МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Первомайський навчально-науковий інститут

Кафедра «Теплоенергетики та технологій машинобудування»

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»

на тему: Розробка системи теплопостачання двоповерхової лабораторно дослідницької будівлі площею 1200 м^2

Виконав: студент групи 47-ТЕ-22

_____ ***Прокопенко М.Д.***
(підпис)

Керівник роботи:

ст. викладач кафедри ТЕ та ТМ ПННІ НУК
(посада, науковий ступінь, вчене звання)

_____ ***Шостак О.В.***
(підпис)

м. Первомайськ – 2026 р.

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

Кафедра «Теплоенергетики та технологій машинобудування»
Спеціальність 144 «Теплоенергетика»
Освітня програма «Теплоенергетика»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Гарант освітньої програми
_____
(підпис)
«13» 01 2026 р.

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

Студенту ***Прокопенку Михайлу Дмитровичу***
(Прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Розробка системи теплопостачання двоповерхової лабораторно дослідницької будівлі площею 1200 м^2

Керівник роботи ст. викладач кафедри ТЕ та ТМ Шостак О.В.

Затверджено розпорядженням ПННІ НУК № 8 від «12» січня 2026 року

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

3. Вихідні дані по роботі: креслення і характеристика двоповерхової лабораторно-дослідницької будівлі площею 1200 м^2.

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

1. Характеристика об'єкта, для якого розробляється система теплопостачання. 2. Розробка системи водяного опалення. Теплотехнологічний розрахунок огороджень приміщень. Розрахунок теплових втрат і визначення теплового навантаження на систему опалення. Розрахунок питомої теплової характеристики будівлі. Розрахунок нагрівальних приладів. Гідравлічний розрахунок трубопроводів. Обґрунтування вибору способу гарячого водопостачання 3. Розробка котла. Призначення, принцип дії визначення початкових параметрів. Розрахунок котла. 4. Розробка елемента системи теплопостачання. Вибір технологічної схеми обробки води. Розрахунок устаткування установки попередньої обробки води. 5. Розробка заходів з охорони праці.

5. Перелік презентаційних матеріалів

1. План типового поверху, горища та підвалу
2. Аксонометрична схема
3. Котельний агрегат ДЕ-4-14
4. Схема передочистки ХВО
5. Фільтр іонообмінний протиточний

1. Консультанти розділів роботи

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

2. Дата видачі завдання «12» 01 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Номер	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Характеристика об'єкта, для якого розробляється система теплопостачання		
2	Розробка системи водяного опалення		
3	Розробка котла		
4	Розробка елемента системи теплопостачання		
5	Розробка заходів з охорони праці		
6	Графічна частина		

Студент _____ (підпис) ***Прокопенко М.Д.***

Керівник роботи _____ (підпис) ***Шостак О.В.***

АНОТАЦІЯ

В кваліфікаційній роботі розроблена системи теплопостачання двоповерхової лабораторно-дослідницької будівлі площею 1200 м^2.

Приведена характеристика будівлі лабораторно-дослідницької будівлі промислового підприємства. Розроблена двотрубна горизонтальна системи водяного опалення з примусовою циркуляцією. Проведені розрахунки: теплотехнологічний розрахунок огороджень приміщень, розрахунок тепловтрат приміщеннями, розрахунок втрат тепла приміщеннями будівлі за укрупненими показниками, розроблена аксонометрична схема системи водяного опалення, гідравлічний розрахунок трубопроводів, розрахунок тепловтрат трубопроводами без теплоізоляції, розрахунок потреб теплоти на гаряче водопостачання.

Проведений розрахунок котельного агрегату ДЕ-4-14.

Вибрана технологічна схема водопідготовки, проведений розрахунок іонообмінного протиточного воднево-катіонного фільтра зі стисненим шаром.

Розглянуті питання з охорони праці.

Ключові слова: опалення, гаряче водопостачання, котел, водопідготовка, натрій–катіонітовий фільтр.

ABSTRACT

In the qualification work, a heat supply system for a two-story laboratory and research building with an area of 1200 m2 is developed.

The characteristics of the laboratory and research building of an industrial enterprise are given. A two-pipe horizontal water heating system with forced circulation is developed. Calculations are made: heat-technological calculation of enclosures of premises, calculation of heat losses by premises, calculation of heat losses by premises of the building by enlarged indicators, an axonometric diagram of a water heating system is developed, hydraulic calculation of pipelines, calculation of heat losses by pipelines without thermal insulation, calculation of heat needs for hot water supply.

Calculation of the DE-4-14 boiler unit is carried out.

A technological scheme of water treatment is selected, calculation of an ion-exchange countercurrent hydrogen-cation filter with a compressed layer is carried out.

Issues of labor protection are considered.

Keywords: heating, hot water supply, boiler, water treatment, sodium cation exchange filter.

ЗМІСТ

ВСТУП ……. 8
РОЗДІЛ 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА, ДЛЯ ЯКОГО РОЗРОБЛЯЄТЬСЯ СИСТЕМА ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ. ……. 11
1.1. Характеристика лабораторно-дослідницької будівлі …… 11
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА СИСТЕМИ ВОДЯНОГО ОПАЛЕННЯ……... 13
2.1. Теплотехнологічний розрахунок огороджень приміщень лабораторно-дослідницької будівлі ……..... 13
2.1.1. Теплотехнічний розрахунок зовнішніх стін……. 13
2.1.2. Теплотехнічний розрахунок горищного перекриття …….. 15
2.1.3. Теплотехнічний розрахунок підвального перекриття..……... 17
2.1.4. Теплотехнічний розрахунок вікон……. 19
2.2. Розрахунок теплових втрат і визначення теплового навантаження на систему опалення……..... 25
2.3. Розрахунок питомої теплової характеристики будівлі……..…….. 26
2.4. Розрахунок нагрівальних приладів……..…… 27
2.5. Гідравлічний розрахунок трубопроводів…….. 30
2.6. Обґрунтування вибору способу гарячого водопостачання 33
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА КОТЛА……. 48
3.1. Призначення, принцип дії визначення початкових параметрів…….. 48
3.2. Вибір і опис прийнятих до установлення хвостових поверхонь нагріву …… 54
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА ЕЛЕМЕНТА СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ 58
4.1. Вибір технологічної схеми обробки води.……..…….. 58
4.2. Розрахунок устаткування установки попередньої обробки води…….. 66
4.2.1. Розрахунок установки попередньої обробки води…… 66
4.2.2. Розрахунок натрій – катіонітових фільтрів…… 73
4.2.3. Склад реагентів …… 76

РОЗДІЛ 5. РОЗРОБКА ЗАХОДІВ З ОХОРОНИ ПРАЦІ……..……. 78
5.1. Охорона праці та організація безпечної експлуатації теплового господарства…… 78
ВИСНОВКИ……..…….…….. 81
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ…….……. 82

ВСТУП

В останні десятиліття світ зіткнувся з подвійним викликом: стрімким виснаженням традиційних викопних ресурсів та критичним забрудненням навколишнього середовища. Глобальні кліматичні зміни та необхідність декарбонізації економіки змушують шукати альтернативні, поновлювані джерела енергії. Особливу увагу привертає утилізація величезних мас органічних відходів сільського господарства, промисловості та житлово-комунального сектору, які раніше вважалися лише тягарем для екосистеми.

Забезпечення оптимального теплового комфорту в приміщеннях житлових, адміністративних і громадських будинків - основне завдання інженерних систем життєзабезпечення, невід'ємною частиною яких є система опалення.

Промислові споруди вимагають значного споживання тепла. В житлових і громадських будівлях теплова енергія витрачається на комунально-побутові потреби та на забезпечення комфортних умов перебування людей в приміщеннях, що відповідають сучасному рівню техніки теплопостачання. В промислових спорудах теплова енергія потрібна ще й для виготовлення різних видів продукції відповідно технології.

Збільшення споживання тепла в містах з року в рік пояснюється збільшенням кількості житлових та громадських будівель, що вводяться в експлуатацію, а також зі збільшенням втрат тепла при передачі та поганій ізоляції опалювальних приміщень. В свою чергу ці будівлі характеризуються збільшенням норми корисної площі і норми витрати гарячої води на одну людину. Впровадження нових технологій і будівництво споруд з більш довершеними об’ємно-планувальними рішеннями, які максимально відповідають функціонально-технологічному призначенню, також вимагають збільшення споживання тепла.

Всі споживачі тепла умовно об`єднуються в дві групи: комунально-побутові і технологічні. До комунально-побутових відносяться споживачі теплової енергії в цілях опалення і вентиляції, а також для підігріву води.

У відповідності з призначенням кожна система, що є споживачем тепла, має свій режим роботи. Цей режим роботи визначається витратою тепла на протязі заданого проміжку часу, наприклад, однієї години, робочої зміни, доби, місяця, опалювального сезону або року.

Для задоволення теплових потреб передбачаються відповідне інженерне обладнання, що забезпечується теплом від теплових мереж: системи опалення, вентиляції, кондиціювання повітря, гарячого водозабезпечення, а також теплотехнічне обладнання для технологічних цілей. Кожен пристрій має власне призначення і задовольняє, як правило, один з видів теплоспоживання. На сучасному етапі наукові дослідження зосереджені на вдосконаленні технологій, що дозволяють зменшити габарити споруд та інтенсифікувати вихід газу, роблячи ці системи доступнішими для широкого впровадження.

Мета роботи Розробка системи теплопостачання двоповерхової лабораторно дослідницької будівлі площею 1200 м^2.

Завдання роботи: розробка високоефективної та працездатної системи водяного опалення, визначення типу опалювальних приладів, побудова аксонометричної схеми опалення лабораторно-дослідницької будівлі промислового підприємства.

Виконати:

– розрахунки фактичного опору тепловіддачі огороджень приміщень (стін, підвального перекриття, горищного перекриття) корпусу;

– розрахунки коефіцієнтів теплопередачі вікон для 1-го і 2-го поверхів;

– розрахунки сумарних теплових втрат;

– розрахунки сумарних гідравлічних втрат;

– розробка котла.

Вибрати технологічну схему обробки води та провести розрахунки устаткування установки попередньої обробки води.

Об’єкт розробки: двоповерхова лабораторно-дослідницька будівля промислового підприємства, яке знаходиться в місті Первомайськ Миколаївської області. Загальна площа будівлі складає 1200 м^2 .

Предмет розробки: система водяного опалення - двотрубна горизонтальна система з примусовою циркуляцією; джерело теплоти - розрахунок та розробка котельного агрегату (зокрема моделі ДЕ-4-14); елементи системи постачання: розробка теплового пункту та системи гарячого водопостачання; система водопідготовки - вибір технологічної схеми обробки води та розрахунок фільтрів.

Методи розробки:

Аналітичні методи розрахунку теплових навантажень (для визначення тепловтрат приміщень через огороджувальні конструкції та розрахунку потреб у теплі для ГВП).

Розрахункові методи вибору системи теплопостачання (для обґрунтування типу системи опалення, вибору опалювальних приладів та розрахунку потужності котельного обладнання).

Гідравлічні розрахунки: методи розрахунку сумарних гідравлічних втрат у трубопроводах системи.

Елементи інженерного проєктування: включають побудову аксонометричних схем системи опалення, розробку планів поверхів, теплотехнічне проєктування конструктивних вузлів та розробку заходів з охорони праці.

РОЗДІЛ 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА, ДЛЯ ЯКОГО РОЗРОБЛЯЄТЬСЯ СИСТЕМА ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

1.1. Характеристика дослідницького корпусу промислового підприємства

Об'єктом для розробки системи теплопостачання обрана двоповерхова лабораторно-дослідницька будівля промислового підприємства. Підприємство знаходиться в місті Первомайськ Миколаївської області. Загальна площа будівлі складає 1,2 тис. м^2.

Згідно ДСН 3.3.6.042-99 «Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» нормальний температурний режим для людського організму забезпечується підтриманням в приміщеннях температури повітря +18ºС. За підтримку температурного режиму відповідає місцева система водяного опалення. Джерелом теплопостачання є котельня.

Водопостачання будівлі передбачається від зовнішніх мереж водопостачання. Підігрівання води на гаряче водопостачання відбувається в електричних бойлерах.

Вибір оптимальних параметрів для систем опалення відповідає рекомендаціям ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування: у робочий час приймаємо температуру повітря у приміщенні +18°С; температура зовнішнього повітря приймається -19°С згідно з ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 «Будівельна кліматологія» як третя температурна зона України для міста Первомайськ Миколаївської обл.

Теплоносій – гаряча вода з розрахунковими параметрами T_1 = 95ºС, T_2=70ºС.

Згідно ДБН В 2.5-67:2013 обрана водяна система опалення - двотрубна горизонтальна з примусовою циркуляцією. На 1-му поверсі за верхньою розводкою подаючого трубопроводу, на 2-му поверсі з нижньою.

Опалювальними приладами 1-го поверху лабораторно-дослідницької будівлі є регістри з гладких труб, а на 2-му поверсі встановлено радіатори чавунні секційні МС-140-180.

План-схема лабораторно-дослідницької будівлі представлена в графічної частині.

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА СИСТЕМИ ВОДЯНОГО ОПАЛЕННЯ

2.1. Теплотехнічний розрахунок огороджень приміщень лабораторно дослідницької будівлі

2.1.1. Теплотехнічний розрахунок зовнішніх стін

Наведені опори теплопередачі R_0, (м^2·°С)/Вт, огороджень приміщень варто приймати не менше нормованих значень R_{req}, (м^2·°С)/Вт, взятих з таблиць ДСТУ Б EN 15251:2011, залежно від інтегральної характеристики опалювального періоду, $R_0 \geq R_{req}$.

1. Інтегральна характеристика опалювального періоду D_d розраховується за формулою:

$$D_d = (t_{int} - t_{ht}) \cdot z_{ht} = \big(18 — (-3{,}1)\big) \cdot 181 = 4515{,}4\ °C \cdot доб. \quad (2.1)$$

2. По таблиці [3] знаходимо значення коефіцієнтів $a = 0{,}0003$, $b = 1{,}2$, отже:

$$R_{req} = a \cdot D_d + b; \quad (2.2)$$

$$R_{req} = 0{,}0003 \cdot 4515{,}4 + 1{,}2 = 2{,}56\ {}^{(м^2 \cdot °C)}/_{Вт}.$$

3. Фактичний опір теплопередачі всіх конструктивних шарів стіни (без теплоізоляційного), опір теплопередачі на зовнішню і внутрішню поверхню:

$$R_{зовн\ з/б} = \frac{\delta_{зов}}{\lambda_{зов}} = \frac{0{,}08}{2{,}04} = 0{,}039\ {}^{(м^2 \cdot °C)}/_{Вт}; \quad (2.3)$$

$$R_{внутр.слой\ з/б} = \frac{\delta_{вн}}{\lambda_{вн}} = \frac{0{,}15}{2{,}04} = 0{,}074\ {}^{(м^2 \cdot °C)}/_{Вт};$$

$$R_{штук.вн} = \frac{\delta_{шт}}{\lambda_{шт}} = \frac{0{,}015}{0{,}93} = 0{,}016\ {}^{(м^2 \cdot °C)}/_{Вт};$$

$$R_{int} = \frac{1}{\alpha_{int}} = \frac{1}{8{,}7} = 0{,}115\ {}^{(м^2 \cdot °C)}/_{Вт}; \quad (2.4)$$

$$R_{ext} = \frac{1}{\alpha_{ext}} = \frac{1}{23} = 0{,}043\ {}^{(м^2 \cdot °C)}/_{Вт}.$$

Загальний опір теплопередачі всіх конструктивних шарів стіни (без теплоізоляційного):

$$R_0^* = 0{,}039 + 0{,}074 + 0{,}016 + 0{,}115 + 0{,}043 = 0{,}287 \ {}^{(м^2 \cdot °C)}/_{Вт}.$$

4. Необхідний опір теплопередачі теплоізоляційного шару:

$$R_{т.и}^{req} = R_{req} - R_0^* = 2{,}56 - 0{,}287 = 2{,}273 \ {}^{(м^2 \cdot °C)}/_{Вт}.$$

5. Необхідна товщина теплоізоляційного шару:

$$R = \frac{\delta}{\lambda} \rightarrow \tag{2.5}$$

$$\rightarrow \delta_{т.и}^{req} = R_{т.и}^{req} \cdot \lambda_{т.и} = 2{,}273 \cdot 0{,}059 = 0{,}134 \ м = 134 \ мм.$$

6. У якості проєктного приймаємо найближче-більше стандартне значення товщини плити теплоізоляційного матеріалу:

$$\delta_{т.и}^{des} = 140 \ мм = 0{,}14 \ м,$$

тоді фактичний опір теплопередачі теплоізоляційного шару складе:

$$R_{т.и}^{des} = \frac{\delta_{т.и}^{des}}{\lambda_{т.и}} = \frac{0{,}14}{0{,}059} = 2{,}373 \ {}^{(м^2 \cdot °C)}/_{Вт}.$$

7. Фактичне значення повного опору теплопередачі стіни:

$$R_0^{des} = R_{т.и}^{des} + R_0^* = 2{,}373 + 0{,}287 = 2{,}660 > R_{req} = 2{,}560 \ {}^{(м^2 \cdot °C)}/_{Вт}$$

8. Перевіримо виконання санітарно-гігієнічних вимог по припустимому температурному перепаду Δt_n, °C, між внутрішнім повітрям і внутрішньою поверхнею стіни при обраному фактичному значенні наведеного опору теплопередачі стіни $R_0^{des} = 2{,}66 \ {}^{(м^2 \cdot °C)}/_{Вт}$ Нормативне значення $\Delta t_n = 4{,}5$ °C, [7]. Формула для розрахунку дійсних значень перепаду температури на поверхнях конструкцій, що обгороджують, має вигляд:

$$\Delta t_0 = \frac{(t_{int} - t_{ext}) \cdot n}{R_0^{des} \cdot \alpha_{int}}; \tag{2.6}$$

$$\Delta t_0 = \frac{(18 - (-28)) \cdot 1}{2{,}66 \cdot 8{,}7} = 1{,}99 \leq \Delta t_n = 4{,}5 \ °C,$$

отже вимоги виконуються.

