода у системі опалення

Продовження таблиці 4.3

1	2
Діапазон температур рідини	0 .. 120 °C
Частота обертів	1450 об/м
Поточна розрахована витрата	145 $м^3$/год
Загальний гідростатичний напір насоса	20 м
Тип електродвигуна	180МА
Номінальна потужність електродвигуна	18,5 кВт
Промислова частота	50 Гц
Номінальна напруга	380 В
Номінальний струм	30..37 А
Пусковий струм	240..1750 об/м
клас захисту	IP55
Вага нетто	379 кг
Повна вага	429 кг

4.1.4. Вибір підживлювальних насосів

Підживлювальні насоси призначені для компенсації втрат води в системі теплопостачання. Вони подають хімічно очищену воду з бака деаератора у зворотний трубопровід теплової мережі.

Продуктивність цих насосів обирається з запасом і становить подвійний об’єм необхідної води для заповнення можливих аварійних витоків:

$$G^{р}_{підж} = G_{підж} \cdot k_з = 3{,}25т/г \cdot 2 = 6{,}5т/г \quad (4.4)$$

У котельні встановлюємо два підживлювальні насоси GRUNDFOS CR 5-4 A-FGJ-A-V HQQV, один з них є резервним. Основні характеристики насоса представлені у таблиці 4.4.

Таблиця 4.4

Технічні характеристики насоса GRUNDFOS CR 5-4 A-FGJ-A-V HQQV

1	2
Матеріал корпуса	Чавун
Матеріал робочих коліс та проміжних камер	Нержавіюча сталь
Привід насосу	Трифазний асинхронний електродвигун
Робоча рідина	Вода у системі опалення
Діапазон температур рідини	-20 .. 90 °C
Частота обертів	2856 об/м

Продовження таблиці 4.4

1	2
Поточна розрахована витрата	6,7 м^3/год
Загальний гідростатичний напір насоса	14,9 м
Тип електродвигуна	71B
Номінальна потужність електродвигуна	0,55 кВт
Промислова частота	50 Гц
Номінальна напруга	380 В
Номінальний струм	1,44 А
Номінальна швидкість	2830-2850 об/м
Пусковий струм	480-520 %
клас захисту	IP55
Вага нетто	24,7 кг
Повна вага	27,4 кг

4.1.5. Вибір конденсатних насосів

Конденсатні насоси призначені для подачі конденсату, що повернувся з виробництва в деаератор. Продуктивність конденсатного насоса дорівнює часовій витраті конденсату від технологічного споживача:

$$G^{р}_{конд} = \frac{D_{тех} \cdot \mu}{100} \cdot k_з = \frac{9т/год \cdot 65\%}{100} \cdot 1{,}1 = 6{,}44т/год \quad (4.5)$$

де $D_{тех}$ – витрата пари на технологічні потреби, т/год;

$\mu = 65\%$ - відсоток повернення конденсату.

Вибираємо два конденсатні насоси GRUNDFOS CR 5-4 A-FGJ-A-V HQQV, один з них є резервним. Основні характеристики насоса представлені у таблиці 4.5.

Таблиця 4.5

Технічні характеристики насоса GRUNDFOS CR 5-4 A-FGJ-A-V HQQV

1	2
Матеріал корпуса	Чавун
Матеріал робочих коліс та проміжних камер	Нержавеющая сталь
Привід насосу	Трифазний асинхронний електродвигун
Робоча рідина	Вода у системі опалення
Діапазон температур рідини	-20 .. 90 °C
Частота обертів	2856 об/м
Поточна розрахована витрата	6,7 м^3/год

Продовження таблиці 4.5

1	2
Загальний гідростатичний напір насоса	14,9 м
Тип електродвигуна	71В
Номінальна потужність електродвигуна	0,55 кВт
Промислова частота	50 Гц
Номінальна напруга	380 В
Номінальний струм	1,44 А
Номінальна швидкість	2830-2850 об/м
Пусковий струм	480-520 %
клас захисту	IP55
Вага нетто	24,7 кг
Повна вага	27,4 кг

4.2. Вибір теплообмінників

Вибір теплообмінників здійснюється на основі теплового розрахунку системи. Зазвичай проводять перевірочні розрахунки, щоб підтвердити придатність обраних за каталогом теплообмінників для заданих експлуатаційних умов. Поверхня нагріву серійних теплообмінників має бути дещо більшою за розрахункову, тобто з певним запасом. У курсовому проекті відбір теплообмінників здійснюють за параметрами теплопродуктивності та площею нагрівальної поверхні.

Теплопродуктивність теплообмінника, або кількість теплоти, що передається, розраховується за рівнянням теплового балансу.

Для водо-водяного теплообмінника:

$$Q =\cdot\cdot (t'_{\text{гріюч.}} - t''_{\text{гріюч.}} = c_{\text{в}} \cdot\cdot (t'_{\text{нагрів.}} - t''_{\text{нагрів.}}), \text{кВт} \quad (4.6)$$

де $c_{\text{в}}$ – теплоємність води;

$G_{\text{гріюч}}$, $G_{\text{нагрів}}$ - витрата води, гріючої і нагріваємої, кг / с.

Площа поверхні нагрівання теплообмінника визначається за такою формулою:

$$H = \frac{Q}{K \cdot \Delta t \cdot \eta}, м^2 \quad (4.7)$$

де Q - кількість теплоти, що передається, кВт;

К – коефіцієнт теплопередачі. Для орієнтовного розрахунку;

t', t” – температури теплоносія на вході та виході з теплообмінника, °С;

η - коефіцієнт, що враховує втрати теплоти від зовнішнього охолодження. Приймаємо $\eta = 0{,}98$;

Δt - середньологарифмічний температурний напір:

$$\Delta t = \frac{\Delta t_б - \Delta t_м}{\ln\left(\frac{\Delta t_б}{\Delta t_м}\right)}, °C \quad (4.8)$$

де $\Delta t_б, \Delta t_м$ - більша і менша різниці температур теплоносіїв на вході та виході з теплообмінника, °С.

$$Q = D \cdot (h_п - h_к) = c_в \cdot G_{нагрів} \cdot (t'_{нагрів.} - t''_{нагрів.}), кВт \quad (4.9)$$

де D - Витрата пари, кг / с;

$h_п, h_к$ – ентальпії пари та конденсату, кДж/кг.

Площа поверхні нагрівання теплообмінника визначаємо за виразом:

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t \cdot \eta}, м^2 \quad (4.10)$$

де K - Коефіцієнт теплопередачі. Для орієнтовного розрахунку відповідно до [8] приймаємо $K = 3{,}5 кВт/м^2 \cdot °C$ – для пароводяних теплообмінників та $K = 1{,}7 кВт/м^2 °C$ водоводяних теплообмінників.

η – коефіцієнт, що враховує втрати теплоти у навколишнє середовище. Приймаємо η=0,98.

Результати розрахунку параметрів Q та F зведені в таблицю 4.6.

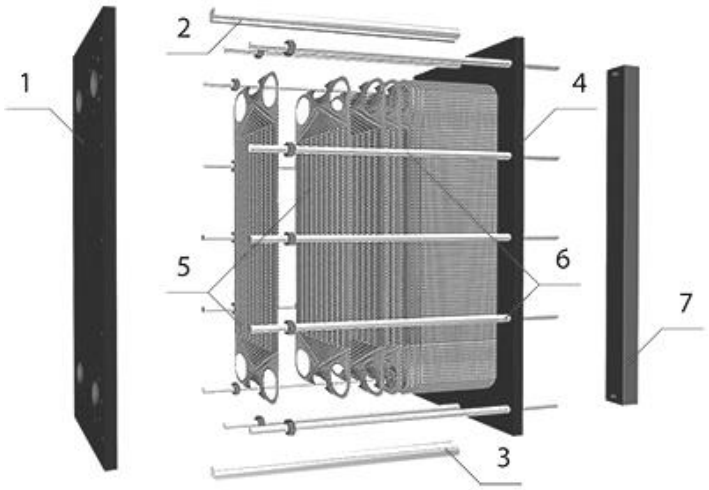
Для котельні обирають розбірні пластинчасті теплообмінники як найбільш ефективний тип обладнання. Ці теплообмінники використовують для передачі тепла між різними рідинами або газами. Серед їхніх основних переваг — високий коефіцієнт теплопередачі, легкість в обслуговуванні, можливість регулювання потужності, компактні розміри та висока стійкість до вібрацій [24].