9. Фактичне значення коефіцієнта теплопередачі стіни:

$$K_{стіни} = \frac{1}{R_0^{des}} = \frac{1}{2{,}66} = 0{,}376 \ \frac{Вт}{(м^2 \cdot °C)}. \tag{2.7}$$

10. Фактична товщина стіни:

$$\delta_{стіни} = 0{,}08 + 0{,}15 + 0{,}015 + 0{,}14 = 0{,}385\ м.$$

2.1.2. Теплотехнічний розрахунок горищного перекриття

Наведені опори теплопередачі R_0, $^{(м^2 \cdot °C)}/_{Вт}$, огороджень приміщень варто приймати не менш нормованих значень R_{req}, $^{(м^2 \cdot °C)}/_{Вт}$, [3], залежно від інтегральної характеристики опалювального періоду, $R_0 \geq R_{req}$.

1. Інтегральна характеристика опалювального періоду D_d розраховується за формулою:

$$D_d = (t_{int} - t_{ht}) \cdot z_{ht} = \big(18—(-3{,}1)\big) \cdot 181 = 4515{,}4\ °C \cdot доб.$$

2. За [5], знаходимо значення коефіцієнтів $a = 0{,}00035,\ b = 1{,}3$:

$$R_{req} = a \cdot D_d + b;$$

$$R_{req} = 0{,}00035 \cdot 4515{,}4 + 1{,}3 = 2{,}88\ ^{(м^2 \cdot °C)}/_{Вт}.$$

3. Фактичний опір теплопередачі всіх конструктивних шарів перекриття (без теплоізоляційного), опір теплопередачі на зовнішню і внутрішню поверхню:

$$R_{цемент.ст} = \frac{\delta_{цемент.ст}}{\lambda_{цемент.ст}} = \frac{0{,}05}{0{,}93} = 0{,}054\ ^{(м^2 \cdot °C)}/_{Вт};$$

$$R_{з/б\ панель} = 0{,}14\ ^{(м^2 \cdot °C)}/_{Вт};$$

$$R_{int} = \frac{1}{\alpha_{int}} = \frac{1}{8{,}7} = 0{,}115\ ^{(м^2 \cdot °C)}/_{Вт};$$

$$R_{ext} = \frac{1}{\alpha_{ext}} = \frac{1}{23} = 0{,}043\ ^{(м^2 \cdot °C)}/_{Вт}.$$

Загальний опір теплопередачі всіх конструктивних шарів перекриття (без теплоізоляційного):

$$R_0^* = 0{,}054 + 0{,}14 + 0{,}115 + 0{,}043 = 0{,}352\ ^{(м^2 \cdot °C)}/_{Вт}.$$

4. Необхідний опір теплопередачі теплоізоляційного шару:

$$R_{т.и}^{req} = R_{req} - R_0^* = 2{,}88 - 0{,}352 = 2{,}528\ {}^{(м^2 \cdot °C)}/_{Вт}.$$

5. Необхідна товщина теплоізоляційного шару:

$$R = \frac{\delta}{\lambda} \rightarrow$$

$$\delta_{т.и}^{req} = R_{т.и}^{req} \cdot \lambda_{т.и} = 2{,}528 \cdot 0{,}042 = 0{,}106\ м = 106\ мм.$$

6. У якості проектного приймаємо найближче більш стандартне значення товщини плити теплоізоляційного матеріалу:

$$\delta_{т.и}^{des} = 110\ мм = 0{,}11\ м,$$

тоді фактичний опір теплопередачі теплоізоляційного шару складе:

$$R_{т.и}^{des} = \frac{\delta_{т.и}^{des}}{\lambda_{т.и}} = \frac{0{,}11}{0{,}042} = 2{,}619\ {}^{(м^2 \cdot °C)}/_{Вт}$$

7. Фактичне (проектне) значення повного опору теплопередачі перекриття:

$$R_0^{des} = R_{т.и}^{des} + R_0^* = 2{,}619 + 0{,}352 = 2{,}971 > R_{req} = 2{,}880\ {}^{(м^2 \cdot °C)}/_{Вт}$$

8. Перевіримо виконання санітарно-гігієнічних вимог по припустимому температурному перепаді $\Delta t_n, °C$, між внутрішнім повітрям і внутрішньою поверхнею стіни при обраному фактичному значенні наведеного опору теплопередачі стіни

$$R_0^{des} = 2{,}971\ {}^{(м^2 \cdot °C)}/_{Вт}$$

Нормативне значення $\Delta t_n = 4\ °C$, [3]. Формула для розрахунку дійсних значень перепаду температури на поверхнях огороджувальних конструкцій має вигляд:

$$\Delta t_0 = \frac{(t_{int} - t_{ext}) \cdot n}{R_0^{des} \cdot \alpha_{int}};$$

$$\Delta t_0 = \frac{(18 - (-28)) \cdot 0{,}9}{2{,}971 \cdot 8{,}7} = 1{,}60 \leq \Delta t_n = 4\ °C,$$

отже вимоги виконуються.

9. Фактичне значення коефіцієнта теплопередачі перекриття:

$$K_{чердлер} = \frac{1}{R_0^{des}} = \frac{1}{2{,}971} = 0{,}337\ \frac{Вт}{(м^2 \cdot °C)}.$$

10. Фактична товщина перекриття:

$$\delta_{чердлер} = 0{,}05 + 0{,}15 + 0{,}11 = 0{,}31\ м.$$

2.1.3. Теплотехнічний розрахунок підвального перекриття

Наведені опори теплопередачі R_0, $^{(м^2 \cdot °C)}/_{Вт}$, огороджень приміщень варто приймати не менше нормованих значень R_{req}, $^{(м^2 \cdot °C)}/_{Вт}$, [7], залежно від інтегральної характеристики опалювального періоду, $R_0 \geq R_{req}$.

1. Інтегральна характеристика опалювального періоду D_d розраховується за формулою:

$$D_d = (t_{int} - t_{ht}) \cdot z_{ht} = \big(18 - (-3{,}1)\big) \cdot 181 = 4515{,}4\ °C \cdot доб.$$

2. По [7], знаходимо значення коефіцієнтів $a = 0{,}00035,\ b = 1{,}3$:

$$R_{req} = a \cdot D_d + b;$$

$$R_{req} = 0{,}00035 \cdot 4515{,}4 + 1{,}3 = 2{,}88\ {}^{(м^2 \cdot °C)}/_{Вт}.$$

3. Фактичний опір теплопередачі всіх конструктивних слоїв перекриття (без теплоізоляційного), опір теплопередачі на зовнішню і внутрішню поверхню:

$$R_{линол} = \frac{\delta_{линол}}{\lambda_{линол}} = \frac{0{,}003}{0{,}38} = 0{,}0079\ {}^{(м^2 \cdot °C)}/_{Вт};$$

$$R_{цемент.ст} = \frac{\delta_{цемент.ст}}{\lambda_{цемент.ст}} = \frac{0{,}05}{0{,}93} = 0{,}054\ {}^{(м^2 \cdot °C)}/_{Вт};$$

$$R_{пенобетон} = \frac{\delta_{пенобетон}}{\lambda_{пенобетон}} = \frac{0{,}1}{0{,}26} = 0{,}385\ {}^{(м^2 \cdot °C)}/_{Вт};$$

$$R_{з/б\ панель} = 0{,}14\ {}^{(м^2 \cdot °C)}/_{Вт};$$

$$R_{зах.слой} = \frac{\delta_{зах.слой}}{\lambda_{зах.слой}} = \frac{0{,}003}{0{,}17} = 0{,}0176\ {}^{(м^2 \cdot °C)}/_{Вт};$$

$$R_{int} = \frac{1}{\alpha_{int}} = \frac{1}{8{,}7} = 0{,}115\ {}^{(м^2 \cdot °C)}/_{Вт};$$

$$R_{ext} = \frac{1}{\alpha_{ext}} = \frac{1}{23} = 0{,}043\ {}^{(м^2 \cdot °C)}/_{Вт}.$$

Загальний опір теплопередачі всіх конструктивних шарів перекриття (без теплоізоляційного):

$$R_0^* = 0{,}0079 + 0{,}054 + 0{,}385 + 0{,}14 + 0{,}0176 + 0{,}115 + 0{,}043;$$

$$R_0^* = 0{,}7625 \ {}^{(м^2 \cdot °C)}/_{Вт}.$$

4. Необхідний опір теплопередачі теплоізоляційного шару:

$$R_{т.и}^{req} = R_{req} - R_0^* = 2{,}88 - 0{,}7625 = 2{,}118 \ {}^{(м^2 \cdot °C)}/_{Вт}.$$

5. Необхідна товщина теплоізоляційного шару:

$R = \frac{\delta}{\lambda} \rightarrow$

$$\delta_{т.и}^{req} = R_{т.и}^{req} \cdot \lambda_{т.и} = 2{,}118 \cdot 0{,}042 = 0{,}089 \ м = 89 \ мм.$$

6. В якості проєктного приймаємо найближче стандартне значення товщини плити теплоізоляційного матеріалу:

$$\delta_{т.и}^{des} = 90 \ мм = 0{,}09 \ м,$$

тоді фактичний опір теплопередачі теплоізоляційного шару складе:

$$R_{т.и}^{des} = \frac{\delta_{т.и}^{des}}{\lambda_{т.и}} = \frac{0{,}09}{0{,}042} = 2{,}143 \ {}^{(м^2 \cdot °C)}/_{Вт}.$$

7. Фактичне значення повного опору теплопередачі перекриття:

$$R_0^{des} = R_{т.и}^{des} + R_0^* = 2{,}143 + 0{,}7625 = 2{,}91 > R_{req} = 2{,}88 \ {}^{(м^2 \cdot °C)}/_{Вт}$$

8. Перевіримо виконання санітарно-гігієнічних вимог по припустимому температурному перепаді Δt_n, °C, між внутрішнім повітрям і внутрішньою поверхнею перекриття при обраному фактичному значенні наведеного опору теплопередачі перекриття $R_0^{des} = 2{,}91 \ {}^{(м^2 \cdot °C)}/_{Вт}$. Нормативне значення $\Delta t_n = 2{,}5$ °C, [7]. Формула для розрахунку дійсних значень перепаду температури на поверхнях конструкцій, що обгороджують, має вигляд:

$$\Delta t_0 = \frac{(t_{int} - t_{ext}) \cdot n}{R_0^{des} \cdot \alpha_{int}};$$

$$\Delta t_0 = \frac{(18-(-28)) \cdot 0{,}75}{2{,}91 \cdot 8{,}7} = 1{,}36 \leq \Delta t_n = 2{,}5 \ °C,$$

отже вимоги виконуються.

9. Фактичне значення коефіцієнта теплопередачі перекриття:

$$K_{подвлер} = \frac{1}{R_0^{des}} = \frac{1}{2{,}91} = 0{,}344\ \frac{Вт}{(м^2 \cdot °C)}.$$

10. Фактична товщина перекриття:

$$\delta_{подвлер} = 0{,}003 + 0{,}05 + 0{,}1 + 0{,}15 + 0{,}09 + 0{,}003 = 0{,}396\ м.$$

2.1.4. Теплотехнічний розрахунок вікон

Підберемо тип вікон для двоповерхової лабораторно-дослідницької будівлі висотою $H = 7{,}5\ м$ у кліматичних умовах міста Первомайськ Миколаївської області.

1. Відповідно [7] для подібних будівель установлені наступні значення необхідного опору теплопередачі вікон залежності від градус доби опалювального періоду:

$$при\ D_d = 4000\ °C \cdot доб \rightarrow R_{req} = 0{,}4\ {}^{(м^2 \cdot °C)}/_{Вт};$$

$$при\ D_d = 6000\ °C \cdot доб \rightarrow R_{req} = 0{,}5\ {}^{(м^2 \cdot °C)}/_{Вт}.$$

і коефіцієнти $a = 0{,}00005;\ b = 0{,}2$ для розрахунку проміжних значень R_{req} за формулою:

$$R_{req} = a \cdot D_d + b.$$

Розрахункове значення градус добу $D_d = 4515{,}4\ °C \cdot доб$. Отже необхідне значення опору теплопередачі вікон у заданих умовах:

$$R_{req} = 0{,}00005 \cdot 4515{,}4 + 0{,}2 = 0{,}426\ {}^{(м^2 \cdot °C)}/_{Вт}.$$

2. Вибираємо подвійне засклення в роздільних дерев'яних плетіннях з фактичним значенням наведеного опором теплопередачі $R_{ок}^{des} = 0{,}44\ {}^{(м^2 \cdot °C)}/_{Вт}$, більшим необхідного. Цей тип засклення і приймаємо до установки. Значення $R_{ок}^{des} = 0{,}44\ {}^{(м^2 \cdot °C)}/_{Вт}$ будемо використати в подальших розрахунках при визначенні тепловтрат через вікна.

3. Розрахунковий коефіцієнт теплопередачі вікон:

$$K_{ок} = \frac{1}{R_{ок}^{des}} = \frac{1}{0,44} = 2,273 \ \frac{Вт}{(м^2 \cdot °C)}.$$

4. Питома величина основних (трансмісійних) тепловтрат через вікна:

$$q_{ok} = K_{ok}(t_{int} - t_{ext}) \cdot n = 2,273 \cdot (18 - (-19)) \cdot 1 = 104,56 \ \frac{Вт}{м^2}. \quad (2.8)$$

2. Розрахуємо необхідний і фактичний експлуатаційний режими повітропроникності заповнення віконного прорізу при використанні подвійного засклення в роздільних плетіннях для розглянутої будівлі висотою 7, 5 м при тих же вихідних даних і швидкості вітру 4,9 м/с.

1. Щільності внутрішнього й зовнішнього повітря розрахуємо за формулами:

$$\rho = \frac{353}{t+273}; \quad (2.9)$$

$$\rho_{int} = \frac{353}{18 + 273} = 1,213 \frac{кг}{м^3};$$

$$\rho_{ext} = \frac{353}{-19 + 273} = 1,441 \frac{кг}{м^3}.$$

3. Середнє за завданням значення різниці тисків на зовнішній і внутрішній поверхнях огороджень, Па, визначимо за формулою:

$$\Delta p = 0,55 \ g \cdot H \cdot (\rho_{ext} - \rho_{int}) + 0,3 \cdot v^2 \cdot \rho_{ext}; \quad (2.10)$$

$$\Delta p = 0,55 \ 9,81 \ 7,5 \cdot (1,441 - 1,213) + 0,3 \cdot 4,9^2 \cdot 1,441;$$

$$\Delta p = 19,61 \ Па,$$

де g – прискорення вільного падіння, рівне 9,81 м/с^2;

H - висота будівлі від поверхні землі до карниза, м;

ρ_{ext}, ρ_{int} – щільності внутрішнього й зовнішнього повітря, кг/м^3;

v - розрахункова швидкість вітру.

3. Нормативна повітропроникність вікон суспільних будинків [7]: $G_n = 6,0 \frac{кг}{м^2} \cdot г.$

4. Необхідний опір повітропроникненню вікон визначимо за формулою:

$$R_{inf}^{req} = \frac{1}{G_n} \cdot \left(\frac{\Delta p}{\Delta p_0}\right)^{2/3}; \quad (2.11)$$

$$R_{inf}^{req} = \frac{1}{6} \cdot \left(\frac{19{,}61}{10}\right)^{2/3} = 0{,}261 \ \frac{м^2 \cdot г \cdot Па}{кг},$$

де Δp_0 – стандартний перепад тисків, при якому виробляються випробування вікон на повітропроникність, рівний 10 Па.

Відповідно [7] віконні блоки в житлових і суспільних будинках варто вибирати відповідно до класифікації повітропроникності отворів.

Нормативні криві, що визначають границі класів віконних блоків по об'ємній повітропроникності $Q_1, м^3/(г \cdot м^2)$, в залежності від перепаду тиску Δp, Па, показані на графіку (рис. 2.1).

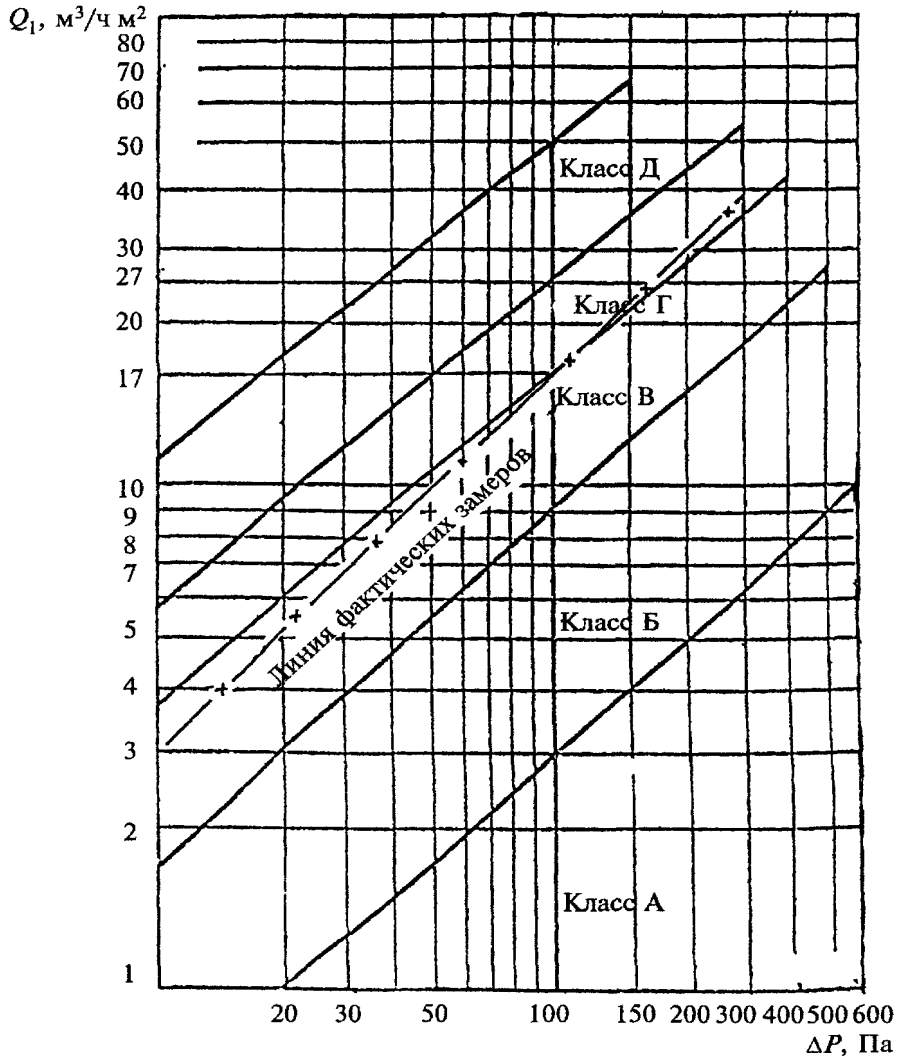


Рис. 2.1. Границі класів вікон по повітропроникності

На цей графік як приклад нанесені точки фактичної повітропроникності віконних блоків з подвійним заскленням у дерев'яних роздільних плетіннях і

подвійному ущільненні притворів, отримані в результаті сертифікаційних випробувань.

Відповідно до сертифіката, повітропроникність даних віконних блоків при $\Delta p = 10\ Па$, становить:

об'ємна $Q_1 = 4{,}22\ {}^{м^3}/_{с \cdot м^2}$;

масова $G_y = 4{,}22 \cdot 1{,}2 = 5{,}06\ {}^{кг}/_{(с \cdot м^2)}$;

показник режиму фільтрації $n = 0{,}64$.

Із графіка (рис. 2.1) видно, що при $\Delta p = 19{,}61\ Па$, випробуваний віконний блок по повітропроникності відповідає класу Г, і отже може використатися в житлових, загальних і адміністративних двоповерхових будівлях.

1. Фактичний опір повітропроникненню при використанні даного типу віконних блоків у даному будинку визначимо за формулою:

$$R_{inf}^{des} = \frac{1}{G_n} \cdot \left(\frac{\Delta p}{\Delta p_0}\right)^n; \qquad (2.12)$$

$$R_{inf}^{des} = \frac{1}{5{,}06} \cdot \left(\frac{19{,}61}{10}\right)^{0{,}64} = 0{,}304\ \frac{м^2 \cdot с \cdot Па}{кг}.$$

Тому що фактичний опір повітропроникненню обраного типу віконного блоку в даних умовах вище необхідного:

$$R_{inf}^{des} = 0{,}304 \geq R_{inf}^{req} = 0{,}261\ м^2 \cdot с\ Па/кг,$$

остаточно приймаємо даний тип віконного блоку до установки.

2. Розрахункові значення різниці тисків внутрішнього і зовнішнього повітря для вікон першого і другого поверху визначимо за формулою:

$$\Delta P = g \cdot (H - h) \cdot (\rho_{ext} - \rho_{int}) + 0{,}5 \cdot v^2 \cdot \rho_{ext} \cdot \left(c_{в.п} - c_{в.р}\right) \cdot k_1 + p_{int}, \qquad (2.13)$$

де h – розрахункова висота, м, від рівня землі до верху вікон, балконних дверей або інших прорізів (для першого поверху прийняти $h = 2{,}5\ м$; для другого $h = 6\ м$);

$c_{e.n}$ *і* $c_{e.p}$ – аеродинамічні коефіцієнти з навітряної і підвітреної сторони будівлі, рівні для вертикальних поверхонь 0,8 *і* − 0,6;

p_{int} – надлишкове (постійне) внутрішній тиск повітря в будинку, що визначається по балансі припливу й витяжки, Па, приймемо = 0;

k_1 – коефіцієнт зміни швидкісного тиску вітру по висоті будинку, прийнятий згідно ДБН В.2.6-31:2016 по наступній таблиці (для орієнтовних розрахунків $k_1 = 1$).

Таблиця 2.1

Значення коефіцієнта k_1 залежно від висоти будівлі

Тип місцевості	Значення k_1 при h, *м*,			
	≤ 5	10	20	40
Відкрита, не захищена від вітру (А)	0,75	1,0	1,25	1,5
У межах міста (В)	0,5	0,65	0,85	1,1

З урахуванням чисельних значень:

для вікон 1-го поверху:

$$\Delta P_1 = 9{,}81 \cdot (7{,}5 - 2{,}5) \cdot (1{,}441 - 1{,}213) + 0{,}5 \cdot 4{,}9^2 \cdot 1{,}441 \cdot \big(0{,}8 - (-0{,}6)\big) \cdot 1;$$

$$\Delta P_1 = 35{,}4\ Па.$$

для вікон 2-го поверху:

$$\Delta P_2 = 9{,}81 \cdot (7{,}5 - 6) \cdot (1{,}441 - 1{,}213) + 0{,}5 \cdot 4{,}9^2 \cdot 1{,}441 \cdot \big(0{,}8 - (-0{,}6)\big) \cdot 1;$$

$$\Delta P_2 = 27{,}57\ Па.$$

Питомий повітряний потік, який інфільтрується через 1м^2 поверхні заповнення віконних прорізів, визначимо за формулою:

для вікон 1-го поверху:

$$G_{inf,1} = \frac{1}{R_{inf}^{des}} \left(\frac{\Delta P_i}{\Delta P_o}\right)^n; \qquad (2.14)$$

$$G_{inf,1} = \frac{1}{0{,}304} \left(\frac{35{,}4}{10}\right)^{0{,}64} = 7{,}39\ кг/м^2 \cdot с.$$

для вікон 2-го поверху:

$$G_{inf,2} = \frac{1}{R_{inf}^{des}} \left(\frac{\Delta P_i}{\Delta P_0}\right)^n;$$

$$G_{inf,2} = \frac{1}{0{,}304} \left(\frac{27{,}57}{10}\right)^{0{,}64} = 6{,}295 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{г}.$$

3. Додаткова величина питомих тепловтрат на нагрівання повітря, яке інфільтрується через 1 м^2 заповнення віконних прорізів:

для вікон 1-го поверху:

$$q_{inf,1} = 0{,}28 \cdot G_{inf,1} \cdot c \cdot (t_{int} - t_{ext}) \cdot k; \quad (2.15)$$

$$q_{inf,1} = 0{,}28 \cdot 7{,}39 \cdot 1{,}005 \cdot (18 - (-28)) \cdot 0{,}8 = 76{,}53 \frac{Вт}{м^2}.$$

для вікон 2-го поверху:

$$q_{inf,2} = 0{,}28 \cdot G_{inf,1} \cdot c \cdot (t_{int} - t_{ext}) \cdot k;$$

$$q_{inf,2} = 0{,}28 \cdot 6{,}295 \cdot 1{,}005 \cdot (18 - (-28)) \cdot 0{,}8 = 65{,}19 \frac{Вт}{м^2}.$$

де c – питома теплоємність повітря, рівна 1,005 кДж/(кг· °С);

k - коефіцієнт обліку впливу зустрічного теплового потоку в конструкціях, рівний 0,7 - для потрійного, 0,8 - для подвійного, 1,0 - для одинарного засклення.

4. Сумарна величина питомих тепловтрат через 1 м^2 заповнення віконних отворів:

для вікон 1-го поверху:

$$q_{ок,1} = q_{ок} + q_{inf,1} = 104{,}56 + 76{,}53 = 181{,}09 \frac{Вт}{м^2}. \quad (2.16)$$

для вікон 2-го поверху:

$$q_{ок,2} = q_{ок} + q_{inf,2} = 104{,}56 + 65{,}19 = 169{,}75 \frac{Вт}{м^2}.$$

5. Результуючий наведений коефіцієнт теплопередачі вікон з обліком трансмісійної й інфільтраційної складових:

для вікон 1-го поверху:

$$K_{ok,1} = \frac{q_{ок,1}}{(t_{int} - t_{ext})} = \frac{181{,}09}{(18+28)} = 3{,}94 \frac{Вт}{(м^2 \cdot °С)}. \quad (2.17)$$

для вікон 2-го поверху:

$$K_{ок,2} = \frac{q_{ок,2}}{(t_{int} - t_{ext})} = \frac{169,75}{(18 + 28)} = 3,69 \frac{Вт}{(м^2 \cdot °C)}.$$

2.2. Розрахунок теплових втрат, визначення теплового навантаження на систему опалення

Вихідні дані:

Фактична товщина стіни $\delta_{стены} = 0,385$ м;

Фактична товщина підвального перекриття $\delta_{чердлпер} = 0,31$ м;

Фактична товщина міжповерхового перекриття $\delta_{млпер} = 0,3$м;

Фактична товщина горищного перекриття $\delta_{подвлпер} = 0,396$ м.

Теплові втрати розраховуються окремо для кожної огороджувальної конструкції, у межах кожного приміщення за формулою:

$$Q = K \cdot F \cdot (t_{int} - t_{ext}) \cdot n \cdot (1 + \sum\beta), \quad (2.18)$$

де K і F – коефіцієнт теплопередачі, $Вт/(м^2 \cdot °C)$, і площа огороджувальної конструкції, м^2;

t_{int} , t_{ext} – розрахункові значення внутрішньої й зовнішньої температури, °С;

n - коефіцієнт, що залежить від положення огороджувальної конструкції стосовно зовнішнього повітря;

β - поправочні коефіцієнти;

β_1 – на орієнтацію огородження по сторонах світла (на північ, схід, північний схід і північний захід 0,1; на південний схід і захід 0,05; у всіх інших напрямках 0);

β_2 – на продувність приміщень, що мають 2 і більше зовнішні стіни, 0,15 - якщо одне з огороджень звернено на північ, схід, північний схід і північний захід й 0,1 - в інших випадках;

β_3 – на вдертя холодного повітря через двері, не обладнані повітряними завісами (при висоті будинку Н) 0,2Н для потрійних дверей; 0,27Н для подвійних

дверей з тамбуром й 0,34Н для подвійних дверей без тамбура; 0,22Н для одинарних дверей.

Розрахунок теплових втрат зводимо в таблицю 2.2.

2.3. Розрахунок питомої теплової характеристики будівлі

Для оцінки енергоефективності конструкторсько-планувальних рішень різних будинків розрахунок теплових втрат, визначаємо проектне значення питомої теплової характеристики:

$$q_o = \sum_{i=1}^{n-1} Q_{ТП,i}^{расч} \Big/ \left[V_н \left(t_{\text{int}}^{\alpha v} - t_{ext}\right)\right]; \qquad (2.19)$$

де $V_н$ – будівельний об'єм будівлі по зовнішньому обмірюванню, м^3;

$t_{\text{int}}^{\alpha v}$ – середня температура внутрішнього повітря в опалювальних приміщеннях будівлі, °С;

$\sum_{i=1}^{n-1} Q_{ТП,i}^{расч}$ – загальні розрахункові теплові втрати будівлі, Вт.

Під питомою тепловою характеристикою будинку q_o, Вт/(м^3·°С), розуміють тепловтрати, що доводяться на одиницю будівельного об'єму будівлі при різниці температур внутрішнього і зовнішнього повітря в 1°С. Чим менше проектне значення питомої теплової характеристики, тим більш енергоефективним є проект даної будівлі.

Гранично припустиме значення q_o^{req} можна визначити по геометричних параметрах будівлі і нормативних опорів теплопередачі огороджувальних конструкцій:

$$q_o^{req} = 1{,}08\left\{\frac{П}{S}\left[\frac{1}{R_{o,ст}^{req}} + p\left(\frac{1}{R_{o,ок}^{req}} - \frac{1}{R_{o,ст}^{req}}\right)\right] + \frac{1}{H}\left(\frac{1}{R_{o,п.п}^{req}} \cdot n_{п.п} + \frac{1}{R_{o,ч.п}^{req}} \cdot n_{ч.п}\right)\right\}; \qquad (2.20)$$

де $П$– периметр, м; S - площа забудови, м^2; H - висота будівлі, м;

$R_{o,ст}^{req}$; $R_{o,ок}^{req}$; $R_{o,п.п}^{req}$; $R_{o,ч.п}^{req}$ – нормативні опори теплопередачі, м^2·°С/Вт, стін, вікон, підвального й горищного перекриття;

p – коефіцієнт засклення фасаду (відношення площі вікон до площі стін з вікнами, нормативне значення p=0,18);

$n_{п.п}$; $n_{ч.п}$ – коефіцієнти, що залежать від положення огороджень приміщень, стосовно зовнішнього повітря, для підвального і горищного перекриття, рівні відповідно 0,75 і 0,9;

Розрахуємо фактичне і граничне припустиме значення питомої теплової характеристики дослідницького корпусу:

q_o = 39417,92/[5300· (18–(–35))] = 0,1403 Вт/(м^3·°С);

$$q_o^{req} = 1{,}08\left\{\frac{90}{450}\left[\frac{1}{2{,}51} + 0{,}18\left(\frac{1}{0{,}4185} - \frac{1}{2{,}51}\right)\right] + \frac{1}{11{,}7}\left(\frac{1}{2{,}83}\cdot 0{,}75 + \frac{1}{2{,}83}\cdot 0{,}9\right)\right\};$$

q_o^{req} = 0,23278 Вт/(м^3·°С);

$q_o^q \le q_o^{req}$ проект задовольняє вимогам енергоефективності.

2.4. Розрахунок нагрівальних приладів системи опалення

Вихідною величиною є величина теплових втрат, яка береться з табл. 2.2, і параметри теплоносія.

Методика теплового розрахунку нагрівальних приладів зводиться до розрахунку необхідної тепловіддачі і визначенню необхідної кількості приладів або секцій, що забезпечують номінальну тепловіддачу не менше необхідної $Q_{ну}$, Вт.

Під номінальною тепловіддачею розуміється величина теплового відводящого потоку, визначається в результаті випробувань приладів даного типу за стандартною методикою при стандартній різниці температур $\Delta t_{пр} = 70°С$.

Відношення фактичної тепловіддачі приладу при будь-яких заданих умовах до його номінальної тепловіддачі при нормальних умовах - коефіцієнт приведення:

$$\frac{Q_{пр}}{Q_{н.у}} = \varphi_к. \quad (2.21)$$

Для розрахунку значень $\varphi_к$ використається наступна залежність:

$$\varphi_к = \left(\frac{\Delta t_{пр}}{70}\right)^{1+n} \cdot \left(\frac{G}{360}\right)^{p} \cdot c \cdot b \cdot \psi, \quad (2.22)$$

де $\Delta t_{пр}$ – фактична різниця температур поверхні приладу і внутрішнього повітря в приміщенні, °С;

G - витрата води, що протікає через прилад, кг/г;

b – поправочний коефіцієнт для обліку атмосферного тиску ≈ 1;

ψ – коефіцієнт обліку напрямку руху води в приладі $= 1$;

n, p, c – коефіцієнти, які залежать від типу нагрівальних приладів і витрати води, що протікає через прилад. Для радіаторів при русі зверху вниз $n = 0{,}3 = const$; при $18 \leq G \leq 50$ кг/год, то $p = 0{,}02$, а $c = 1{,}039$; при $51 \leq G \leq 536$ кг/год, то $p = 0$, а $c = 1$; при $537 \leq G \leq 900$ кг/год, то $p = 0{,}01$, а $c = 0{,}996$.

$$t_{\text{пр}} = \frac{t_г + t_о}{2}; \quad (2.23)$$

$$\Delta t_{\text{пр}} = t_{\text{пр}} - t_{int}, \quad (2.24)$$

де $t_г$ – температура гарячої води;

$t_о$ – температура зворотної води;

t_{int} – температура внутрішнього повітря.

Необхідно визначити кількість секцій радіатора МС-140-108, необхідні для опалення кожного приміщення. Значення розрахункового теплового навантаження для кожного приміщення наведені в табл. 2.3.

Розрахункові параметри теплоносія на вході і виході із приладу: $t_1 = 100°С, t_2 = 70°С$. Температура внутрішнього повітря $t_в = 18°С$. Система опалення двотрубна, рух теплоносія зверху вниз. Розрахунковий барометричний тиск ($Р_б$) 760 мм рт. ст. або 100700 Па.

1. Визначимо розрахункову витрату теплоносія, що протікає через нагрівальний прилад за формулою:

$$G = \frac{3,6 \cdot Q_{пр}}{c \cdot (t_г - t_о)}, \quad (2.25)$$

$$G_{101} = \frac{3,6 \cdot 2033,99}{4,19 \cdot (100 - 70)} = 58,25 \text{ кг/год.}$$

де с – теплоємність води = 4,19 Дж/(кг · °С).

2. Фактичний температурний перепад приладу:

$$\Delta t_{пр} = \frac{t_г + t_о}{2} - t_{int} = \frac{100 + 70}{2} - 18 = 67 \text{ °C}$$

3. Коефіцієнт приведення:

$$\varphi_к = \left(\frac{67}{70}\right)^{1,3} \cdot \left(\frac{58,25}{360}\right)^{0} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 0,945$$

4. Необхідна номінальна тепловіддача приладу:

$$Q_{н.у} = \frac{Q_{пр}}{\varphi_к} = \frac{2033,99}{0,945} = 2152,37 \text{ Вт}$$

5. Необхідна попередня кількість секцій:

$$n' = \frac{Q_{н.у}}{q_{н.у}} = \frac{2152,37}{185} = 11,63$$

де $q_{н.у}$ – тепловіддача однієї секції.

6. Поправочні коефіцієнти на спосіб установки і кількість секцій в одному приладі:

$$n = n' \cdot \frac{\beta_4}{\beta_3} = 11,63 \cdot \frac{1}{1} = 11,63 \approx 12,$$

де $\beta_3 = 1$ – при числі секцій до 15;

$\beta_4 = 1$– при відкритій установці.

Остаточно приймаємо до установки 12 секцій.

Розрахунок нагрівальних приладів зводиться в таблицю 2.3.