Таблиця 4.6

Розрахунок основних параметрів теплообмінників

Найменування, позначення	Температура гріючого середовища на вході t'_1, °С	Температура гріючого середовища на виході t''_1, °С	Температура середовища, що нагрівається на вході t'_2, °С	Температура середовища, що нагрівається на виході t''_2, °С	Витрата середовища, що нагрівається $G_{нагрів}$, кг/с	Середньологарифмічний температурний напір Δt, °С	Коефіцієнт теплопередачі К, кВт/м^2·°С	Теплопродуктивність Q, кВт	Площа поверхні теплообміну F, м^2
Охолоджувач безперервного продування, К8	111,35	60	5	14,41	27,13	74,00	1,7	1070	8,68
Підігрівач сирої води, К9	164,95	95	14,41	40	7,54	101,15	3,5	808	2,33
Мережевий підігрівач, К10	164,95	164,95	76,57	130,00	26,54	57,59	3,5	5943	30,08
Охолоджувач конденсату, К11	164,95	105,77	70,00	76,57	7,37	58,16	1,7	203	2,1
Охолоджувач випару, К12	Поставляється в комплекті з деаератором								

Пристрій розбірного пластинчастого теплообмінника показано рис 4.1.



1-нерухома плита з приєднувальними патрубками; 2-верхня напрямна; 3-нижня спрямовуюча; 4-задня притискна плита; 5-теплообмінні пластини з ущільнювальними прокладками; 6-комплект різьбових шпильок; 7-задня стійка.

Рис. 4.1. Влаштування розбірного пластинчастого теплообмінника

Основні переваги розбірних пластинчастих теплообмінників полягають у наступному:

Економічність і простота обслуговування. У разі засмічення пластинчастий теплообмінник легко розібрати, очистити і знову зібрати двома працівниками за 4–6 годин.

Низька схильність до забруднень. Це забезпечується завдяки високій турбулентності потоку рідини, що створюється рифленням пластин, а також якісному поліруванню їх поверхонь.

Тривалий термін служби ущільнювачів і пластин. У провідних європейських виробників прокладки ущільнювачів служать до 10 років, а теплообмінні пластини — 20–25 років. Вартість заміни ущільнень складає лише 15–25% вартості самого теплообмінника, що значно дешевше порівняно з витратами на ремонт трубок у кожухотрубних теплообмінниках (80–90% вартості апарату).

Низька вартість монтажу. Вартість монтажних робіт для пластинчастого теплообмінника становить лише 2–4% вартості обладнання, що значно менше, ніж у випадку з кожухотрубними апаратами. Компактні розміри дозволяють зекономити площу приміщення.

Можливість легкої зміни площі теплообміну. При потребі можна просто додати або вилучити пластини, що дозволяє швидко налаштувати потужність теплообмінника під конкретні завдання.

Стійкість до вібрацій. Пластинчасті теплообмінники добре витримують двоплощинні вібрації, які можуть пошкодити кожухотрубні апарати.

Менші наслідки гідроударів. Найсерйозніша проблема при гідравлічному ударі — це пошкодження прокладок у пластинчастому теплообміннику, у той час як у зварних чи паяних кожухотрубних теплообмінниках можливі більш значні пошкодження. Основні параметри підібраних теплообмінників наведено у таблиці 4.7

Таблиця 4.7

Результати вибору теплообмінників

Найменування, позначення	Тип	Площа поверхні теплообміну F, м^2	Площа поверхні теплообміну однієї пластини f, м^2	Кількість пластин n, шт	Теплопродуктивність Q, кВт	Габаритні розміри ВхШхГ, мм	Приєднувальний діаметр $Д_у$, мм	Масса, кг
Охолоджувач неперервної продувки, К8	НН №14 О/С-16	9,6	0,15	64	1184	950х300х715	50	200
Підігрівач сирої води, К9	НН №04 О/С-16	2,604	0,042	62	904	570х200х609	32	71
Сетевой подогреватель, К10	НН №21 О/С-16	33,12	0,24	138	6543	1060х450х1392	100	550
Охолоджувач конденсату, К11	НН №04 О/С-16	2,31	0,042	55	224	570х200х609	32	71

4.3. Вибір сепаратора безперервного продування

Сепаратори безперервного продування призначені для поділу на пару і воду пароводяної суміші, що утворюється з продувної води парових котлів шляхом зниження її тиску до тиску в сепараторі (що призводить до закипання води), з подальшим використанням тепла води та пари.

Для прискорення процесу сепарації застосовується тангенційне підведення продувної води. Також у сепараторах присутні вертикальні жалюзійні краплеуловлювачі для осушення пари вторинного закипання.

Сепаратор являє собою вертикальну циліндричну посудину зварної конструкції і складається з корпусу з привареним до нього нижнім еліптичним днищем; верхнє еліптичне днище з'єднується з корпусом за допомогою фланцевого роз’єму. У середній частині корпусу приварені 2 або 4 опори для встановлення сепаратора у підвішеному стані на опорних балках.

У нижній частині корпусу знаходиться приймальний пристрій, що складається з двох концентрично встановлених обічанок і двох тангенціально вварених у корпус патрубків, призначених для прийому тангенціально продувної води, що підводиться.

У верхній частині корпусу кріпиться болтами до кільця сепаруючий пристрій, що складається з набору спеціально відігнутих лопаток і призначений для відокремлення дрібних крапель води від пари [24].

Постійний рівень відсепарованої води автоматично підтримується поплавковим регулятором рівня, вбудованим у штуцері в нижній частині корпусу.

Для візуального спостереження за рівнем відсепарованої води сепаратор оснащений доказовим пристроєм, що складається з водовказівного скла і кранів клапанного типу.

Для спостереження за робочим тиском у паровому просторі сепаратора є манометр, що показує межу вимірювання до 1,6 МПа з продувним 3-х ходовим краном і спускним вентилем.

Відсікання тиску пари в корпусі вище допустимого (0,75МПа) забезпечується клапаном запобіжним повнопідйомним фланцевим, забезпеченим змінною пружиною, що працює при тиску в межах 0,7-1,3МПа. Спрацьовання клапана регулюється тиском 0,75МПа. Верхня частина клапана закрита ковпаком, в якому є регулюючий гвинт для встановлення пружини на заданий тиск.

Робота сепаратора полягає в прийомі пароводяної суміші від котла, поділ її на пару і воду за рахунок розширення і обертального руху потоку в приймальному пристрої сепаратора. Остаточно пара осушується в пристрої, що сепарує.

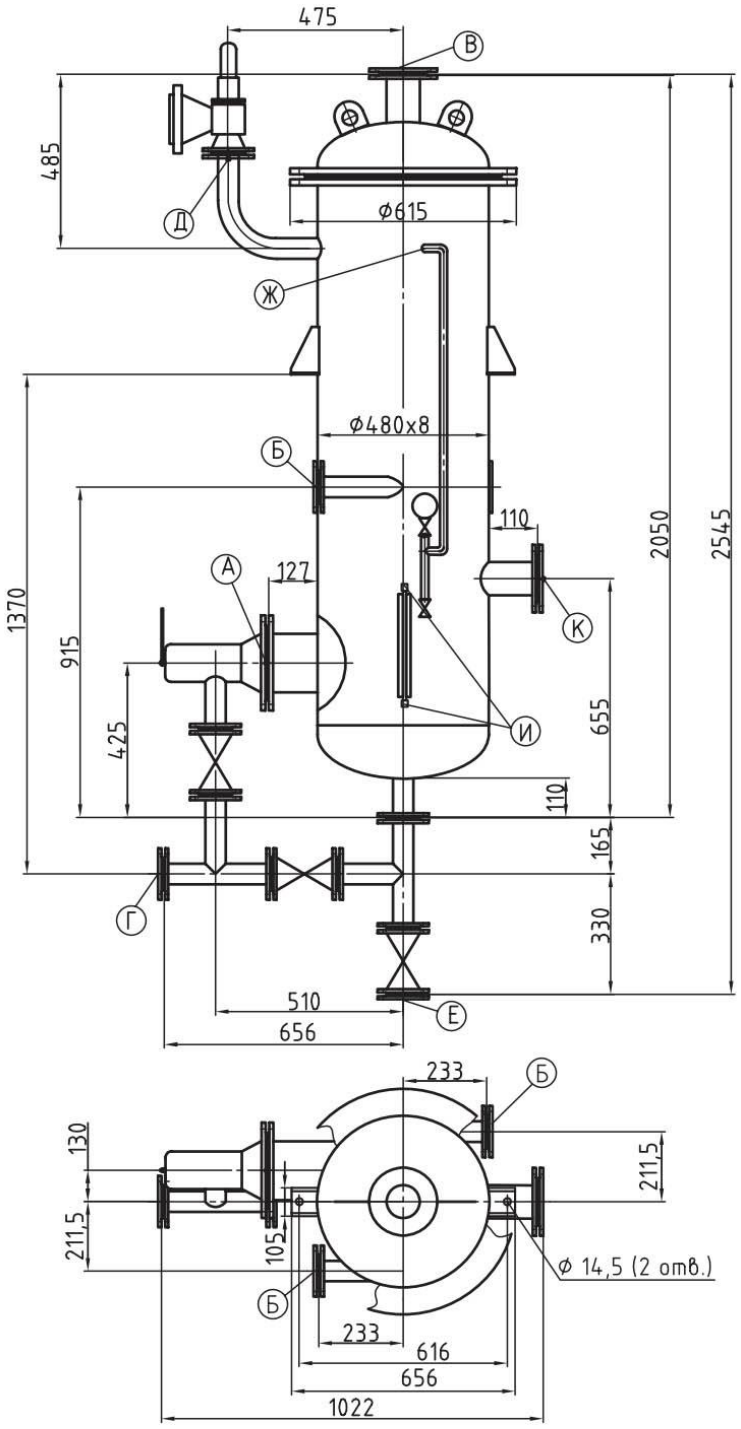
Сепаратор безперервного продування вибирається виходячи з витрати продувної води

$$G_{пр} = G'_{пр} + D_c = 2т/г + 0{,}38т/г = 2{,}38т/г$$

де $G'_{пр}$ - витрата залишкової води на виході з СНП, т / год;

D_c - витрата пари на виході з СНП, т / год.

Виходячи із заданих умов вибираємо сепаратори марки СП-0,28-0,45. Основні характеристики СП-0,28-0,45 наведено у таблиці 4.8. Габаритні розміри вказані рис 4.2.



А-штуцер регулятора рівня; Б-підведення пароводяної суміші; В-вихід відсепарованої пари; Г-вихід відсепарованої води; Д-для запобіжного клапана; Е-дренаж; Ж-муфта манометра; І-муфти покажчика рівня; К-штуцер оглядовий

Рис 4.2 Габаритні розміри сепаратора СП-0,28-0,45

Таблиця 4.8

Технічні характеристики СП-0,28-0,45

Тиск робочий	0,7 МПа
Температура робоча	170 °С
Тиск пробний при гідровипробуванні	1,0 МПа
Паропродуктивність	0,7 т/ч
Витрата пароводяної суміші	3,5 т/ч
Місткість	0,28 $м^3$
Маса суха	470 кг

РОЗДІЛ 5. РОЗРАХУНОК ТА ПІДБІР ТЯГОДУТЬЕВОГО ОБЛАДНАННЯ

5.1. Опис схеми подачі повітря та димовидалення

Відповідно до ДБН В.2.5-77:2014 «Котельні» [2], для забезпечення подачі повітря до котельних агрегатів та відведення продуктів згоряння передбачаються індивідуальні тягодуттьові установки для кожного котла. До складу тягодуттьової установки входять:

дуттьовий вентилятор — для подачі повітря, необхідного для спалювання палива;

димосос — для відведення продуктів згоряння від котлоагрегату у навколишнє середовище.

Для подачі повітря у камеру топки в зимовий період використовується тепле повітря із верхньої зони котельні, а в літній — повітря, що забирається з навколишнього середовища. Повітропроводи всередині котельні виготовляються зі сталі круглого перерізу.

Відведення продуктів згоряння здійснюється залізобетонними підземними газоходами. Кожен котлоагрегат оснащений індивідуальним газоходом, який направляє продукти згоряння до димової труби.

У котельні передбачена одна димова залізобетонна труба висотою 30 м із діаметром гирла 1,2 м. В місцях сполучення газоходів із димовою трубою встановлені температурно-осадові шви.

Для забезпечення економічної роботи тягодутьового обладнання електроприводи вентиляторів і димососів підключаються до електромережі через перетворювачі частоти. Вони забезпечують плавне регулювання обертів електродвигуна (і відповідно продуктивність обладнання) залежно від режиму роботи котлоагрегатів.

Використання перетворювачів частоти дозволяє:

економити електроенергію до 30%;

автоматизувати роботу тягодуттьового обладнання;

продовжити термін служби обладнання;

виключити людський фактор при управлінні.

5.2. Розрахунок обсягів продуктів згоряння та ККД котлоагрегату

Склад природного газу другої нитки трубопроводу Київ-Дашава за обсягом:

Метан CH_4 92,8%

Етан C_2H_6 2,8%

Пропан C_3H_8 0,9%

Бутан C_4H_{10} 0,4%

Пентан C_5H_{12} 0,1%

Азот N_2 2,5%

Двоокис вуглецю CO_2 0,5%

Відносна щільність повітрям (при 20 °С) 0,772

Найнижча теплота згоряння 36550 кДж/м^3.

5.2.1. Вибір коефіцієнта надлишку повітря

Дійсна кількість повітря, необхідна для повного згоряння палива 1, має бути дещо більшою теоретичного, так як при практичному спалюванні палива не вся кількість теоретично необхідного повітря використовується для горіння палива; частина його не бере участі в реакції горіння в результаті недостатнього перемішування повітря з паливом, а також через те, що повітря не встигає вступити в контакт з вуглецем палива і йде в газоходи котла у вільному стані. Тому відношення кількості повітря, що дійсно подається в топку, до теоретично необхідного називають коефіцієнтом надлишку повітря в топці:

$$\alpha_т = \frac{V_в^д}{V_в^o} \qquad (5.1)$$

де $V_в^д$ - дійсний обсяг повітря, доданого в топку на 1 м^3 палива.

Коефіцієнт надлишку повітря в загальному випадку залежить від виду палива, що спалюється, його складу, типу пальників, способу подачі повітря, конструкції топкового пристрою і т.д. Для спалювання природного газу зазви-

чай приймають $\alpha_т = 1{,}05…1{,}15$. Для пальника ГМГ-4м, що йде в комплекті котлоагрегату ДКВР 6,5-13ГМ, $\alpha_т = 1{,}05$.

5.2.2. Розрахунок об’ємів та ентальпій повітря та продуктів згоряння

Теоретичний об'єм повітря, необхідного для повного згоряння 1 газу (при α=1):

$$V_в^o = 0{,}0476 \cdot \left[0{,}5 \cdot CO_2 + 0{,}5 \cdot H_2 + 1{,}5 \cdot H_2S + \Sigma\left(m + \frac{n}{4}\right) \cdot C_mH_n - O_2\right], м^3/м^3$$

$$V_в^o = 0{,}0476 \cdot \left[\left(1 + \frac{4}{4}\right) \cdot 92{,}8 + \left(2 + \frac{6}{4}\right) \cdot 2{,}8 + \left(3 + \frac{8}{4}\right) \cdot 0{,}9 + \left(4 + \frac{10}{4}\right) \cdot 0{,}4 + \left(5 + \frac{12}{4}\right) \cdot 0{,}1\right] = 9{,}68 м^3/м^3.$$

Теоретичний обсяг продуктів згоряння при згорянні 1 м^3 природного газу:

Теоретичний обсяг азоту у продуктах згоряння:

$$V_{N_2}^o = 0{,}79 \cdot V_в^o + \frac{N_2}{100} = 0{,}79 \cdot 9{,}68 + \frac{2{,}5}{100} = 7{,}67 м^3/м^3.$$