2.5. Гідравлічний розрахунок трубопроводів системи опалення

Метою розрахунку є визначення діаметрів труб, необхідних для пропуску необхідних витрат теплоносія по розрахунковому кільцю циркуляції при заданій величині розташовуваного перепаду тисків на уведенні в будівлю.

Втрати тиску підрозділяються на два види: втрати на тертя і місцевий опір.

Втрати на тертя визначаються за формулою:

$$\Delta P_{тр} = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{\vartheta^2 \cdot \rho}{2}, \quad (2.26)$$

де λ - коефіцієнт тертя;

l - довжина ділянки трубопроводу;

d- внутрішній діаметр трубопроводу.

Втрати на місцеві опори:

$$\Delta P_{м.с.} = \sum \xi \cdot \frac{\vartheta^2 \cdot \rho}{2}, \quad (2.27)$$

де ξ - коефіцієнт місцевого опору.

Динамічний тиск:

$$P_{дин} = \frac{\vartheta^2 \cdot \rho}{2}, \text{Па}, \quad (2.28)$$

де $\rho = 977{,}9126$ кг/м^3 – при температурі 70°С;

$\rho = 958{,}35 \frac{кг}{м^3}$ – при температурі 100°С;

ϑ - швидкість руху води.

Втрати на тертя: $$\Delta P_{тр} = R \cdot l, \quad (2.29)$$

де R - питома втрата, $R = f(G, d)$;

l - довжина трубопроводу.

З аксонометричної схеми системи опалення вибирається розрахункове кільце циркуляції. У якості розрахункового вибирається кільце циркуляції від вузла керування до самого вилученого приладу нижнього поверху, тому що в порівнянні з іншими приладами ці прилади працюють у самих несприятливих умовах (втрати більші, а тиск маленьке). Розташовуваний перепад тисків у розрахунковому трубопроводі $H_p = 22$ кПа.

Це кільце розбивається на ділянки, границями ділянки є точки, в яких змінюється витрата теплоносія або діаметр трубопроводу або обоє одночасно. Ділянки нумеруються, на аксонометричній схемі визначаються довжини відповідних ділянок.

Підсумуємо довжини, визначимо довжину кільця циркуляції з врахуванням якої визначимо необхідну орієнтовну втрату тиску на тертя:

$$R_{op} = 0{,}5 \cdot \frac{\Delta P_{\text{расп}}}{\sum l}, \frac{\text{Па}}{\text{м}}. \quad (2.30)$$

Визначаємо теплові навантаження ділянок.

Визначаємо витрату води на кожній розрахунковій ділянці:

$$G_{\text{діл}} = \frac{3{,}6 \cdot Q_{\text{пр}}}{c \cdot (t_{\text{г}} - t_{\text{о}})}. \quad (2.31)$$

По довідкових таблицях гідравлічного розрахунку підбирається стандартний діаметр, швидкість і фактичне значення питомої втрати тиску на тертя. А також по довідкових таблицях обчислюємо коефіцієнти місцевих опорів, що ставляться до кожної ділянки.

Втрати на місцевий опір: $Z = \sum \xi \cdot \text{Р}_{\text{дин}}$,

де $\xi = 2$, для радіатора; $\xi = 4$, для крана подвійного регулювання; $\xi = 1{,}5$, для трійника на відгалуження; $\xi = 4$, для коркового крана; $\xi = 1$, для трійника із пробкою; $\xi = 1{,}5$, для відводу 90^0; $\xi = 3$, для трійника на злиття; $\xi = 0{,}5$, для засувки; $\xi = 10$, для грязьовика; $\xi = 3$, для трійника на поділ.

Обчислюємо сумарні втрати тиску $RL + Z$ на кожній ділянці, потім підсумуємо.

Умовою є:

$$H_p \geq \sum RL + Z \text{ на } (10 \div 15)\%$$

де RL - втрати на місцевий опір.

Перелік місцевих опорів по ділянках

Ділянка 1. Радіатор $\xi = 2$, кран подвійного регулювання$\xi = 4$, трійник на відгалуження$\xi = 1{,}5$; $\sum\xi = 7{,}5$.

Ділянка 2. Пробковий кран $\xi = 4$, трійник із пробкою (прохідний)$\xi = 1$, відвід 90^0 $\xi = 1{,}5$; $\sum\xi = 6{,}5$.

Ділянка 3. Трійник на прохід $\xi = 1$; $\sum\xi = 1$.

Ділянка 4. Трійник на прохід $\xi = 1$; $\sum\xi = 1$.

Ділянка 5. Трійник на прохід $\xi = 1$; $\sum\xi = 1$.

Ділянка 6. Трійник на прохід $\xi = 1$; $\sum\xi = 1$.

Ділянка 7. Трійник на злитті $\xi = 3$; $\sum\xi = 3$.

Ділянка 8. Трійник на злитті $\xi = 3$, засувка $\xi = 0{,}5$; $\sum\xi = 3{,}5$.

Ділянка 9. Відвід 90^0 $\xi = 1{,}5$, засувка $\xi = 0{,}5$, грязьовик $\xi = 10$; $\sum\xi = 12$.

Ділянка 10. Відвід 90^0 $\xi = 1{,}5$, засувка $\xi = 0{,}5$, грязьовик $\xi = 10$; $\sum\xi = 12$.

Ділянка 11. Трійник на розподіл $\xi = 3$, засувка $\xi = 0{,}5$; $\sum\xi = 3{,}5$.

Ділянка 12. Трійник на поділі $\xi = 3$; $\sum\xi = 3$.

Ділянка 13. Трійник на прохід $\xi = 1$; $\sum\xi = 1$.

Ділянка 14. Трійник на прохід $\xi = 1$; $\sum\xi = 1$.

Ділянка 15. Трійник на прохід $\xi = 1$; $\sum\xi = 1$.

Ділянка 16. Трійник на прохід $\xi = 1$, повітрозбірник $\xi = 1{,}5$; $\sum\xi = 2{,}5$.

Ділянка 17. Пробковий кран $\xi = 4$, трійник із пробкою (прохідний) $\xi = 1$, відвід 90^0 $\xi = 1{,}5$; $\sum\xi = 6{,}5$.

Ділянка 18. Трійник на прохід $\xi = 1$, відвід 90^0 $\xi = 1{,}5$; $\sum\xi = 2{,}5$.

$$H_p = 2200\ Па \geq \sum RL + Z = 1614{,}35\ \text{Па}$$

Отримані значення заносимо в таблицю 2.4.

2.6. Обґрунтування вибору способу гарячого водопостачання

Система гарячого водопостачання призначена для подачі гарячої води для господарських і потових потреб. В дослідницькому корпусі підприємства гарячу воду дають два електричних нагрівача води Thermex, тому тепло з системи теплопостачання не використовується.

Для невеликих підприємств, де відсутнє централізоване гаряче водопостачання, вибір водонагрівачів Thermex на 100 літрів з нержавіючої сталі являється хорошим варіантом. Іншим варіантом є встановлення водонагрівачів проточного типу, потужність яких досягає 10 кВт. Дані моделі вбудовуються в наявну систему холодного водопостачання, після чого вони здатні за короткий проміжок часу нагрівати не менше 200 літрів води до температури 85 °С.

Теплова потужність джерела теплопостачання визначається за формулою:

$$G_{джер} = \kappa_{ЗАП}(G_{СО} + G_{ВЕНТ} + G_{ГВП} + G_{ВИРОБ}) = 1{,}1 \cdot (G_{СО} + G_{ВЕНТ}) = 45 кВт$$

де $\kappa_{ЗАП}$ - коефіцієнт запасу теплової потужності, дорівнює 1,1;

$G_{СО}; G_{ВЕНТ}; G_{ГВП}; G_{ВИРОБ}$ - теплові потужності систем опалення, вентиляції, гарячого водопостачання, виробництва відповідно, які залежать від призначення об’єкту теплопостачання, кВт. Чисельні значення складових теплової потужності прийняті у відсотках від $G_{СО}$.

Джерелом теплопостачання є котельня.

В індивідуальному тепловому пункті розміщено лічильник тепла на вході в систему, манометри, термометри на подаючому, на оборотному трубопроводах, фільтри-грязьовики та різна запірна арматура.

Висновки за розділом:

Проведені розрахунки зовнішніх стін, горищного та підвального перекриттів показали, що їхній фактичний опір теплопередачі перевищує нормовані значення згідно з ДБН В.2.6-31:2006. Також підтверджено виконання

санітарно-гігієнічних вимог щодо температурного перепаду між внутрішнім повітрям та поверхнею конструкцій.

Для будівлі обрано вікна з подвійним заскленням у дерев'яних роздільних плетіннях.

Розрахунок питомої теплової характеристики будівлі підтвердив високу енергоефективність прийнятих рішень.

Для компенсації тепловтрат обрано чавунні секційні радіатори МС-140-108.

Гідравлічний розрахунок трубопроводів підтвердив, що наявний перепад тиску на вводі (22кПа) є достатнім для подолання опору найбільш віддаленого кільця циркуляції (1614,35Па) із необхідним запасом.

Гаряче водопостачання: Обґрунтовано доцільність використання автономної системи ГВП на базі електричних ємнісних водонагрівачів Thermex об'ємом 100 літрів, що дозволяє не завантажувати систему централізованого теплопостачання для побутових потреб підприємства.

Загалом, запроєктована система водяного опалення відповідає сучасним нормам теплоізоляції та забезпечує необхідний тепловий комфорт у приміщеннях.

Результати розрахунків теплових втрат через огородження *Таблиця 2.2*

№ прим.	Найменування приміщення	Огороджув. конструкція	Орієнтація	Розміри огороджувальної конструкцій			$(t_{int} - t_{ext}) \cdot n$ °C	К, $\frac{Вт}{м^2 \cdot °C}$	$Q_{осн}$, Вт	Добавки				Q_i, Вт
				a, м	b, м	F, $м^2$				β_1	β_2	β_3	$\sum \beta$	
101	Бухгалтерія,	НС	Пд	6,193	4	24,77	46	0,376	428,42	0	0,1	0	0,1	471,26
	Розрахунковий	НС	Зх	6,193	4	24,77	46	0,376	428,42	0,05	0,1	0	0,15	492,68
	відділ	ДО	Пд	1,4	1,2	1,68	46	3,94	304,48	0	0,1	0	0,1	334,93
		ДО	Пд	1,4	1,2	1,68	46	3,94	304,48	0	0,1	0	0,1	334,93
		ПП	-	5,807	5,807	33,72	34,5	0,344	400,19	0	0	0	0	400,19
$\sum Q_{101} = 2033{,}99$ Вт														
102	Бухгалтерія,	НС	Зх	3	4	12	46	0,376	207,55	0,05	0	0	0,05	217,93
	Група	ДО	Зх	1,4	1,2	1,68	46	3,94	304,48	0,05	0	0	0,05	319,7
	зарплати	ПП	-	2,807	2,807	7,88	34,5	0,344	93,52	0	0	0	0	93,52
$\sum Q_{102} = 631{,}15$ Вт														
103	Бухгалтерія,	НС	Пн	6,193	4	24,77	46	0,376	428,42	0,1	0,15	0	0,25	535,53
	матеріальний	НС	Зз	6,193	4	24,77	46	0,376	428,42	0,05	0,1	0	0,15	492,68
	відділ	ДО	Пн	1,4	1,2	1,68	46	3,94	304,48	0,1	0,15	0	0,25	380,6
		ДО	Пн	1,4	1,2	1,68	46	3,94	304,48	0,1	0,15	0	0,25	380,6
		ПП	-	5,807	5,807	33,72	34,5	0,344	400,19	0	0	0	0	400,19
$\sum Q_{103} = 2189{,}6$ Вт														

№ прим.	Найменування приміщення	Огороджув. конструкція	Орієнтація	Розміри огороджувальної конструкцій			$(t_{int} - t_{ext}) \cdot n$ °C	К, $\frac{Вт}{м^2 \cdot °C}$	$Q_{осн}$, Вт	Добавки				Q_i, Вт
				a, м	b, м	F, $м^2$				β_1	β_2	β_3	$\sum \beta$	
104	Кабінет,	НС	Пн	3	4	12	46	0,376	207,55	0,1	0	0	0,1	228,31
	головного	ДО	Пн	1,4	1,2	1,68	46	3,940	304,48	0,1	0	0	0,1	334,93
	бухгалтера	ПП	-	3	5,807	17,42	34,5	0,344	206,74	0	0	0	0	206,74
$\sum Q_{104} = 769,98$ Вт														
105	Каса	НС	Пн	2,807	4	11,23	46	0,376	194,23	0,1	0	0	0,1	213,66
		ДО	Пн	1,4	1,2	1,68	46	3,940	304,48	0,1	0	0	0,1	334,93
		ПП	-	2,807	5,807	16,3	34,5	0,344	193,45	0	0	0	0	193,45
$\sum Q_{105} = 742,04$ Вт														
106	Відділ охорони	НС	Пн	2,807	4	11,23	46	0,376	194,23	0,1	0	0	0,1	213,66
	праці і ТБ	ДО	Пн	1,4	1,2	1,68	46	3,94	304,48	0,1	0	0	0,1	334,93
		ПП	-	2,807	5,807	16,3	34,5	0,344	193,45	0	0	0	0	193,45
$\sum Q_{106} = 742,04$ Вт														
107	Кабінет	НС	Пн	3	4	12	46	0,376	207,55	0,1	0	0	0,1	228,31
	начальника	ДО	Пн	1,4	1,2	1,68	46	3,940	304,48	0,1	0	0	0,1	334,93
	відділу ТБ	ПП	-	3	5,807	17,42	34,5	0,344	206,74	0	0	0	0	206,74
$\sum Q_{107} = 769,98$ Вт														
108	Відділ	НС	Пн	3	4	12	46	0,376	207,55	0,1	0	0	0,1	228,31
	постачання	ДО	Пн	1,4	1,2	1,68	46	3,940	304,48	0,1	0	0	0,1	334,93

№ прим.	Найменування приміщення	Огороджув. конструкція	Орієнтація	Розміри огороджувальної конструкцій			$(t_{int} - t_{ext}) \cdot n$ °C	K, $\frac{Вт}{м^2 \cdot °C}$	$Q_{осн}$, Вт	Добавки				Q_i, Вт
				a, м	b, м	F, $м^2$				β_1	β_2	β_3	$\sum \beta$	
		ПП	-	3	5,807	17,42	34,5	0,344	206,74	0	0	0	0	206,74
$\sum Q_{108} = 769,98$ Вт														
109	Кабінет	НС	Сх	6,193	4	24,77	46	0,376	428,42	0,1	0,15	0	0,25	535,53
	начальника	НС	Пн	3,193	4	12,77	46	0,376	220,87	0,1	0,15	0	0,25	276,09
	відділу	ДО	Пн	1,4	1,2	1,68	46	3,940	304,48	0,1	0	0	0,1	334,93
	постачання	ПП	-	2,807	5,807	16,3	34,5	0,344	193,45	0	0	0	0	193,45
$\sum Q_{109} = 1340$ Вт														
110	Туалет	НС	Пд	3,193	4	12,77	46	0,376	220,87	0	0,1	0	0,1	242,96
		НС	Сх	6,193	4	24,77	46	0,376	428,42	0,1	0,15	0	0,25	535,53
		ДО	Пд	1,4	1,2	1,68	46	3,940	304,48	0	0	0	0	304,48
		ПП	-	2,807	5,807	16,3	34,5	0,344	193,45	0	0	0	0	193,45
$\sum Q_{110} = 1276,42$ Вт														
111	Навчальний	НС	Пд	6	4	24	46	0,376	415,10	0	0	0	0	415,1
	клас по ТБ	ДО	Пд	1,4	1,2	1,68	46	3,940	304,48	0	0	0	0	304,48
		ДО	Пд	1,4	1,2	1,68	46	3,940	304,48	0	0	0	0	304,48
		ПП	-	6	5,807	34,84	34,5	0,344	413,48	0	0	0	0	413,48
$\sum Q_{111} = 1437,54$ Вт														
112	Бюро	НС	Пд	2,807	4	11,23	46	0,376	194,23	0	0	0	0	194,23

№ прим.	Найменування приміщення	Огороджув. конструкція	Орієнтація	Розміри огороджувальної конструкцій			$(t_{int} - t_{ext}) \cdot n$ °C	К, $\frac{Вт}{м^2 \cdot °C}$	$Q_{осн}$, Вт	Добавки				Q_i, Вт
				a, м	b, м	F, $м^2$				β_1	β_2	β_3	$\sum \beta$	
	перепусток	ДО	Пд	1,4	1,2	1,68	46	3,940	304,48	0	0	0	0	304,48
		ПП	-	2,807	5,807	16,3	34,5	0,344	193,45	0	0	0	0	193,45
$\sum Q_{112} = 692,16$ Вт														
113 118	Прохідна прим. чергового	ПП		5,807	5,807	33,72	34,5	0,344	400,19	0	0	0	0	400,19
116	Тамбур	НС	Зх	3,193	4	12,77	46	0,376	220,87	0,05	0,1	0	0,15	254
		НС	Сх	3,193	4	12,77	46	0,376	220,87	0,1	0,15	0	0,25	276,09
		НС	Пд	6,193	4	24,77	46	0,376	428,42	0	0	0	0	428,42
		ПП	-	5,807	2,807	16,3	34,5	0,344	193,45	0	0	0	0	193,45
$\sum Q_{113,116,118} = 1552,15$ Вт														
114	Відділ	НС	Пд	2,807	4	11,23	46	0,376	194,23	0	0	0	0	194,23
	кадрів	ДО	Пд	1,4	1,2	1,68	46	3,94	304,48	0	0	0	0	304,48
		ПП	-	2,807	5,807	16,3	34,5	0,344	193,45	0	0	0	0	193,45
$\sum Q_{114} = 692,16$ Вт														
115	Кабінет	НС	Ю	3	4	12	46	0,376	207,55	0	0	0	0	207,55
	начальника ВК	ДО	Ю	1,4	1,2	1,68	46	3,94	304,48	0	0	0	0	304,48
		ПП	-	3	5,807	17,42	34,5	0,344	206,74	0	0	0	0	206,74
$\sum Q_{115} = 718,77$ Вт														