Теоретичний обсяг водяної пари в продуктах згоряння:

$$V_{H_2O}^o = 0{,}01 \cdot \left[H_2S + H_2 + \Sigma\frac{n}{2} \cdot C_mH_n + 0{,}124 \cdot d_{г.тл.}\right] + 0{,}0161 \cdot V_в^o, м^3/м^3$$

$$^o \quad V_{H_2O} = 0{,}01 \cdot [2 \cdot 92{,}8 + 3 \cdot 2{,}8 + 4 \cdot 0{,}9 + 5 \cdot 0{,}4 + 6 \cdot 0{,}1 + 0{,}124 \cdot 10] + 0{,}0161 \cdot 9{,}68 = 2{,}17 м^3/м^3.$$

Теоретичний обсяг триатомних газів у продуктах згоряння:

$$V_{RO_2}^o = 0{,}01 \cdot [CO_2 + CO + H_2S + \Sigma m \cdot C_mH_n], м^3/м^3.$$

$$V_{RO_2}^o = 0{,}01 \cdot [0.12 + 92{,}8 + 2 \cdot 2{,}8 + 3 \cdot 0{,}9 + 4 \cdot 0{,}4 + 5 \cdot 0{,}1] = 1{,}04 м^3/м^3.$$

Ентальпія теоретичного обсягу продуктів згоряння:

$$H_г^o = (c\vartheta)_{RO_2} \cdot V_{RO_2}^o + (c\vartheta)_{H_2O} \cdot V_{H_2O}^o + (c\vartheta)_{N_2} \cdot V_{N_2}^o, кДж/м^3.$$

$$H_г^o = 226{,}7 \cdot 1{,}04 + 197{,}2 \cdot 2{,}17 + 169{,}3 \cdot 7{,}67 = 1961{,}56 кДж/м^3.$$

Ентальпія теоретичного об'єму повітря:

$$H_в^o = (c\vartheta)_в \cdot V_в^o = 173{,}2 \cdot 9{,}68 = 1676{,}07 кДж/м^3.$$

Ентальпія продуктів згоряння:

$$H_{п.с.}'' = H_г^o + (\alpha_{п.с.}'' - 1) \cdot H_в^o + H_{зл.} =$$

$$= 1961{,}53 + (1{,}36 - 1) \cdot 1676{,}07 = 2564{,}95 кДж/м^3.$$

де $H_{зл.}$ - ентальпія золи, при спалюванні природного газу не враховується;

$\alpha_{п.с.}''$ - коефіцієнт надлишку повітря в газах, що відходять.

5.2.3. Розрахунок втрат теплоти та ККД котельному агрегаті

Тепловий баланс котельного агрегату встановлює рівність між кількістю теплоти, що надходить в агрегат та її витратою. На основі теплового балансу визначають витрату палива та розраховують коефіцієнт корисної дії (ККД) і ефективність роботи котельного агрегату.

У процесі горіння хімічно пов'язана енергія палива перетворюється на фізичну теплоту продуктів згоряння. Ця теплота використовується для нагрівання води. Втім, через неминучі втрати під час передачі тепла та перетворення енергії, нагріта вода сприймає лише частину теплової енергії. Решта теплоти втрачається і залежить від ефективності процесів горіння палива та передачі тепла теплоносію.

Рівняння теплового балансу для теплового стану агрегату, що встановився:

$$Q_р^р = Q_1 + Q_{втр}, кДж/м^3 \quad (5.2)$$

чи

$$Q_р^р = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6, кДж/м^3 \quad (5.3)$$

де $Q_р^р$ - розміщена теплота, $кДж/м^3$;

Q_1- корисно використана теплота, $кДж/м^3$;

$Q_{втр}$ - сумарні втрати, $кДж/м^3$;

Q_2 - втрати теплоти з газами, які відходять, $кДж/м^3$;

Q_3 - втрати теплоти від хімічного недопалу, $кДж/м^3$;

Q_4 - втрати теплоти від механічної неповноти згоряння, $кДж/м^3$;

Q_5 - втрати теплоти в навколишнє середовище, $кДж/м^3$;

Q_6 - втрати теплоти з фізичною теплотою шлаків $кДж/м^3$.

Ліва прибуткова частина рівняння теплового балансу є сумою наступних величин:

$$Q_р^р = Q_н^р + Q_{в.вн.} + Q_{пар} + Q_{физ.п.}, кДж/м^3 \quad (5.4)$$

де $Q_{в.вн.}$ - теплота, що вноситься в котлоагрегат з повітрям на 1 $м^3$ палива; ця теплота враховується тоді, коли повітря нагрівається поза котельним

агрегатом (наприклад, у парових або електричних калориферах, що встановлюються до повітропідігрівача); якщо повітря нагрівається тільки в повітронагрівачі, то теплота не враховується, так як вона повертається в топку агрегату;

$Q_{пар}$ – теплота, що вноситься з парою для розпилення мазуту (форсункова пара);

$Q_{физ.п.}$ - фізична теплота 1 м^3 палива.

Так як попередній підігрів повітря та палива відсутні і пара для розпилення палива не використовується, то формула набуває вигляду:

$$Q_р^р = Q_н^р + Q_{физ.п.}, кДж/м^3 \quad (5.5)$$

$$Q_р^р = \alpha_т \cdot (c\vartheta)_в \cdot V_в^o = 1{,}1 \cdot 1{,}32 \cdot 30 \cdot 9{,}68 = 421{,}53 кДж/м^3$$

де $c\vartheta$ - ентальпія 1 м^3 повітря, кДж/м^3.

Тоді

$$Q_р^р = 421{,}53 + 36550 = 36971{,}53 \text{ кДж/м}^3$$

Коефіцієнтом корисної дії (ККД) парового котла називають відношення корисної теплоти, яка витрачається на вироблення пари до загальної теплоти, що надходить у котел.

Варто зазначити, що не вся вироблена котельним агрегатом теплота передається споживачам, оскільки частина її витрачається на власні потреби котельні. Враховуючи це, розрізняють два види ККД:

ККД за виробленою теплотою — відношення теплоти, виробленої котлом до теплоти палива;

ККД за відпущеною теплотою — відношення теплоти, відпущеної споживачам до теплоти палива.

Різниця між виробленою та відпущеною теплотою визначає витрати теплоти на власні потреби котельного агрегату.

ККД котла характеризує рівень його технічної досконалості, а ККД – комерційну економічність. ККД котельного агрегату визначається за рівнянням прямого балансу:

$$\eta_{бр} = \frac{Q_{пк}}{Q_р^р \cdot B_{пк}} \cdot 100, \% \quad (5.6)$$

де $Q_{пк}$ - корисна потужність парового котла, кВт;

$B_{пк}$ - витрата палива паровим котлом,

$Q_р^р$ - розміщена теплота, кДж/м^3.

Те саме за рівнянням зворотного балансу:

$$\eta_{бр} = 100\% - (q_2 + q_3 + q_5), \%$$

де q_2, q_3, q_5 - відносні втрати теплоти з газами, що йдуть від хімічної неповноти згоряння палива, від зовнішнього охолодження.

Відносні втрати теплоти з газами, що йдуть визначаються за формулою:

$$q_2 = \frac{(H_{п.с.}'' - \alpha_{п.с.}'' \cdot H_{х.п.}^{o}) \cdot (100 - q_4)}{Q_р^р}, \% \quad (5.7)$$

де $H_{х.п.}^{o}$ – ентальпія холодного повітря:

$$H_{х.п.}^{o} = (c\vartheta)_п \cdot V_п^{o} = 1{,}32 \cdot 30 \cdot 9{,}68 = 383{,}21 \text{ кДж/м}^3$$

q_4 – втрати теплоти від механічної неповноти згоряння (враховується лише при спалюванні твердого та рідкого палива), %

$$q_2 = \frac{(2564{,}95 - 1{,}36 \cdot 383{,}21) \cdot 100}{36971{,}53} = 5{,}53\%$$

Втрати теплоти в довкілля q_5 = 2,1%.

Втрати теплоти від хімічного недопалу q_3 = 0,5%.

ККД котельного агрегату:

$$\eta_{бр} = 100\% - (q_2 + q_3 + q_5) = 100 - (5{,}53 + 0{,}5 + 2{,}1) = 91{,}87\%$$

5.2.4. Розрахунок кількості палива, що спалюється в котельному агрегаті

Загальний розрахунок палива, що подається в топку котельного агрегату:

$$B_{пк} = \frac{Q_{пк}}{Q_р^р \cdot \eta_{бр}} \cdot 100, \text{м}^3/\text{год} \quad (5.8)$$

де $Q_{пк}$ - корисна потужність парового котла:

$$Q_{пк} = D_{н.п} \cdot (h_{н.п} - h_{п.в.}) + 0{,}01 \cdot P \cdot D_{н.п}(h_{к.в.} - h_{п.в.}), \text{кВт}$$

де $D_{нп}$ – паропродуктивність парового котла, кг/с. $D_{нп}$= 6,5 т/год = 1,81 кг/с;

$h_{н.п}$ - ентальпія насиченої пари при тиску в котлі $h_{н.п} = h_{1,4}''$ = 2789кДж/кг;

$h_{п.в.}$ - ентальпія поживної води, $h_{п.в.}$ = h'0,12 = 436;

$h_{к.в.}$ - ентальпія котлової води, $h_{к.в.}$ = h'1,4 = 826;

$$Q_{пк} = 1{,}81 \cdot (2789 - 436) + 0{,}01 \cdot 10 \cdot 1{,}81(826 - 436) = 4318{,}89 \text{ кВт}$$

Таким чином,

$$B_{пк} = \frac{4318{,}89}{36971{,}53 \cdot 91{,}87} \cdot 100 = 0{,}127 м^3/с = 458 м^3/год$$

5.3. Вибір тягодуттьового обладнання

Тягодуттьове обладнання котельні вибираються за продуктивністю і натиском, що створюється. Для вибору цього обладнання необхідно визначити величину аеродинамічного опору газоповітряного тракту котельної установки. Розрахунок проводиться за спрощеною методикою.

5.3.1. Аеродинамічний опір котельної установки

Аеродинамічний опір газоповітряних трактів котельної установки визначається за такою формулою:

$$\Delta h_{к.у.} = \Delta h_{т.} + \Delta h_{к.п.} + \Delta h_{в.е.} + \Delta h_{б.} + \Delta h_{ш.} + \Delta h_{д.тр.} \quad (5.9)$$

де $\Delta h_{т.}$ - аеродинамічний опір топки. Приймаємо $\Delta h_{т.} = 40$Па;

$\Delta h_{к.п.}$ - аеродинамічний опір конвективного пучка. Згідно з таблицею 8.17 [10], для котла ДКВР 6,5-13, $\Delta h_{к.п.} = 170$Па;

$\Delta h_{в.е.}$ - аеродинамічний опір водяного економайзера. Приймаємо $\Delta h_{в.э.}$= 200Па;

$\Delta h_{б.}$ - аеродинамічний опір бору. Приймаємо $\Delta h_{б.} = 20$Па;

$\Delta h_{ш.}$ - аеродинамічний опір шиберів. Встановлено 4 шибери з опором по 20Па, тоді $\Delta h_{ш.} = 4 \cdot 20\text{Па} = 80\text{Па}$;

$\Delta h_{д.тр.}$ - аеродинамічний опір димової труби. Приймаємо $\Delta h_{д.т.} = 200$Па.

Таким чином, аеродинамічний опір котельної установки:

$$\Delta h_{к.у.} = 40 + 170 + 200 + 20 + 4 \cdot 20 + 200 = 710\text{Па}$$

5.3.2. Вибір дуттьового вентилятора

Визначимо розрахункову продуктивність дуттьового вентилятора:

$$Q_п = К_з \cdot B_{пк} \cdot V_п^o \cdot \alpha_т \cdot \frac{t_п + 273}{273}, м^3/с \quad (5.10)$$

де $К_з$ - коефіцієнт запасу. Згідно з додатком З ДБН В.2.5-77:2014 [2], $К_з$=1,05

$В_{пк}$ - витрата палива на котельний агрегат, $м^3/с$;

$V_п^o$ - теоретичний обсяг повітря, необхідного для повного згоряння $1м^3$ природного газу, $м^3/м^3$;

$\alpha_т$ - коефіцієнт надлишку повітря в топці;

$t_п$ - температура повітря, що подається на горіння. Приймаємо $t_в = 30°С$.

$$Q_п = 1{,}05 \cdot 0{,}127 \cdot 9{,}68 \cdot 1{,}05 \cdot \frac{30 + 273}{273} = 1{,}506 м^3/с = 5422 м^3/год$$

Розрахунковий напір вентилятора визначається з урахуванням аеродинамічного опору пальника та повітряного тракту котельної установки:

$$Н_п = К_з \cdot (\Delta h_{г.} + \Delta h_{п.}), Па$$

де $К_з$ - коефіцієнт запасу. Згідно з додатком З ДБН В.2.5-77:2014 [2], $К_з$ = 1,1

$\Delta h_{г.}$ - аеродинамічний опір пальника ГМГ-4м. Відповідно до таблиці 7.52 [10], $\Delta h_{г.} = 1200Па$;

$\Delta h_{п.}$ - аеродинамічний опір повітроводів приймаємо.

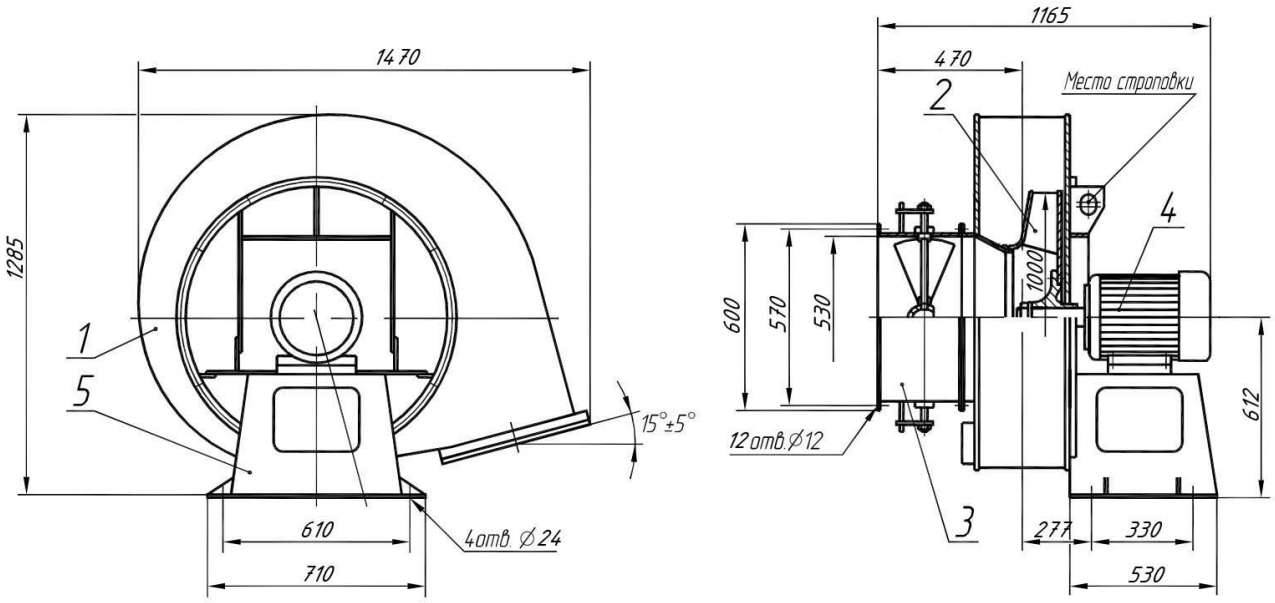
$$Н_п = 1{,}1 \cdot (1200 + 200) = 1540Па$$

Для подачі повітря вибираємо вентилятор дуттьової марки ВДН-8-1500. Технічні характеристики вентилятора наведені у таблиці 5.1. Габаритні розміри вказані рис 5.1.

Таблиця 5.1

Технічні характеристики дуттьового вентилятора ВДН-8-1500

Діаметр робочого колеса	0,8 м
Частота обертання максимальна	1500 об/хв
Типорозмір електродвигуна	АИР160S4
Встановлена потужність електродвигуна	15,0 кВт
Номінальна споживана потужність	7,9 кВт
Продуктивність на всмоктуванні	10460 $м^3$/год
Повний тиск	2330 Па
Температура навколишнього середовища на всмоктуванні	30 °С
Максимальна температура навколишнього середовища на всмоктуванні	200 °С
ККД	83 %
Габаритні розміри	1165х1470х1285мм
Маса	523кг



1-корпус; 2-робоче колесо; 3-осьовий напрямний апарат; 4-електродвигун; 5-постамент.