№ прим.	Найменування приміщення	Огороджув. конструкція	Орієнтація	Розміри огороджувальної конструкцій			$(t_{int} - t_{ext}) \cdot n$ °C	К, $\frac{Вт}{м^2 \cdot °C}$	$Q_{осн}$, Вт	Добавки				Q_i, Вт
				a, м	b, м	F, $м^2$				β_1	β_2	β_3	$\sum \beta$	
117	Коридор	НС	В	3	4	12	46	0,376	207,55	0,1	0	0	0,1	228,31
		ДО	В	1,4	1,2	1,68	46	3,940	304,48	0,1	0	0	0,1	334,93
		ПП	-	25,31	2,614	66,16	34,5	0,344	785,19	0	0	0	0	785,19
$\sum Q_{117} = 1348,43$ Вт														
201	Кабінет	НС	Ю	6,193	3,5	21,68	46	0,376	374,98	0	0,1	0	0,1	412,48
	директора	НС	З	6,193	3,5	21,68	46	0,376	374,98	0,05	0,1	0	0,15	431,23
		ДО	Ю	1,4	1,2	1,68	46	3,690	285,16	0	0,1	0	0,1	313,68
		ДО	Ю	1,4	1,2	1,68	46	3,690	285,16	0	0,1	0	0,1	313,68
		ЧП	-	5,807	5,807	33,72	41,4	0,337	526,3	0	0	0	0	526,3
$\sum Q_{201} = 1997,37$ Вт														
202	Приймальна	НС	З	3	3,5	10,5	46	0,376	181,61	0,05	0	0	0,05	190,69
	секретар	ДО	З	1,4	1,2	1,68	46	3,690	285,16	0,05	0	0	0,05	299,42
		ЧП	-	2,807	2,807	7,88	41,4	0,337	109,9	0	0	0	0	109,9
$\sum Q_{202} = 600,01$ Вт														
203	Кабінет	НС	Пн	6,193	3,5	21,68	46	0,376	374,98	0,1	0,15	0	0,25	468,73
	головного	НС	З	6,193	3,5	21,68	46	0,376	374,98	0,05	0,1	0	0,15	431,23
	інженера	ДО	Пн	1,4	1,2	1,68	46	3,690	285,16	0,1	0,15	0	0,25	356,45
		ДО	Пн	1,4	1,2	1,68	46	3,690	285,16	0,1	0,15	0	0,25	356,45
		ЧП	-	5,807	5,807	33,72	41,4	0,337	526,3	0	0	0	0	526,3

№ прим.	Найменування приміщення	Огороджув. конструкція	Орієнтація	Розміри огороджувальної конструкцій			$(t_{int} - t_{ext}) \cdot n$ °C	K, $\frac{Вт}{м^2 \cdot °C}$	$Q_{осн}$, Вт	Добавки				Q_i, Вт
				a, м	b, м	F, $м^2$				β_1	β_2	β_3	$\sum \beta$	
$\sum Q_{203} = 2139,16$ Вт														
204	Технічний	НС	Пн	3	3,5	10,5	46	0,376	181,61	0,1	0	0	0,1	199,77
	відділ	ДО	Пн	1,4	1,2	1,68	46	3,690	285,16	0,1	0	0	0,1	313,68
		ЧП	-	3	5,807	17,42	41,4	0,337	243,04	0	0	0	0	243,04
$\sum Q_{204} = 756,49$ Вт														
205	Кабінет	НС	Пн	2,807	3,5	9,83	46	0,376	169,92	0,1	0	0	0,1	186,92
	начальника	ДО	Пн	1,4	1,2	1,68	46	3,690	285,16	0,1	0	0	0,1	313,68
	техвідділу	ЧП	-	2,807	5,807	16,3	41,4	0,337	227,41	0	0	0	0	227,41
$\sum Q_{205} = 728,01$ Вт														
206	Відділ	НС	Пн	2,807	3,5	9,83	46	0,376	169,92	0,1	0	0	0,1	186,92
	головного	ДО	Пн	1,4	1,2	1,68	46	3,690	285,16	0,1	0	0	0,1	313,68
	енергетика	ЧП	-	2,807	5,807	16,3	41,4	0,337	227,41	0	0	0	0	227,41
$\sum Q_{206} = 728,01$ Вт														
207	Кабінет	НС	Пн	3	3,5	10,5	46	0,376	181,61	0,1	0	0	0,1	199,77
	головного	ДО	Пн	1,4	1,2	1,68	46	3,690	285,16	0,1	0	0	0,1	313,68
	енергетика	ЧП	-	3	5,807	17,42	41,4	0,337	243,04	0	0	0	0	243,04
$\sum Q_{207} = 756,49$ Вт														
208	Будгрупа	НС	Пн	3	3,5	10,5	46	0,376	181,61	0,1	0	0	0,1	199,77

№ прим.	Найменування приміщення	Огороджув. конструкція	Орієнтація	Розміри огороджувальної конструкцій			$(t_{int} - t_{ext}) \cdot n$ °C	K, $\frac{Вт}{м^2 \cdot °C}$	$Q_{осн}$, Вт	Добавки				Q_i, Вт
				a, м	b, м	F, $м^2$				β_1	β_2	β_3	$\sum \beta$	
		ДО	Пн	1,4	1,2	1,68	46	3,690	285,16	0,1	0	0	0,1	313,68
		ЧП	-	3	5,807	17,42	41,4	0,337	243,04	0	0	0	0	243,04
$\sum Q_{208} = 756,49$ Вт														
209	Відділ	НС	Сх	6,193	3,5	21,68	46	0,376	374,98	0,1	0,15	0	0,25	468,73
	збуту	НС	Пн	3,193	3,5	11,18	46	0,376	193,29	0,1	0,15	0	0,25	241,61
		ДО	Пн	1,4	1,2	1,68	46	3,690	285,16	0,1	0	0	0,1	313,68
		ЧП	-	2,807	5,807	16,3	41,4	0,337	227,42	0	0	0	0	227,42
$\sum Q_{209} = 1251,44$ Вт														
210	Туалет	НС	Пд	3,193	3,5	11,18	46	0,376	193,29	0	0,1	0	0,1	212,62
		НС	Сх	3,193	3,5	11,18	46	0,376	193,29	0,1	0,15	0	0,25	241,61
		ДО	Пд	1,4	1,2	1,68	46	3,69	285,16	0	0	0	0	285,16
		ЧП	-	2,807	5,807	16,3	41,4	0,337	227,42	0	0	0	0	227,42
$\sum Q_{210} = 966,81$ Вт														
211	Конструк-	НС	Пд	6	3,5	21	46	0,376	363,22	0	0	0	0	363,22
	торське	ДО	Пд	1,4	1,2	1,68	46	3,69	285,16	0	0	0	0	285,16
	бюро	ДО	Пд	1,4	1,2	1,68	46	3,69	285,16	0	0	0	0	285,16
		ЧП	-	6	5,807	34,84	41,4	0,337	486,11	0	0	0	0	486,11
$\sum Q_{211} = 1419,65$ Вт														

№ прим.	Найменування приміщення	Огороджув. конструкція	Орієнтація	Розміри огороджувальної конструкцій			$(t_{int} - t_{ext}) \cdot n$ °C	K, $\frac{Вт}{м^2 \cdot °C}$	$Q_{осн}$, Вт	Добавки				Q_i, Вт
				a, м	b, м	F, $м^2$				β_1	β_2	β_3	$\sum \beta$	
212	Архів КБ	НС	Пд	2,807	3,5	9,83	46	0,376	170,02	0	0	0	0	170,02
		ДО	Пд	1,4	1,2	1,68	46	3,69	285,16	0	0	0	0	285,16
		ЧП	-	2,807	5,807	16,3	41,4	0,337	227,42	0	0	0	0	227,42
$\sum Q_{212} = 682,6$ Вт														
213	Конференц-зала	НС	Пд	6,193	3,5	21,68	46	0,376	374,98	0	0,1	0	0,1	412,48
216		НС	Зх	2,807	3,5	9,83	46	0,376	170,02	0,05	0,1	0	0,15	195,52
218		НС	Сх	2,807	3,5	9,83	46	0,376	170,02	0,1	0,15	0	0,25	212,53
		ЧП	-	5,807	5,807	33,72	41,4	0,337	526,3	0	0	0	0	526,3
$\sum Q_{213,216,218} = 1346,83$ Вт														
214	Планово-	НС	Пд	2,807	3,5	9,83	46	0,376	170,02	0	0	0	0	170,02
	економічний	ДО	Пд	1,4	1,2	1,68	46	3,69	285,16	0	0	0	0	285,16
	відділ	ЧП	-	2,807	5,807	16,3	41,4	0,337	227,42	0	0	0	0	227,42
$\sum Q_{214} = 682,6$ Вт														
215	Кабінет	НС	Пд	3	3,5	10,5	46	0,376	181,61	0	0	0	0	181,61
	комерційного	ДО	Пд	1,4	1,2	1,68	46	3,69	285,16	0	0	0	0	285,16
	директора	ЧП	-	3	5,807	17,42	41,4	0,337	243,04	0	0	0	0	243,04
$\sum Q_{215} = 709,81$ Вт														
217	Коридор	НС	Сх	3	3,5	10,5	46	0,376	181,61	0,1	0	0	0,1	199,77

№ прим.	Найменування приміщення	Огороджув. конструкція	Орієнтація	Розміри огороджувальної конструкцій			$(t_{int} - t_{ext}) \cdot n$ °C	К, $\frac{Вт}{м^2 \cdot °C}$	$Q_{осн}$, Вт	Добавки				Q_i, Вт
				a, м	b, м	F, $м^2$				β_1	β_2	β_3	$\sum \beta$	
		ДО	Сх	1,4	1,2	1,68	46	3,69	304,48	0,1	0	0	0,1	334,93
		ЧП	-	25,31	2,614	66,16	41,4	0,337	923,05	0	0	0	0	923,05
$\sum Q_{217} = 1457{,}75$ Вт														
	Сходова клітка	НС	Пн	6	3,5	21	46	0,376	363,22	0,1	0	0	0,1	399,54
		ДО	Пн	1,4	1,2	1,68	46	3,69	285,16	0,1	0	0	0,1	313,68
		ЧП	-	5,807	5,807	33,72	41,4	0,337	526,3	0	0	0	0	526,3
$\sum Q_{л.к.} = 1239{,}52$ Вт														
$\sum Q_{общ} = 35925{,}43$ Вт														

Таблиця 2.3

Розрахунок нагрівальних приладів (радіатори МС-140-108, $q_{н.у} = 185\ Вт$)

№ прим.	$Q_{пр}$, Вт	Температура, °С					G, кг/год	Коефіцієнти						$Q_{н.у}$, Вт	n'	Поправки		n, шт.
		$t_г$	$t_о$	$t_{пр}$	t_{int}	$\Delta t_{пр}$		n	p	c	b	ψ	$\varphi_к$			β_3	β_4	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1-й поверх																		
101	2033,99	100	70	85	18	67	58,25	0,3	0	1	1	1	0,945	2152,37	11,63	1	1	12
102	631,15	100	70	85	18	67	18,08	0,3	0,02	1,039	1	1	0,925	682,32	3,69	1	1	4
103	2189,6	100	70	85	18	67	62,71	0,3	0	1	1	1	0,945	2317,04	12,53	1	1	13
104	769,98	100	70	85	18	67	22,05	0,3	0,02	1,039	1	1	0,928	829,72	4,49	1	1	5
105	742,04	100	70	85	18	67	21,25	0,3	0,02	1,039	1	1	0,928	799,61	4,32	1	1	5
106	742,04	100	70	85	18	67	21,25	0,3	0,02	1,039	1	1	0,928	799,61	4,32	1	1	5
107	769,98	100	70	85	18	67	22,05	0,3	0,02	1,039	1	1	0,928	829,72	4,49	1	1	5
108	769,98	100	70	85	18	67	22,05	0,3	0,02	1,039	1	1	0,928	829,72	4,49	1	1	5
109	1340,0	100	70	85	18	67	38,37	0,3	0,02	1,039	1	1	0,939	1427,05	7,71	1	1	8
110	1276,42	100	70	85	18	67	36,56	0,3	0,02	1,039	1	1	0,938	1360,79	7,36	1	1	8
111	1437,54	100	70	85	18	67	41,17	0,3	0,02	1,039	1	1	0,94	1529,30	8,27	1	1	9
112	692,16	100	70	85	18	67	19,82	0,3	0,02	1,039	1	1	0,926	747,47	4,04	1	1	5
113,118	400,19	100	70	85	18	67	11,46	0,3	0,02	1,039	1	1	0,916	436,89	2,36	1	1	3
116	1151,96	100	70	85	18	67	32,99	0,3	0,02	1,039	1	1	0,936	1230,73	6,65	1	1	7
114	692,16	100	70	85	18	67	19,82	0,3	0,02	1,039	1	1	0,926	747,47	4,04	1	1	5
115	718,77	100	70	85	18	67	20,59	0,3	0,02	1,039	1	1	0,927	775,37	4,19	1	1	5
117	1348,43	100	70	85	18	67	38,62	0,3	0,02	1,039	1	1	0,939	1436,03	7,76	1	1	8
2-й поверх																		
201	1997,37	100	70	85	18	67	57,2	0,3	0	1	1	1	0,945	2113,62	11,42	1	1	12
202	600,01	100	70	85	18	67	17,18	0,3	0,02	1,039	1	1	0,924	649,36	3,51	1	1	4
203	2139,16	100	70	85	18	67	61,27	0,3	0	1	1	1	0,945	2263,66	12,24	1	1	13
204	756,49	100	70	85	18	67	21,67	0,3	0,02	1,039	1	1	0,928	815,18	4,41	1	1	5

№ прим.	$Q_{пр}$, Вт	Температура, °С					G, кг/год	Коефіцієнти						$Q_{н.у}$, Вт	n'	Поправки		n, шт.
		$t_г$	$t_о$	$t_{пр}$	t_{int}	$\Delta t_{пр}$		n	p	c	b	ψ	$\varphi_к$			β_3	β_4	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
205	728,01	100	70	85	18	67	20,85	0,3	0,02	1,039	1	1	0,927	785,34	4,25	1	1	5
206	728,01	100	70	85	18	67	20,85	0,3	0,02	1,039	1	1	0,927	785,34	4,25	1	1	5
207	756,49	100	70	85	18	67	21,67	0,3	0,02	1,039	1	1	0,928	815,18	4,41	1	1	5
208	756,49	100	70	85	18	67	21,67	0,3	0,02	1,039	1	1	0,928	815,18	4,41	1	1	5
209	1251,44	100	70	85	18	67	35,84	0,3	0,02	1,039	1	1	0,937	1335,58	7,22	1	1	8
210	966,81	100	70	85	18	67	27,69	0,3	0,02	1,039	1	1	0,933	1036,24	5,6	1	1	6
211	1419,65	100	70	85	18	67	40,66	0,3	0,02	1,039	1	1	0,94	1510,27	8,16	1	1	9
212	682,6	100	70	85	18	67	19,55	0,3	0,02	1,039	1	1	0,926	737,15	3,98	1	1	4
214	682,6	100	70	85	18	67	19,55	0,3	0,02	1,039	1	1	0,926	737,15	3,98	1	1	4
213,216, 218	1346,83	100	70	85	18	67	38,57	0,3	0,02	1,039	1	1	0,939	1434,32	7,75	1	1	8
215	709,81	100	70	85	18	67	20,33	0,3	0,02	1,039	1	1	0,927	765,71	4,14	1	1	5
217	1457,75	100	70	85	18	67	41,75	0,3	0,02	1,039	1	1	0,94	1550,8	8,38	1	1	9
Сходи	1239,52	100	70	85	18	67	35,5	0,3	0,02	1,039	1	1	0,937	1322,86	7,15	1	1	8

Таблиця 2.4

Гідравлічний розрахунок трубопроводів системи водяного опалення

№ діл.	Довжина, L, м	t води, °С	Q, Вт	Витрата, G, кг/год	Діаметр умовного пр. d, мм	Швидкість v, м/с	R, Па/м	RL, Па	$\sum\xi$	$P_{дин}$, Па	Z, Па	$RL+Z$, Па
1	0,5	70	631,15	18,08	10	0,041	4,5	2,25	7,5	0,822	6,165	8,42
2	0,8	70	1231,2	35,26	15	0,052	3,6	2,88	6,5	2,644	17,19	20,07
3	6	70	1231,2	35,26	15	0,052	3,6	21,6	1	2,644	2,644	24,24
4	6	70	5560	159,24	20	0,13	18	108	1	8,263	8,263	116,26
5	6	70	11415	326,92	25	0,16	19	114	1	12,52	12,52	126,52
6	0,4	70	12885	369,02	25	0,181	24	9,6	1	16,02	16,02	25,62
7	3	70	14125	404,54	32	0,114	7	21	3	6,36	19,06	40,06
8	6	70	24046	688,67	40	0,148	9,5	57	3,5	10,71	37,49	94,49
9	4	70	39046	1118,30	40	0,219	20	80	12	23,45	281	361,4
10	10	100	39046	1118,30	40	0,219	20	80	12	22,98	275,78	355,78
11	6	100	24046	688,67	40	0,148	9,5	57	3,5	10,5	36,74	93,74
12	3	100	14125	404,54	32	0,114	7	21	3	6,23	18,68	39,68
13	0,4	100	12885	369,02	25	0,181	24	9,6	1	15,7	15,7	25,30
14	6	100	11415	326,92	25	0,16	19	114	1	12,27	12,27	126,27
15	6	100	5560	159,24	20	0,13	18	108	1	8,1	8,1	116,10

№ діл.	Довжина, L, м	t води, °С	Q, Вт	Витрата, G, кг/год	Діаметр умовного пр. d, мм	Швидкість v, м/с	R, Па/м	RL, Па	$\sum\xi$	$P_{дин}$, Па	Z, Па	$RL+Z$, Па
16	6	100	1231,2	35,26	15	0,052	3,6	21,6	2,5	1,3	3,24	24,84
17	2,5	100	1231,2	35,26	15	0,052	3,6	2,88	6,5	1,3	8,42	11,30
18	3,6	100	631,15	18,08	10	0,041	4,5	2,25	2,5	0,805	2,01	4,26
$\sum = 76{,}2$		$\sum = 1614{,}35$										

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА КОТЛА

3.1. Призначення, принцип дії визначення початкових параметрів

Газомазутні парові котли типу Е(ДЕ) - це вертикально-водотрубний пристрій з природною циркуляцією, що має топку і обігрівається продуктами спаленого в ній палива та призначений для отримання пари тиском вище атмосферного (0,8МПа, t = 175° С). парові котли Е використовуються для опалювальних потреб житлових, адміністративних, навчальних закладів та інших будівель. (рис.3.1).