Рис. 5.1. Габаритні розміри вентилятора ВДН-8-1500

5.3.3. Вибір димососу

Визначимо розрахункову продуктивність димососу:

$$Q_д = К_з \cdot B_{пк} \cdot V_г \cdot \alpha_г \cdot \frac{\Theta_{ух.г.}+273}{273}, м^3/с \quad (5.11)$$

де $К_з$– коефіцієнт запасу. Згідно з додатком 3 СНиП II-35-76 [2], $К_з$ =1,05

$B_{пк}$ - витрата палива на котельний агрегат, $м^3/с$;

$V_г$ – повний об'єм продуктів згоряння, що утворюються при спалюванні 1$м^3$ палива, $м^3/м^3$.

$$V_г = V^o_{RO_2} + V^o_{H_2O} + V^o_{N_2} + (\alpha_т - 1) \cdot V^o_в = 1,04 + 2,17 + 7,67 + (0,15 - 1) \cdot 9,68$$
$$= 11,36\ м^3/м^3$$

де $\alpha_г$ – коефіцієнт надлишку повітря в газах. Приймаємо $\alpha_г = 1,3$;

$\Theta_{ух.г.}$ - температура газів. Приймаємо $\Theta_{ух.г.} = 155°С$.

$$Q_п = 1,05 \cdot 0,127 \cdot 11,36 \cdot 1,3 \cdot \frac{155 + 273}{273} = 3,75 м^3/с = 13500 м^3/год$$

Розрахунковий напір димососу визначається з урахуванням аеродинамічного опору котельної установки:

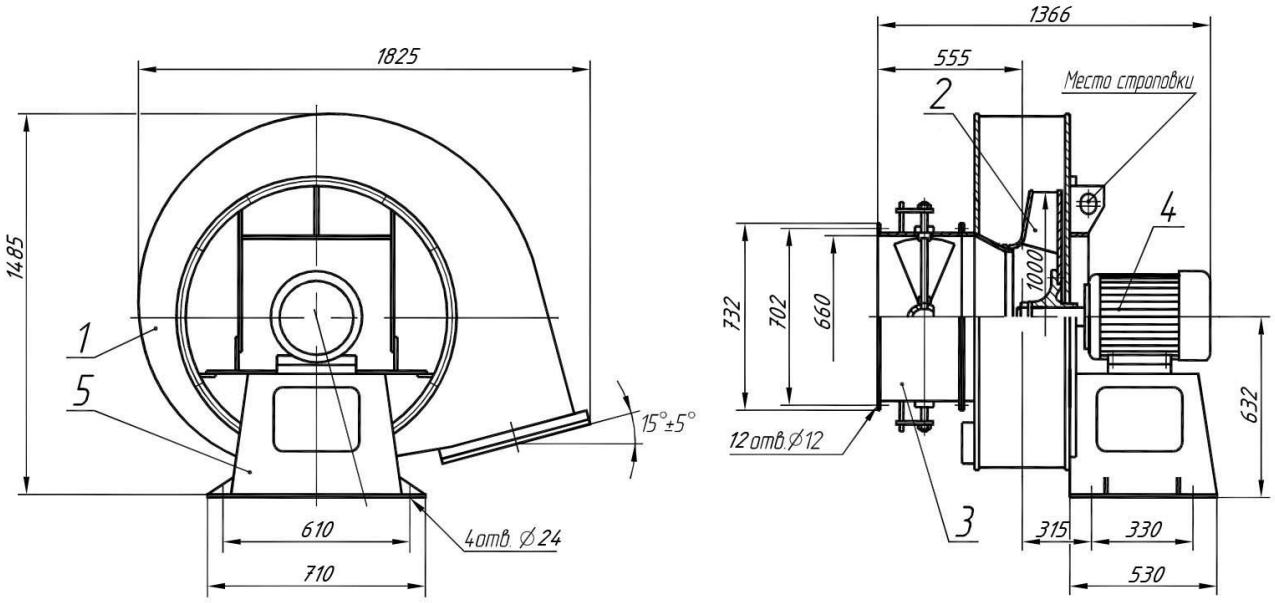
$$Н_п = К_з \cdot \Delta h_{к.у.} = 1,1 \cdot 710 = 781\ Па$$

Для відведення продуктів згоряння вибираємо димосос марки ВДН-10-1000 виробництва бійського котельного заводу. Технічні характеристики димососа наведено у таблиці 5.2. Габаритні розміри вказані на рис 5.2.

Таблиця 5.2

Технічні характеристики дутьового вентилятора ВДН-10-1000

Діаметр робочого колеса	1 м
Частота обертання максимальна	1000 об/хв
Типорозмір електродвигуна	АИР160S6
Встановлена потужність електродвигуна	11,0 кВт
Номінальна споживана потужність	7,1 кВт
Продуктивність на всмоктуванні	13620 $м^3$/год
Повний тиск	1550 Па
Температура навколишнього середовища на всмоктуванні	30 °С
Максимальна температура навколишнього середовища на всмоктуванні	200 °С
ККД	83 %
Габаритні розміри	1288х1825х1485мм
Маса	625кг



1-корпус; 2-робоче колесо; 3-осьовий напрямний апарат; 4-електродвигун; 5-постамент.

Рис. 5.2. Габаритні розміри димососу ВДН-10-1000

РОЗДІЛ 6. РОЗРОБКА ЗАХОДІВ З ОХОРОНИ ПРАЦІ

Вступ

Охорона праці – це система законодавчих актів, соціально – економічних, організаційних, технічних, гігієнічних та лікувально – профілактичних заходів та засобів, які забезпечують безпеку, збереження здоров'я та працездатність людини у процесі праці.

Повністю безпечних та нешкідливих виробництв не існує. Задача охорони праці – звести до мінімуму ймовірність ураження або захворювання робітника з одночасним забезпеченням комфорту при максимальній продуктивності праці. Реальні виробничі умови характеризуються наявністю деяких небезпечних та шкідливих виробничих факторів.

Небезпечним виробничим фактором називається такий виробничий фактор, дія якого на робітника у визначених умовах призводить до травм або до різкого погіршення здоров'я.

Шкідливим виробничим фактором називається такий виробничий фактор, дія якого на виробника у визначених умовах призводить до захворювання або зниження працездатності.

Прикладами небезпечних факторів можуть служити відкриті струмоведучі частини обладнання, деталі машин і механізмів, які рухаються, розжарені тіла, також можливість падіння з висоти самого робітника або деталей та предметів, наявність ємностей з стислими або шкідливими речовинами та інше.

Прикладами шкідливих факторів є шкідливі домішки у повітрі, несприятливі метеорологічні умови, променева теплота, недостатнє освітлення, шум, вібрації, іонізуюче випромінювання, електромагнітні поля, наявність шкідливих мікроорганізмів або комах та інше.

6.1. Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторі у машинному і котельному відділеннях

У машинно-котельних відділеннях діють наступні небезпечні та шкідливі фактори, які розподіляють на наступні групи:

фізичні;

хімічні;

психофізіологічні.

Група фізично-небезпечних та шкідливих факторів розподіляється на наступні підгрупи:

підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони;

підвищена або знижена температура поверхонь обладнання, матеріалу;

підвищена або знижена температура робочої зони;

підвищений рівень шуму на робочому місті;

підвищений рівень вібрації;

підвищена або знижена вологість повітря;

небезпечний рівень напруги в електричній мережі, замикання якої може уразити людину;

відсутність або недостатність природного освітлення;

недостатнє освітлення робочої зони.

Група хімічно-небезпечних та шкідливих факторів розподіляється на наступні підгрупи:

загально-токсичні;

діючі через дихальні шляхи.

Група психофізіологічних факторів включає фізичні перевантаження, які у свою чергу поділяються на статичні, динамічні та гіподинамію.

Одним з шкідливих факторів, що діють на робітника у машинному відділенні, є шум. Газотурбінний двигун є джерелом шуму механічного та аеродинамічного походження. Джерелом механічного шуму є перед усім підшипники кочення та зубчаті передачі. Джерелом аеродинамічного шуму є вихрові процеси у потоці робочого середовища, коливання середовища, викликані

лопаток компресорів, турбін, а також всмоктувальним трактом газотурбінного двигуна.