Котли типу Е(ДЕ) випускаються номінальної паропродуктивністю 4; 6,5; 10; 16 і 25 т/год при робочому тиску 1,4 і 2,4 МПа.

Конструктивною відмінністю котлів типу Е(ДЕ) (рис.3.1) є розміщення топкової камери збоку конвективного пучка, створеного вертикальними трубами, які розвальцьовані у верхньому і нижньому барабанах. При цьому в максимальному ступені використана уніфікація деталей і складальних одиниць, що застосовуються в котлах типу ДКВР і КЕ. У всіх типорозмірах котлів діаметр верхнього і нижнього барабанів становить 1000 мм, відстань між барабанами 2750 мм, для екранів і конвективного пучка застосовані труби діаметром $51 \times 2,5$ мм. Довжина циліндричної частини барабанів (в котлах типу Е, на відміну від котлів типу ДКВР і КЕ, довжина верхнього і нижнього барабанів однакова) в котлах продуктивністю 4 т/год. – 2250мм, в котла продуктивністю 25 т/год. – 7500 мм. В передньому і задньому днищах кожного з барабанів є лазові отвори для внутрішнього огляду і очищення їх внутрішньої поверхні. Для всіх типорозмірів котлів даного типу ширина топкової камери прийнята однаковою і дорівнює 1790 мм (по осям труб екранів). В залежності від паропродуктивності котлів змінюється глибина топкової камери (для паропродуктивності 4 т/год. – 1980 мм, для паропродуктивності 25т/год. – 6960 мм) і пов’язана з нею глибина конвективного пучка. Середня висота топкової камери 2400 мм.

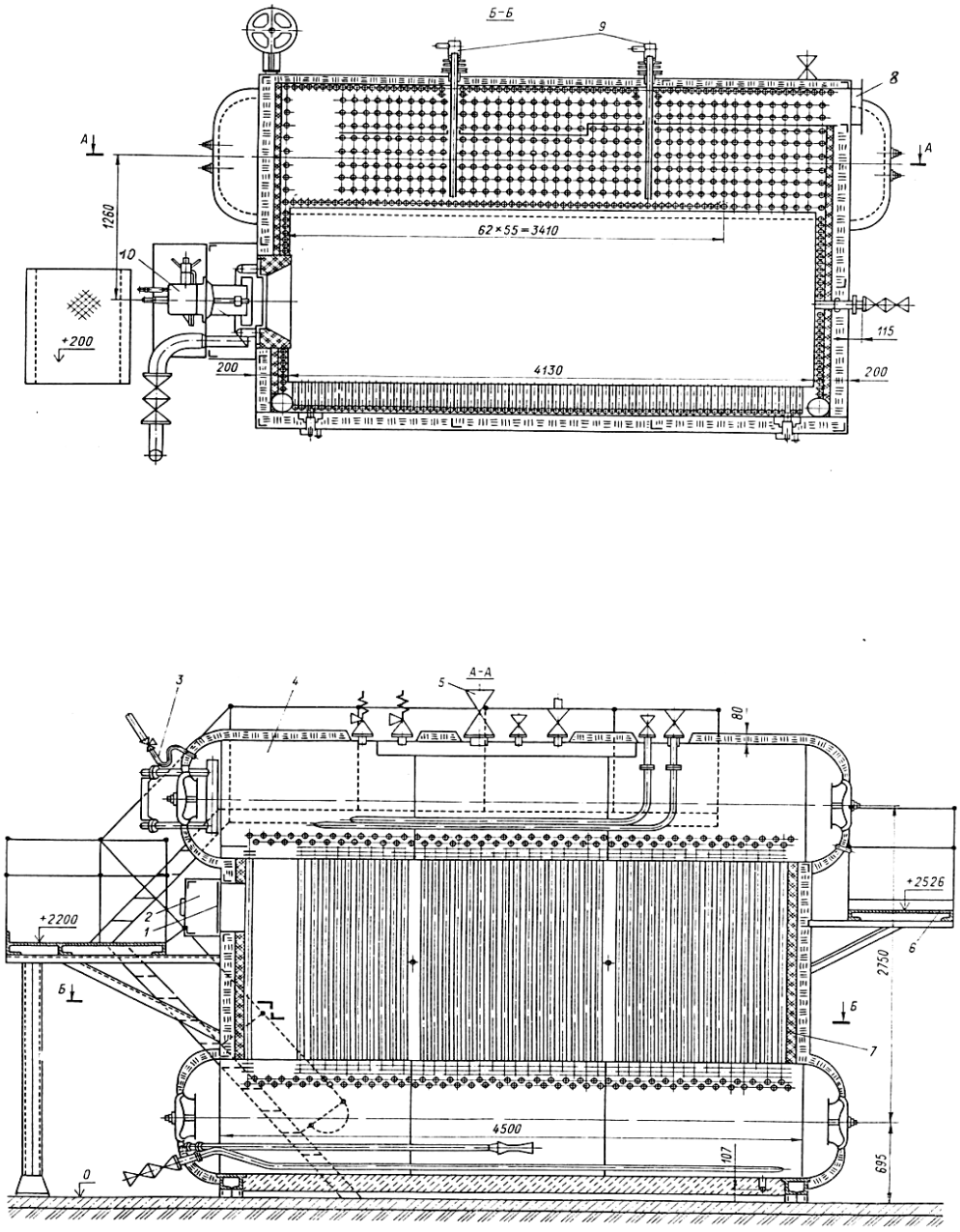


Рис.3.1. Конструкція котлів типу Е

Топкова камера відділяється від конвективного пучка газощільною перегородкою, утвореною із труб Ø 51×2,5 мм, які установлені щільно з кроком 55мм і зварені між собою. В задній частині перегородки є вікно для проходу газів до конвективного пучка. Ущільнення місць входження кінців труб до барабана забезпечується чавунними гребінками, які прилягають до труб і барабана. Склепіння, права бокова поверхня і під топкової камери екрановані трубами

діаметром 51×2,5 мм, утворюючи єдиний екран з кроком труб 55 мм, Кінці труб екрану закріплені вальцюванням до верхнього і нижнього барабанів. Труби заднього екрану приєднуються зварюванням до верхнього і нижнього колекторів діаметром159×3,5 мм. Колектори з'єднані з верхнім і нижнім барабанами і об'єднані рециркуляційною трубою розміром 76×3,5 мм, яка не обігрівається. В котлах паропродуктивністю 4 ... 10 т/год. фронтовий екран виконується аналогічно задньому екрану.

Відмінність полягає в тому, що для забезпечення розміщення пальника і лазу, сполученого з вибуховим клапаном, у фронтовому екрані зменшена кількість труб. В котлах паропродуктивністю 16 і 25 т/год. фронтовий екран утворений чотирма трубами, приєднаними безпосередньо до верхнього і нижнього барабанів. У всіх котлах під топки закритий вогнетривкою цеглою.

Конвективний пучок утворений вертикальними трубами діаметром 51×2,5мм з коридорним розташуванням, які закріплені вальцюванням до верхнього і нижнього барабанів (поздовжній крок труб 90 мм, поперечний крок – 110 мм, для середньому ряду труб поперечний крок прийнятий 120 мм). Для забезпечення необхідних швидкостей газів у конвективному пучку котлів паропродуктивністю 4; 6,5 і 10 т/год. встановлені поздовжні ступінчасті перегородки. В котлах паропродуктивністю 16 і 25 т/год. перегородки не передбачаються. Перекидання продуктів згорання з фронту, після виходу із конвективного пучка, до економайзера, що розташований позаду котла, здійснюється за допомогою газового короба, який розміщений над топковою камерою.

Циркуляційна схема всіх газомазутних парових котлів типу Е (ДЕ) однакова і включає чотири екрани (фронтовий, задній і два бокових) і конвективний пучок. Бокові екрани і конвективний пучок котлів всіх типорозмірів, а також фронтовий екран котлів паропродуктивністю 16 і 25 т/год. приєднані безпосередньо до верхнього і нижнього барабанів. Задні екрани всіх котлів і фронтові екрани котлів паропродуктивністю 4, 6,5 і 10 т/год. об'єднуються нижніми (горизонтальними) і верхніми (похилими) колекторами, які приєднуються до барабанів. Інші кінці

колекторів об’єднуються рециркуляційною трубою діаметром 76×3,5 мм. Котли паропродуктивністю 4; 6,5 і 10 т/год. мають одноступінчасту схему випаровування, а котли паропродуктивністю 16 і 25 т/год. – двоступінчасту. Другий ступінь випаровування включає перші по ходу газів труби конвективного пучка і опускні труби діаметром 159 ×4,5 мм (дві – у котлів паропродуктивністю 16 т/год. і три – у котлів паропродуктивністю 25 т/год.).

Для всіх котлів загальними опускними трубами системи випаровування (в котлах паропродуктивністю 16 і 25т/год. – першого ступеня випаровування) є останні за рухом газів ряди труб конвективного пучка.

У водяному просторі верхнього барабана розміщені живильна труба і труба для введення фосфатів, у паровому просторі встановлені сепараційні пристрої. В нижніх барабанах котлів паропродуктивністю 4, 6,5 і 10 т/год. розташована перфорована труба для безперервної продувки котла, яка поєднана з періодичною продувкою. Періодична продувка котлів паропродуктивністю 16 і 25 т/год. здійснюється з нижнього барабана, безперервна – із соляного відсіку верхнього барабана (другий ступінь випаровування). Нижні барабани всіх котлів забезпечені пристроями для парового прогрівання води при розпалюванні і штуцерами для випускання води.

Первинними сепараційними пристроями першого ступеня випаровування є розташовані у верхньому барабані напрямні щити і козирки, що забезпечують подачу пароводяної суміші на рівень води. Вторинні сепараційні пристрої виконані у вигляді горизонтальних жалюзійних сепараторів з дірчастими листами (в котлах паропродуктивністю 4т/год. – у вигляді дірчастих листів). Сепараційними пристроями другого ступеню випаровування є поздовжні щити, які спрямовують пароводяну суміш до торця барабана, а потім уздовж нього до поперечної перегородки, що розділяє відсіки. Чистий і соляний відсіки з’єднані по парі через вікно над поперечною перегородкою, а по воді – через підживлювальну трубу.

Очищення поверхні нагріву від зовнішнього забруднення здійснюється стаціонарними обдувними пристроями, розташованими з лівого боку котла.

Обдувний пристрій складається з вузла кріплення і труби з соплами, яка обертається при обдуванні конвективної частини котла. Обертання труби здійснюється вручну. При обдуванні використовуються насичена або перегріта пара тиском не менше 0,7МПа.

Пароперегрівник котлів паропродуктивністю 4, 6,5 і 10 т/год. виконаний змійовиковим з труб Ø 32×3 мм. В котлах паропродуктивністю 16 і 25 т/год. пароперегрівник вертикальний з двох рядів труб діаметром 51×2,5 мм.

Котли мають опорну раму, яка передає усі навантаження на фундамент. Свобода температурних переміщень елементів котлів забезпечується нерухомим кріпленням передньої опори нижнього барабана і рухомим кріпленням за рахунок овальних отворів для болтів задньої опори до рами котла.

Газощільне екранування бокових стінок, склепіння і поду топкової камери дозволило відмовитись від тяжкої обмурівки і застосувати легку натрубну ізоляцію товщиною 100 мм, яка укладена на шар шамотобетону по сітці товщиною 25мм. Для зменшення присосів повітря до газового траку котла натрубна ізоляція зовні покривається листовою металевою обшивкою, яка зварена з каркасом котла. Застосування натрубної теплової ізоляції дозволяє покращити динамічні характеристики котлів, зменшити втрати до навколишнього середовища і втрати теплоти при запусках і зупинках котлів, що пов’язані з прогріванням обмурівки.

Парові котли «Е» поставляються замовнику єдиним блоком в зібраному вигляді: в обшивці, обмуровці, зі змонтованим допоміжним обладнанням. Поставка котла серії "Е" з комплектацією включає в себе: пальниковий пристрій, живильний насос, вентилятор, димосос, контрольно-вимірювальні прилади, комплект засобів управління, запірна арматура, клапани і датчики тиску, звукова сирена.

Кожен паровий котел поставляється покупцю з паспортом встановленої форми, інструкції з експлуатації, а також комплектом креслень для ремонту.

Конструкція парового котла є надійною і безпечною в експлуатації, передбачена можливість огляду, ремонту, очищення, промивання і продування від

смолистих відкладень, золи та шлаку. Паровий котел «Е» відрізняється високою економічністю і може експлуатуватися в будь-яких кліматичних умовах.

Опис газомазутного пальника ГМГ

Для спалювання мазуту і газу в топках котлів типу ДЕ і інших, відповідних їм по тепловій потужності, застосовуються газомазутні пальники типу ГМГ, розраховані для роботи на газі теплотою згоряння 35 500 кДж/м^3 (8500 ккал/м^3) або мазуту М40 і М100. Допускається одночасне спалювання газу і мазуту.

Будова газомазутного пальника пояснюється на рис. 3.2.

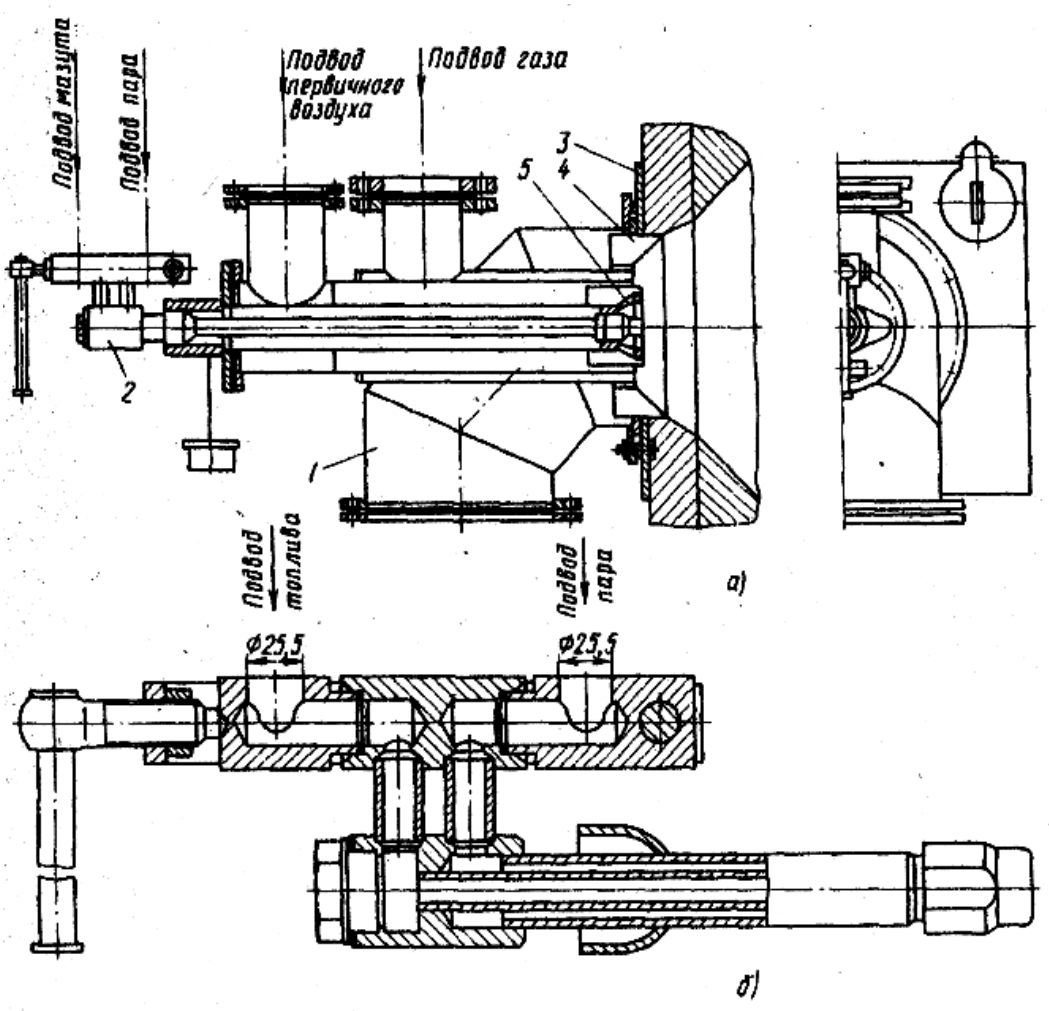


Рис. 3.2. Газомазутний пальник типу ГМГ

Для розпилу рідкого палива в пальнику застосована паромеханічна форсунка, що забезпечує високу якість розпилу у всьому діапазоні регулювання навантаження. Форсунка складається з розпилюючої головки, стовбура, колодки,

скоби із затяжним гвинтом для з'єднання парового і паливного штуцерів. Мазут, що поступає у форсунку по внутрішній трубі, підводиться через розподільну шайбу в кільцевий канал завихрювача, звідки по тангенціальних каналах потрапляє в камеру завихрення, набуваючи обертово-поступового ходу, виходить з сопла і розпилюється за рахунок відцентрових сил. Розширення діапазону регулювання досягається за рахунок застосування парових завихрювачів – із зовнішньої труби через канали в накидній гайці пар поступає в канали завихрювача і закрученим потоком на виході бере участь в розпилюванні мазуту.

Ефективна робота форсунки на всіх режимах забезпечується при тиску розпилюючої пари 0,07…0,2 МПа, на навантаженнях вище 70% форсунка може стійко працювати і без парового розпилу. Повітря до коріння факела (до 15% загальної витрати) підводиться через регістр первинного повітря, в якому відбувається закручування потоку, сприяюче кращому перемішуванню його з паливом. Закручування потоку вторинного повітря відбувається в регістрі, що представляє апарат лопатки з прямими лопатками, встановленими під кутом 45°. Регістри первинного і вторинного повітря виготовляються правого і лівого закручування. Продуктивність пальника регулюється зміною тиску мазуту або газу і відповідною зміною подачі повітря. При роботі на рідкому паливі подача первинного повітря не регулюється, при роботі на газі витрата первинного повітря регулюється пропорційно витраті газу. Розпалювання пальників відбувається автоматично запальником або уручну факелом.

3.2. Вибір і опис прийнятих до установлення хвостових поверхонь нагріву

Економайзери конструкції ВТІ (рис. 3.3), являють собою систему стандартних чавунних ребристих труб 1, які збирають на місці монтажу в колонку, що складається з кількох горизонтальних рядів. Кількість груб у горизонтальному ряді та їх довжина вибираються з умови отримання потрібної швидкості руху продуктів згоряння (6...9 м/с при номінальному навантаженні), а

кількість горизонтальних рядів визначається з умови отримання потрібної поверхні нагріву економайзера.

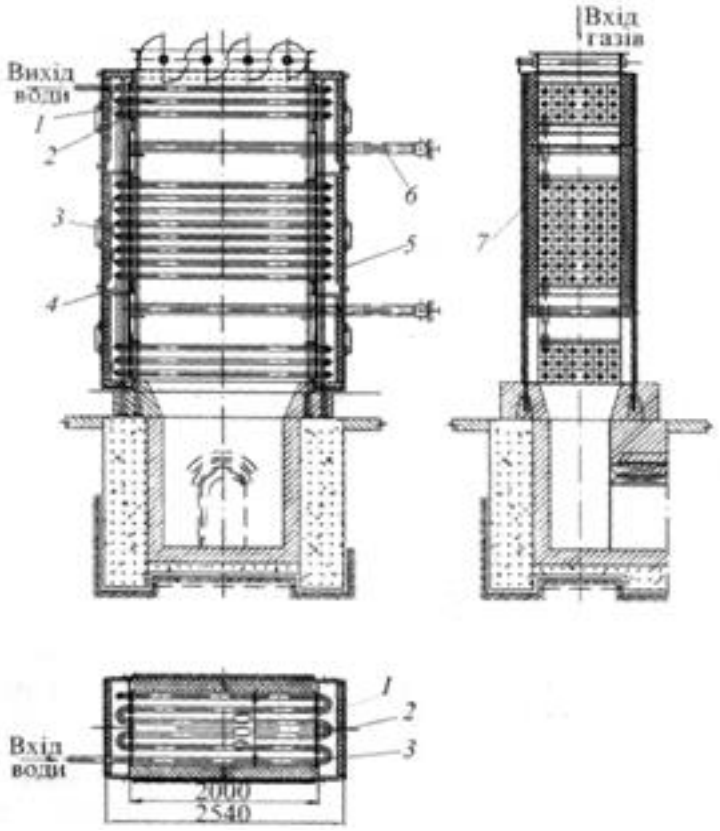


Рис 3.3. Чавунний ребристий водяний економайзер ВТІ

Якщо неможливо здійснити компонування в одну колонку, труби економайзера розміщують у дві колонки, які послідовно омиваються газами. Чавунні ребристі економайзери некиплячого типу установлюють за котлами малої потужності тиском до 2,4 МПа.

В одноколонковому економайзері вода з живильної лінії подається до однієї з крайніх нижніх труб економайзера, послідовно проходить через усі труби нижнього ряду, потім переходить до сусіднього верхнього ряду і так далі аж до крайнього верхнього ряду, звідки вона спрямовується до пароводяного барабана котла або під час розпалювання котла до живильного бака чи деаератора через спеціальний трубопровід. При установленні двоколонкових економайзерів живильну воду слід подавати до другої (за рухом газів) колонки; напрям потоку води - знизу вверх в обох колонках. Застосування описаної схеми руху води знизу вверх забезпечує змивання зі стінок труб пузирчиків повітря, які виділяються з

води при її нагріванні і можуть спричинити внутрішню корозію металу труб економайзера. Швидкість води в економайзері має бути у межах від 0,5 до 1,0 м/с.

Рух води зверху вниз не допускається для запобігання виникненню гідравлічних ударів та у зв'язку з утрудненням винесення пузирчиків повітря. Продукти згоряння в економайзері доцільно спрямовувати зверху вниз для організації протитечійної схеми руху і покращення умов теплообміну.

Температуру нагрітої води на виході з чавунних економайзерів ВТІ слід приймати не менше ніж на 20 °С нижче температури кипіння при розрахунковому тиску пари у котлі. При закипанні води можливі гідравлічні удари та руйнування чавунних труб. Температура води на вході до економайзера має бути вище точки роси димових газів не менше ніж на 10 °С.

Для очищення зовнішньої поверхні труб економайзера від золи та сажі їх обдувають парою або стисненим повітрям за допомогою спеціальних стаціонарних обдувних пристроїв. Сопловий апарат пристроїв забезпечує ефективне очищення до чотирьох рядів по вертикалі вверх та вниз. Тому кількість горизонтальних рядів труб приймають не більше восьми. Якщо кількість горизонтальних рядів труб більше, економайзер розділяють на окремі групи по 4...8 рядів, між якими залишають розриви близько 700 мм для розміщення обдувних апаратів.

Конструктивні характеристики котельних агрегатів типу ДЕ наведені у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Конструктивні характеристики котельних агрегатів типу ДЕ

Величина	Паропродуктивність, т/год				
	4,0	6,5	10,0	16,0	25,0
Барабани, мм: внутрішній діаметр	1000				
довжина циліндричної частини	2240	3000	4500	6000	7500
відстань між осями	2750				
Ширина топкової камери (між осями екранних труб), мм	1790				
Середня висота топки, мм	2400				

Величина	Паропродуктивність, т/год				
	4,0	6,5	10,0	16,0	25,0
Об’єм топки, $м^3$	8,0	11,2	17,4	22,5	29,0
Площа поверхні стін топки, $м^2$	23,8	30,0	41,5	51,8	64,2
Діаметр екранних труб, мм	51×2,5				
Крок труб бокових екранів, мм	55				
Площа променесприймальної поверхні нагріву топки, $м^2$	21,8	27,9	39,0	48,1	60,5
Площа поверхні нагріву конвективних пучків, $м^2$	45,0	63,3	110,0	154,0	16,4 (I пучок) 196,0 (II пучок)
Діаметр труб конвективних пучків, мм	51×2,5				
Розташування труб конвективного пучка	Коридорне				Шахове (I пучок), коридорне (II пучок)
Крок конвективних труб, мм: уздовж барабана	90				
упоперек барабана	110				
Площа живого перерізу для проходження продуктів згоряння, $м^2$	0,34	0,35	0,41	0,71	1,25 (I пучок) 0,85 (II пучок)
Кількість рядів труб конвективного пучка: уздовж барабана	19	27	41	61	83
упоперек барабана	9				
Ширина конвективного газоходу (між осями крайніх труб), мм	1000				

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА ЕЛЕМЕНТА СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

4.1. Вибір технологічної схеми обробки води

Початковим етапом водопідготовки, як правило, є звільнення від зважених домішок – освітлення води, що іноді класифікується як попередня обробка. На практиці для очистки води застосовуються два типи конструкцій освітлювачів. У першому типі контакт води з осадом, що випав раніше, досягається при її русі знизу вверх крізь шар осаду зі швидкістю, достатньо великою для того, щоб привести осад у завислий стан (так званий псевдозріджений шар) але меншою, ніж швидкість вільного осадження пластівців осаду в нерухомій воді. У другому типі конструкцій освітлювачів є спеціальна камера реакції (камера пластівцеутворення), як правило, обладнана механічними мішалками, в якій вода перемішується з осадом, що випав раніше, а потім надходить у зону освітлення, де відбувається виділення з води крупних пластівців, які утворилися в камері

Вперше освітлювачі першого типу були запропоновані Є.М. Тетеркіним, другого типу - Ч. Спольдінгом.

Схема освітлювача [21] з конічним дифузором системи Є.М. Тетеркіна наведена на рис. 4.1.

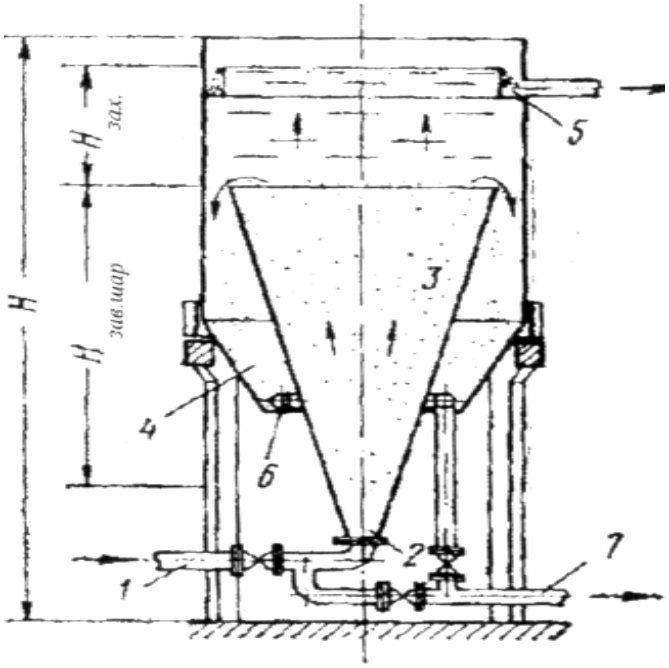


Рис. 4.1. Освітлювач з конічним дифузором конструкції Є.М.Тетеркіна

Вода з реагентами надходить в освітлювач із повітровіділювача по трубопроводу 1 у нижню частину конуса дифузора 2. Поднімаючись, потік води розширюється, швидкість його зменшується до величини, при якій у дифузорі утворюється шар завислого осаду 3. В міру накопичення осаду, його надлишок переливається через кромку дифузора опускається в осадоушільнювач 4. Освітлена вода проходить через захисний шар води над дифузором і збірним жолобом 5 відводиться на фільтри. Осад крізь дірчасту трубу 6 безперервно або періодично трубопроводом 7 відводиться у каналізацію.

Освітлювач являє собою зрізаний конус. В його центрі знаходиться камера реакції у вигляді зрізаного конуса, який поставлений на більшу основу. Вода надходить у камеру реакції по трубопроводу 1, реагенти подаються по трубопроводам 2. У центрі камери реакції знаходиться вертикальний; частині камери реакції. Надлишок осаду із завислого шару спускається осадоущільнювач 5, з якого він видаляється у стік по трубопроводу 6, який має автоматичний клапан.

Схему освітлювача системи Ч. Спольдінга [15] з вбудованою механічною камерою реакції показано на рис 4.2.

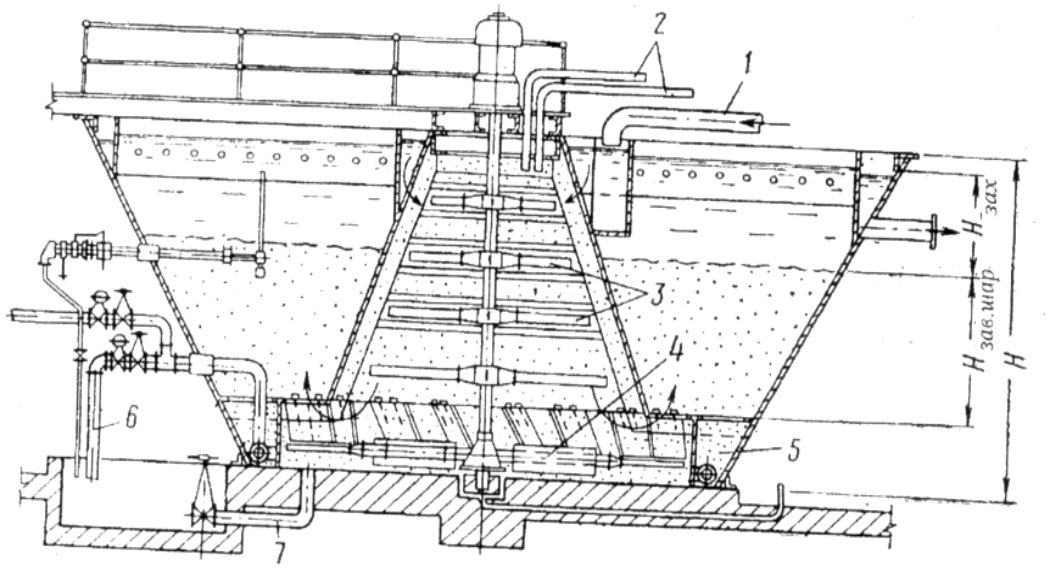


Рис 4.2 Освітлювач з вбудованою камерою реакції конструкції Ч. Спольдінга

В освітлювачах системи Є.М. Тетеркіна і Ч. Спольдінга освітлення води досягається при пропусканні її знизу вверх крізь шар завислого у висхідному потоці води осаду. В деяких конструкціях освітлювачів освітлення води відбувається під час її радіального горизонтального руху з камери реакції до збірних жолобів.

У освітлювачах відбуваються два процеси оброблення води [15]:

- флокулювання мікропластівців у крупні агрегатовані пластівці;
- виділення цих пластівців з води, що освітлюється.

Для флокулювання мікропластівців необхідне перемішування води, для відділення цих пластівців від води - утворення зон руху води зі швидкістю, меншою, ніж швидкість вільного осадження пластівців у нерухомій воді. Тому в освітлювачах усіх типів є зона реакції або захвату мікропластівців осадом, який випав раніше, і зона освітлення води.

Більші швидкості, які необхідні для перемішування води з осадом утворюються механічним або гідравлічним перемішуванням, або завдяки розташуванню у нижній частині освітлювача дифузорів. Вертикальна швидкість руху води в останніх настільки велика, що утворює умови турбулентного перемішування води з пластівцями осаду, що випав раніше.

Зниження швидкості висхідного потоку води в зоні освітлення до величини, при якій починається відділення пластівців завісі від води, досягається за рахунок або збільшення площі поперечного перерізу освітлювача, або відведення частини води, що освітлюється, разом з осадом в осадоущільнювачі.

За способом відведення осаду освітлювачі поділяють на гравітаційні і примусові.

За місцем розташування осадоущільнювачів освітлювачі поділяють на:

- освітлювачі з вертикальними осадоущільнювачами;
- з піддонними осадоущільнювачами;
- без осадоущільнювача (осад ущільнюється у нижній частині освітлювача).

Всі типи освітлювачів можуть бути відкритими або напірними.

Основними умовами, що визначають нормальну роботу освітлювачів є раціональна організація відведення шламу, розподілення води по перерізу освітлювача і відведення освітленої води.

На схемі освітлювача з дірчастим розподільчим днищем (рис. 4.3) вихідна вода через повітровідділювач 1 по стояку 2 і системі труб 3 надходить у міждонний простір 4, який одночасно виконує роль камери реакції, звідти вода через отвори у дірчастому дні 7 підіймається і проходить крізь шар I завислого осаду 8.

Надлишок осаду надходить у центральний осадоущільнювач 6, звідки він видаляється через трубу 5. Освітлена вода переливається у відводячий жолоб 9.

В освітлювачі конструкції ВНДІГС (рис.4.4) для рівномірного розподілу води по його перерізу прийнято нижню дренажну решітку, під якою розміщена система дірчастих труб. Однак такі дренажні системі швидко забиваються відкладеннями осаду, що приводить до погіршення якості води [15].

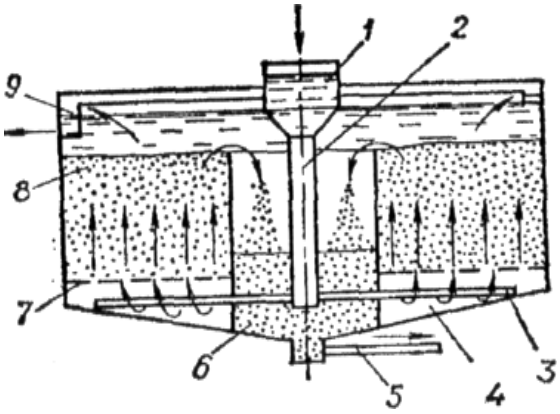


Рис. 4.3. Схема освітлювача з дірчастим розподільчим днищем

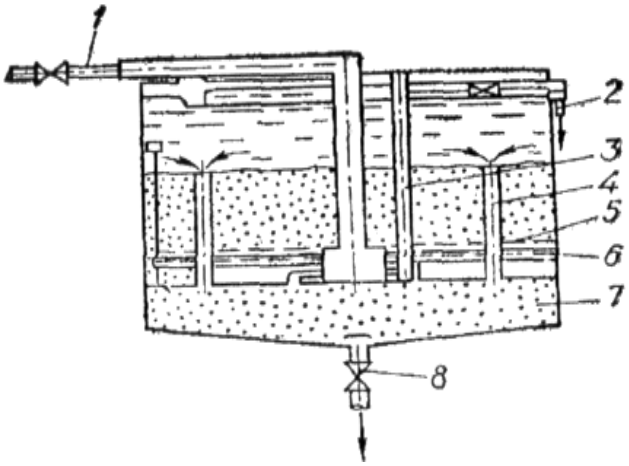


Рис. 4.4. Схема освітлювача конструкції ВНДІГС:

1 – подача води; 2 - відведення освітленої води; 3 - відсмоктування освітленої води з осадоущільнювача; 4 - відведення зависі з контактного середовища; 5 - дірчасте дно; 6 - розподільчі труби; 7 – осадо-ущільнювач, 8 - видалення осаду

На рис.4.5 наведено схему освітлювача коридорного типу з вертикальним осадоущільнювачем. Застосовується він на станціях великої продуктивності для освітлення і знебарвлення природних вод з великою каламутністю.