Шум шкідливо позначається на здоров'ї та працездатності людей. Він утворює значне навантаження на нервову систему людини, визиває загальну втому, може призвести до погіршення слуху, порушується процес травлення їжі, змінюється об'єм внутрішніх органів. Діючи на кору головного мозку, шум викликає роздратування, послаблює зосередження. Патологічні зміни, які з'являються під впливом шуму, розглядаються як шумова хвороба. Рівень шуму регламентується санітарними нормами шуму на блочних електростанціях (ГОСТ 27243-87).

Для зниження шуму застосовують різні методи, з яких найбільш ефективним є зниження шуму у джерелі. Аеродинамічний шум може бути знижений збільшенням зазору між лопатковими вінцями; підбором оптимального співвідношення кількості спрямовуючих та робочих лопаток; покращенням аеродинамічних характеристик проточних частин турбін та компресорів. Для того, щоб послабити шум механічного походження (вібрацію системи роторів, підшипників, елементів редукторів та інше), який є переважаючим у машинному відділені, необхідно застосувати замість прямозубих трибів косозубі та шевронні, а також підвищувати точність обробки та зменшувати шорсткість поверхні трибу, що дає зниження шуму на 5…10 дБ. Необхідно заміняти, коли це можливо, підшипники кочення на підшипники ковзання (зниження шуму на 10…15 дБ) та більш широко застосувати примусове мащення поверхонь.

Наступним засобом боротьби з шумом є плановані заходи. Житлові та службові приміщення необхідно розташувати як можна далі від машинного відділення. Велике значення має акустична обробка приміщень: звукоізоляція, звукопоглинання, екранування. Такі джерела шуму, як всмоктувальний та випускний тракти газотурбінної установки, виводять за межі машинного відділення. У якості індивідуальних засобів захисту використовуються навушники.

Шкідливим фактором, який діє на людину у машинному відділенні є також вібрація. На блочній електростанції при обслуговуванні двигунів робітники

зазнають впливу в основному загальної вібрації з частотою не менше 0,7 Гц. Систематична дія загальної вібрації може бути причиною вібраційної хвороби – стійких порушень фізіологічних функцій організму. Ці порушення проявляються у вигляді головного болю, запамороченням, поганого сну, пониженою працездатністю, поганим самопочуттям, порушенням серцевої діяльності. Головним законодавчим документом, який встановлює гранично допустимі величини вібрації у містах перебування обслуговуючого персоналу на електростанціях є санітарні норми вібрації на блочних електростанціях.

Існує ряд засобів боротьби з вібрацією. Перший – це дія на джерело збудження. Конструкція двигуна повинна забезпечувати безударну взаємодію деталей та плавне обтікання повітряними потоками. Для зниження рівня вібрації редукторів доцільно застосовувати триби з спеціальними видами зачеплень, підвищувати клас обробки та зменшувати шорсткість поверхні трибу. Це знижує рівень вібрації на 3…4 дБ. Причиною низькочастотної вібрації компресорів є неврівноваженість мас, що обертаються. Ліквідація неврівноваженості таких елементів досягається балансуванням.

Для послаблення вібрації суттєве значення має виключення резонансних коливань, тобто відбудова власних частот агрегату та його окремих вузлів і деталей від частот примусової сили.

Широке розповсюдження отримали вібродемпфуючі матеріали – пластмаси, дерево, резина. Добре демпфують коливання мастильні матеріали. Наприклад, масляна ванна значно знижує рівень вібрації зубчастих зачеплень редукторів.

Частіше всього віброгасіння здійснюють шляхом встановлення агрегату на фундаменті з використанням динамічних віброгасників, пружин та резинометалевих амортизаторів. У якості індивідуальних засобів захисту застосовується спеціальне взуття.

Для газотурбінних установок характерне виділення великої кількості теплоти, а також забруднення повітря вихідними газами, парою мастил та палив, які значно погіршують стан повітряного середовища. Для зменшення загазова-

з постійною вартою	3
з періодичним обслуговуванням	2
при наявності у МКВ – постів та пультів управління загальний час перебування у МКВ одного вартового не повинно перевищувати 120 хв за добу	
з обслуговуванням без чергового загальний час перебування за добу не більше 60 хв	1
ізольовані пости управління	3

Таблиця 6.3.

Допустимі рівні звукового тиску на робочих місцях

Робочі місця	Рівні звукового тиску дБ з середньо-геометричною частотою, Гц								Рівень звуку, дБ
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Машинне відділення з постійною вартою	99	92	86	83	80	78	76	74	85

Таблиця 6.4.

Граничні спектри рівней вібрацій по швидкості ГС (L_ϑ) відносно ϑ_0=5·10^{-8} м/с

№ ГС	Середньо-геометричні частоти в октавних смугах, Гц					
	2	4	8	16	32	63
1	115	107	104	102	101	101
2	112	104	101	99	98	98
3	106	98	95	93	92	92

6.2. Розробка технічних заходів захисту від шуму

Основним засобом захисту від джерел повітряного шуму є встановлення на головні двигуни звукоізолюючого кожуха, який локалізує джерело шуму. Газотурбінні двигуни розташовані у звукоізолюючому кожуху зі сталі δ=2мм,

який зсередини вкритий звукоізолюючим матеріалом АТМ МСС δ=50мм і захисною перфорованою сталлю δ=1мм з коефіцієнтом перфорації 30%.

Рівень шуму у машинному відділенні розраховується за формулою, дБ:

$L = L_{и} + \Delta h_{п} - R_{кож}$,

де $L_{и}$ – поправка, яка враховує зміну рівня шуму у залежності від відстані до джерела;

$\Delta h_{п}$ – постійна приміщення; $\Delta h_{п} = 10 \cdot \lg(\frac{1}{4 \cdot \pi \cdot r^2} + \frac{4}{Q}) + 5$; ($r$ – найкоротша відстань від джерела шуму до розрахункової точки у приміщенні, м);

$R_{кож}$ – величина зниження рівня шуму, що забезпечується кожухом.

Таблиця 6.5

Розрахунок рівня шуму, дБ у машинному відділенні

1	f	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
2	$R_{пр}$	22	26	30	34	37	32	36	42
3	τ	1	1	1	1	1	1	1	1
4	$\frac{S_0 \cdot \tau}{S_{кож}} \cdot 10 \cdot R_{пр}$	0,092	0,23	0,58	1,45	2,9	0,917	2,304	9,172
5	$\Delta l = 10 \cdot \lg(1 + [4])$	0,381	0,9	1,983	3,898	5,911	2,83	5,19	10,07
6	$R'_{пр} = R_{пр} \cdot \Delta l$	21,62	25,1	28,02	30,1	31,1	29,2	30,81	31,93
7	$\alpha_{ср\ кож}$	0,1	0,12	0,24	0,32	0,68	0,88	0,88	0,9
8	$\Delta R \cdot \alpha = 10 \cdot \lg \frac{1}{\alpha_{сркож}}$	10	9,208	6,198	4,949	1,975	0,555	0,555	0,458
9	$R_{кож} = R'_{пр} - \Delta R\alpha$	11,62	15,89	21,82	25,15	29,41	28,62	30,26	31,88
10	L	93,39	87,11	83,18	78,85	77,59	74,38	66,75	59,12

Примітка. f – частота звуку, Гц; $R_{пр}$ – приведена звукоізолююча здатність кожуху, яка визначається за ОСТ 5.0231-84; τ – коефіцієнт звукопровідності отворів; $S_0 = 0{,}1$ м^2 – сумарна площа отворів; $S_{кож}$ – загальна площа внутрішньої поверхні кожуху; Δl – величина поправки, що враховує вплив щілин і отворів; $R'_{пр}$ – приведена звукоізолююча здатність конструкції з урахуванням отворів, які є у неї; $\Delta R\alpha$ – поправка.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі розроблено виробничо-опалювальну котельню для ТОВ «Тернопільська меблева фабрика», призначену для забезпечення парою технологічних споживачів підприємства та теплопостачання. Основним видом палива обрано природний газ з нижчою теплотою згоряння 35,2 МДж/м³, резервним — мазут марки М100. Теплоносієм є вода.

Розроблено та розраховано теплову схему котельні, вибрано оптимальну кількість котлів — чотири парові котли типу ДКВР-6,5-13, що працюють на газоподібному паливі з можливістю використання резервного мазуту.

Спроектовано систему водопідготовки, виконано аналіз якості води з річки Рось, підібрано методи обробки вхідної води, зокрема натрій-катіонітні та натрій-хлор-іонітні фільтри, солерозчинник та деаератор.

Розраховано та підібрано допоміжне обладнання: насоси для подачі води (живильні, мережні, підживлювальні, конденсатні), теплообмінники та сепаратор безперервного продування.

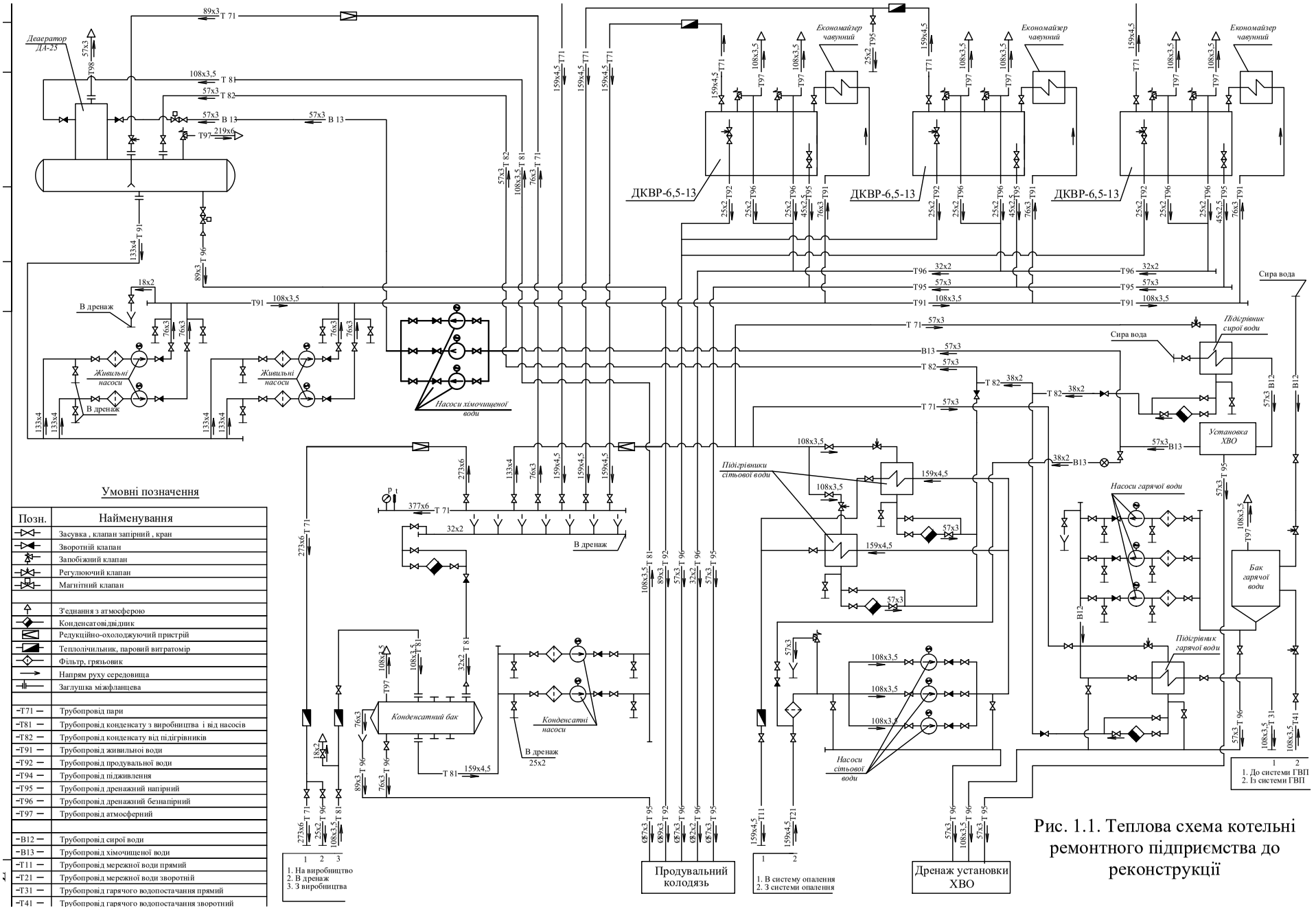
Обрано тягодуттьове обладнання, описано схему подачі повітря і відведення продуктів згоряння, виконано розрахунок об’єму продуктів згоряння, коефіцієнта корисної дії котлоагрегату та аеродинамічного опору котельної установки.

Завдяки застосуванню сепаратора безперервного продування та охолоджувача випару з деаератора досягнуто значного зниження теплових втрат.

Розроблено заходи з охорони праці, що забезпечують безпечну експлуатацію котельні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ 7525:2014 «Вода питна».
2. ДБН В.2.5-64:2012 «Внутрішній водопровід та каналізація».
3. СНиП 3.05.01-85* «Внутрішні санітарно-технічні системи».
4. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 «Будівельна кліматологія».
5. ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування».
6. ДБН В.2.2-15-2005 «Будинки і споруди. Житлові будинки».
7. ДСТУ Б В.2.7-80-98 «Цегла та камені силікатні».
8. ДСТУ ГОСТ 2.104:2006 «Єдина система конструкторської документації. Основні написи».
9. ДСТУ Б А.2.4-41:2009 «Система проєктної документації для будівництва. Опалення, вентиляція і кондиціонування повітря. Робочі креслення».
10. «Курсове і дипломне проєктування з вентиляції громадських і промислових будівель» В. П. Титов, Е. В. Сазонов, Ю. С. Краснов, В. І. Новожилов. Київ, 2022 р.
11. Довідник проектувальника. Внутрішні санітарно-технічні пристрої. Частина І. «Опалення» В. М. Богословський, Б. А. Крупнов, А. М. Сканаві, під редакцією І. Г. Староверова та Ю. І. Шиллєра. Київ, 2000 р.
12. Каталог алюмінієвих радіаторів GLOBAL.
13. Довідник з теплопостачання і вентиляції. Підручник 1-й. Р. В. Щокін, С. М. Кореневський, Г. Е. Беем. Київ, 2022 р.
15. Каталог фірми REHAU «Трубопровідна система RAUTITAN для водопровідної і радіаторного розведення».
16. Каталог балансувальних клапанів Danfoss.
17. Каталог фірми Danfoss «Радіаторні терморегулятори RTD».
18. Каталог фірми Grundfos «Циркуляційні насоси серії 2000».
19. Iermakova, O., Zhuvahina, I., Metelytsia, V., & Dmytryshyn, R. (2024, December). Conceptual principles of ecologically safe development of aquaculture. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1429, No. 1, p. 012004). IOP Publishing.
20. Жувагіна, І. О. (2021). Тенденції інноваційного розвитку соціально-орієнтованої економіки країни.



Умовні позначення

Позн.	Найменування
	Засувка , клапан запірний , кран
	Зворотній клапан
	Запобіжний клапан
	Регулюючий клапан
	Магнітний клапан
	З'єднання з атмосферою
	Конденсатовідвідник
	Редукційно-охолоджуючий пристрій
	Теплолічильник, паровий витратомір
	Фільтр, грязьовик
	Напрям руху середовища
	Заглушка міжфланцева
Т71	Трубопровід пари
Т81	Трубопровід конденсату з виробництва і від насосів
Т82	Трубопровід конденсату від підігрівників
Т91	Трубопровід живильної води
Т92	Трубопровід продувальної води
Т94	Трубопровід підживлення
Т95	Трубопровід дренажний напірний
Т96	Трубопровід дренажний безнапірний
Т97	Трубопровід атмосферний
В12	Трубопровід сирої води
В13	Трубопровід хімочищеної води
Т11	Трубопровід мережної води прямий
Т21	Трубопровід мережної води зворотній
Т31	Трубопровід гарячого водопостачання прямий
Т41	Трубопровід гарячого водопостачання зворотний

Рис. 1.1. Теплова схема котельні ремонтного підприємства до реконструкції