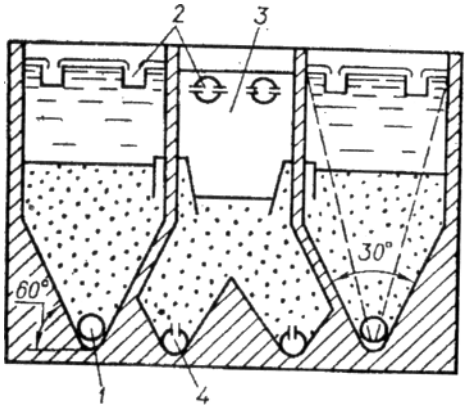


Рис. 4.5 Схема освітлювача коридорного типу:
1 - подача води до перфорованих розподільчих труб, 2 - відведення освітленої води 3 - осадоущільнювач; 4 - видалення осаду

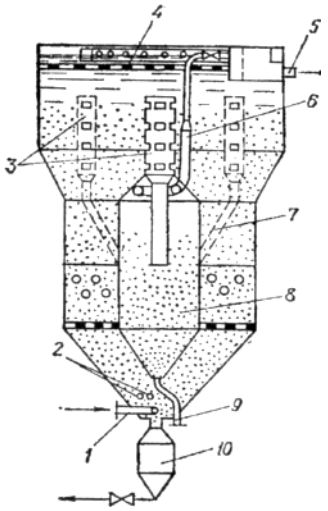


Рис. 4.6 Схема освітлювача ЦНДІ-1А:
1 - подача води; 2 - введення реагенту; 3 - відведення надлишку зависі з контактного середовища; 4 – дренажна решітка; 5 – вихід очищеної води; 6 - відсмоктуванням очищеної води з осадоушільнювача; 7 - труби для відведення шламу; 8 – осадоушільнювач; 9 - видалення осаду; 10 - бункер для видалення крупних кристалічних формацій

Освітлювачі такого типу - це прямокутні (в плані) залізобетонні резервуари, розділені перетинками на коридори. Між двома секціями із завислим осадом розміщено вертикальний осадоущільнювач з примусовим відсмоктуванням осаду. Для розподілу води по довжині коридорів, збору освітленої води в осадоущільнювачі та для видалення осаду застосовуються перфоровані труби.

З метою підвищення технологічних показників роботи коридорних освітлювачів над дренажною системою освітлювальної камери утворюють спеціальне контактне завантаження з кварцового піску в кількості приблизно 12 кг/м^2 освітлювача. Необхідно, щоб пісок (крупністю 0,10…0,25 мм) під час роботи освітлювача знаходився у завислому стані. Продуктивність освітлювача

внаслідок проведення такого заходу можна підвищити на 15…20%.

В конструкціях вище розглянутих освітлювачів вода змішується з реагентом до надходження її в апарат. Безпосередньо подавати реагенти у контактне середовище цих освітлювачів неможливо.

Для очищення води з одночасним її пом'якшенням і знекремніюванням ЦНДІ МШС розроблені освітлювачі з безперервною продувною виносного осадоущільнювача і освітлювачі з періодичним випуском осаду спеціально розміщеного осадоущільнювача. Вода вводиться в нижню частину, введення реагентів здійснюється безпосередньо в освітлювач.

Це створює сприятливі умови щодо формування завислого контактного середовище і проходження фізико-хімічних процесів при видаленні з води домішок. Нижня частина освітлювача виконана у вигляді кільцевого конуса. Відведення осаду з освітлювача відбувається за допомогою висотної системи вікон. Схему освітлювача ЦНДІ МШС продуктивністю до 10 тис.м^3 на добу наведено на рис. 4.6. Освітлювачі ЦНДІ МШС можна розташовувати в будинках і поза ними.

У деяких конструкціях освітлювачів шар шламу перемішується механічною мішалкою. Мішалка підсмоктує завислий осад разом з водою, що обробляється, у другу зону реакції, а потім пластівцями надходить у зону завислого осаду, де процес контактної коагуляції закінчується. Основна частина осаду знову надходить у першу зону реакції, тобто безперервно циркулює. Надлишковий шлам подається в осадоущільнювач, який займає частину периферії акселератора, звідки він періодично або безперервно видаляється.

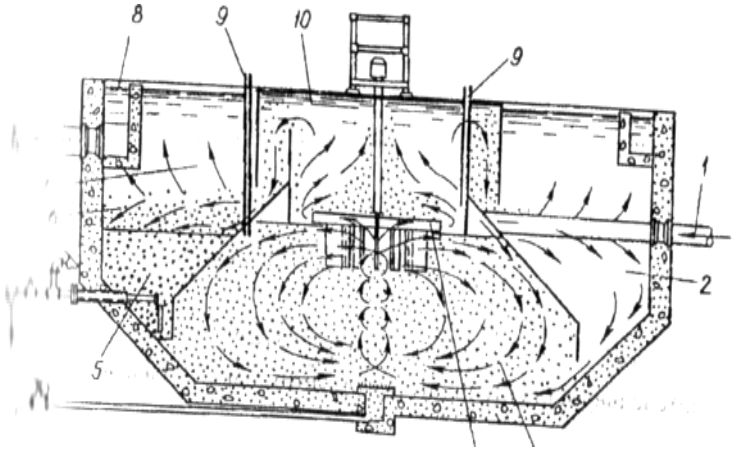


Рис. 4.7 Схема акселератора:
1 - подача сирої води, 2 - зона зворотного потоку, 3 - перша зона реакції; 4 - пропелерна мішалка; 5 - шламоущільнювач; 6 - зона завислого осаду; 7– зона освітлення; 8 - збірні жолоби; 9 - подача реагентів; 10 – друга зона реакції

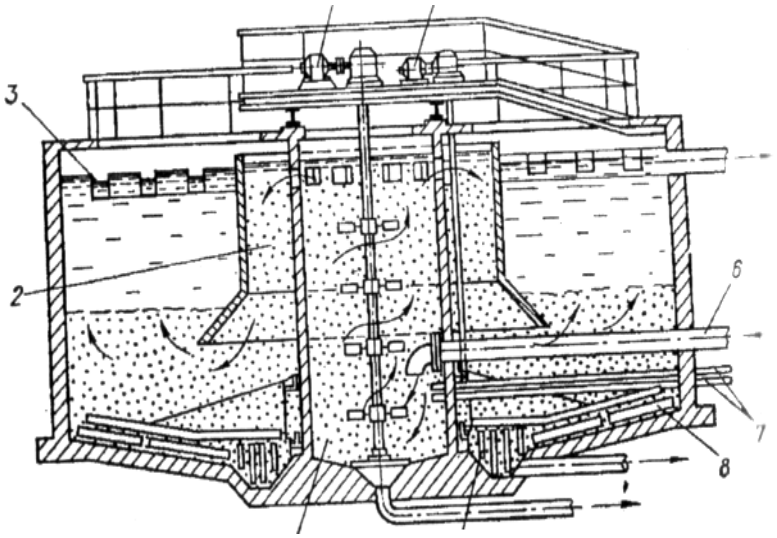


Рис. 4.8 Схема освітлювача конструкції Бінара і Бєльського:
1, 2 - первинна і вторинна камери реакції; 3 - збірні жолоби; 4 - привід мішалки камери реакції; 5 - привод скребкового механізму; 6 - подача води; 7 - подача реагенту скребковий механізм; 9 - збірник осаду

Освітлювачі чеського виробництва (рис. 4.8), відрізняються устроєм центральних камер пластівцеутворення з механічним перемішування.

Введення реагентів здійснюється безпосередньо у камери реакції. Видалення осаду відбувається за допомогою скребкових механізмів. Мали об'єми зони збору і ущільнення осаду потребують встановлення поза освітлювачем відстійників для зневоднення і ущільнення осаду.

Технологія натрій-катіонітового пом'якшення води

Процес пом'якшення води методом натрій-катіонування реалізується за одноступінчастою або двоступінчастою схемами. Вибір конкретної конфігурації залежить від цільових показників якості обробленої води та техніко-економічної доцільності.

Порівняльний аналіз схем катіонування

Одноступінчаста схема передбачає фільтрування через одиничне завантаження натрій-катіоніту. Попри простоту реалізації, вона має низку суттєвих недоліків:

Обмежена глибина пом'якшення: неможливість стабільного отримання фільтрату із залишковою жорсткістю на рівні 0,01–0,02 мг-екв/л.

Економічна неефективність: підвищена питома витрата солі на регенерацію фільтрувального матеріалу.

Неповне використання ресурсу: нераціональне використання обмінної

ємності катіоніту.

Експлуатаційна складність: необхідність безперервного контролю моменту «проскоку» іонів жорсткості, концентрація яких після вичерпання ресурсу зростає досить стрімко.

Двоступінчаста схема дозволяє нівелювати зазначені недоліки. Кількість ступенів визначається нормативними вимогами до об'єкта:

Глибоке пом'якшення: Для живлення екранованих парових котлів застосовується виключно двоступінчаста схема.

Часткове пом'якшення: Для теплових мереж, де критичним є лише зниження карбонатної жорсткості до 0,7$ мг-екв/л, достатньо одноступінчастої схеми з виведенням фільтра на регенерацію при досягненні загальної жорсткості фільтрату 0,1–0,2 мг-екв/л.

Для забезпечення безперебійної цілодобової роботи установки склад обладнання регламентується наступним чином:

Перший ступінь: Встановлюється щонайменше два робочих фільтри та один резервний.

Другий ступінь: Зазвичай використовують два спеціалізовані фільтри з висотою шару катіоніту 1,5 м.

У малопотужних установках допускається уніфікація обладнання: для другого ступеня використовують фільтри тієї ж конструкції, що й для першого. У такому разі мінімальний комплект складається з чотирьох одиниць:

– два фільтри першого ступеня;

– один фільтр другого ступеня;

– один універсальний резервний фільтр (заміщує основний фільтр другого ступеня під час регенерації або будь-яку одиницю під час ремонту).

Основними вихідними даними для проєктування та розрахунку натрій-катіонітних установок є:

Розрахункова продуктивність системи.

Вихідна загальна жорсткість води, що надходить на очищення.

Нормативна залишкова жорсткість фільтрату.

4.2. Розрахунок устаткування установки попередньої обробки води

4.2.1. Розрахунок установки попередньої обробки води

Приймаємо дозу коагулянту К= 0,7 г-екв/л [15], дозу ПАА приймаємо 1,0мг/л. При осадженні вапнуванням $НСО_3$ у першу чергу одночасно вилучається кальцій, тому залишкова карбонатна лужність вапнованої води, буде не менш 0,7 мг-екв/л. При цьому має місце відношення:

$$[Ca]_{в.в.}+К>[НС0_3]_{в.в}-[НС0_3]_{ост}=90+0,7>2,2-0,7 \quad (4.1)$$

де $[Ca]_{в.в.}$ – вміст кальцію у вихідній воді;

К – доза коагулянту;

$[НСО_3]_{вв.}$ – карбонатна лужність вихідної води;

$[НСО_3]_{ост}$ – залишкова карбонатна лужність вапняної води визначається при $Ж_{и.в.}>Л_{и.в.}$ за табл. і дорівнює 0,7 мг-екв/л.

Дозу вапна при вапнуванні визначаємо за рівнянням:

$$D_в=[СО]_{в.в.}+[НСО_3]_{в.в.}-[НСО_3]_{ост}+К=21/22+2,2-0,7+0,7=3,15 \text{ мг-екв/л}, \quad (4.2)$$

де 21 – вміст вільної вуглекислоти у вихідній воді, мг/л;

22 еквівалент $СО_2$.

Сольовий склад після вапнування, з огляду на дозування реагентів буде мати вигляд:

1. Вапном осаджується $НСО_3$ у кількості

$$[НСО_3]_{в.в}-[НСО_3]_{ост}=2,2-0,7=1,5 \text{ мг-екв/л}. \quad (4.3)$$

2. У першу чергу з катіонів осаджується Са. При прийнятому дозуванні вапна кількість Са в оброблюваній воді дорівнює кількості кальцію у вихідній воді плюс внесене вапном на дозу коагулянту:

$$[Ca]_{в.в}+К=90+0,7=90,7 \text{ мг-екв/л}.$$

3. Кальцій, що осаджується у вигляді $СаСО_3$, зв'язується з іонами $НСО_3$ у кількості 1,5 мг-екв/л. Залишковий вміст кальцію у вапнованій воді буде:

$$[Ca]_{ост}=90,7-1,5=89,2 \text{ мг-екв/л}.$$

4. Вміст Mg і Na залишається тим же, що й у вихідній воді.

5. Залишкова карбонатна лужність, визначена за табл. [15] і, дорівнює 0,7 мг-екв/л, буде складатися з іонів HCO_3^- і C_3^{-2} , кількісне співвідношення яких визначається в залежності від pH оброблюваної води.

6. Вміст сульфатів у вапнованій воді збільшується за рахунок дозування коагулянту $FeSo_4$ та дорівнює:

$$[S0_4]_{вап}=[S0_4]_{вих} + К=50+0,7=50,7 \text{ мг-екв/л}, \quad (4.4)$$

де $[SO_4]_{вап}$ – вміст сульфатів у вапнованій воді;

$[SO_4]_{вих}$ вміст сульфатів у вихідній воді.

7. Вміст хлоридів у вапнованій воді не змінюється.

8. Вміст SiO_3 при коагуляції з вапнуванням знижується приблизно на 50%. Кількість шламу, що утвориться при вапнуванні з коагуляцією, визначається за рівнянням:

$$Q_{ш}^{в} = B + 50(Ж_{Ca}^{в} + D_{в}) + 0,56\alpha_{д}D_{в} + 53К + 29Ж_{Mg}^{в} =$$
$$50(2.2 + 3.15) + 0,56 \cdot 50 \cdot 3.15 + 53 \cdot 0,7 + 29 \cdot 3 = 479.8 г / м^3 \quad (4.5)$$

де $Q_{ш}^{в}$ – кількість шламу, визначається при вапнуванні з коагуляцією, г/м^3;

$Ж_{Ca}^{в}$ – кальцієва твердість, що видаляється при вапнуванні з коагуляцією, мг-екв/л;

$\alpha_д$ – кількість домішок у дозованому вапняному молоці, приймається рівним 20% [15];

$Ж_{Mg}^{в}$ – магнієва твердість мг-екв/л.

Величина продувки освітлювача визначається за рівнянням:

$$P = \frac{(Q_з - B_0) \cdot 100}{1000\delta_{ср}} = \frac{(479.8 - 10) \cdot 100}{1000 \cdot 24} = 1,96\% \ , \quad (4.6)$$

де P – величина продувки освітлювача, %;

$Q_з$ кількість завислих речовин,

B_0 – залишковий вміст завислих речовин в обробленій воді після освітлювача, г/м^3;

$\delta_{ср}$ – середня концентрація завислих речовин г/л.

З освітлювача вапнована вода самопливом надходить у баки вапнованої води.

Загальна регулююча ємність баків повинна дорівнювати годинній продуктивності попереднього очищення по вапнованій воді. Приймаємо до установки три баки вапнованої води ємністю 25 м^3 (по одному на кожен освітлювач).

Насоси вапнованої води приймаємо: три насоси (один резервний) типу БНDС-60, електродвигун А2-32-2, Q=20 м^3/год., N=75кВт, Н=650кПа, n=2940 об./хв.

Для повного освітлення вапнованої води установлюємо шість горизонтальних освітлювальних фільтрів діаметром 2000 мм.

Швидкість фільтрування в освітлювальних фільтрах визначаємо за формулою:

при нормальному режимі $w_н = \frac{Q}{f(a-1)} = \frac{82.5}{3.1 \cdot (6-1)} = 5.32$ м/с, (4.7)

при форсованому режимі $w_н = \frac{Q}{f(a-2)} = \frac{82.5}{3.1 \cdot (6-2)} = 6.65$ м/с, (4.8)

де 82,5 — витрата проясненої води з урахуванням власних потреб освітлювальних фільтрів, м^3/год.;

f – площа фільтрування стандартного горизонтального освітлювального фільтра діаметром 2000 мм;

a – кількість фільтрів.

Витрата води на одне промивання фільтра, що спушує, визначається за формулою:

$$Q_{сп} = \frac{i \cdot 60 \cdot t \cdot f}{1000} = \frac{10 \cdot 60 \cdot 20 \cdot 3.1}{1000} = 37.2 \text{ м}^3 \quad (4.9)$$

де i – інтенсивність розпушення;

t – тривалість промивання, що спушує, приймається там же.

Розпушення горизонтальних освітлювальних фільтрів у запобіганні скидання першого, недостатньо освітленого фільтрату проводиться освітленою водою, для чого установимо бак із освітленою водою, що у разі потреби може одночасно використовуватися і як акумулятор освітленої води для власних потреб наступних стадій обробки води.

Об’єм баку освітленої води для промивання, що спушує, освітлювального фільтру визначаємо за формулою:

$$V = \frac{aFi \cdot 60\tau}{1000} = \frac{1{,}3 \cdot 3.1 \cdot 10 \cdot 60 \cdot 20}{1000} = 48.36 \text{ м}^3 \qquad (4.10)$$

де V – об’єм баку для промивання, що спушує;

а – коефіцієнт запасу;

τ – тривалість промивання, що спушує.

Приймаємо до установки бак освітленої води для промивання освітлювальних фільтрів ємністю 50 м^3.

Насос промивання повинен забезпечувати годинну витрату води на промивання фільтра:

$$Q = \frac{i \cdot 60 \cdot 60 \cdot f}{1000} = \frac{10 \cdot 60 \cdot 60 \cdot 3.1}{1000} = 111.6 \text{ м}^3/\text{год}, \qquad (4.11)$$

Насос розвиває напір не менш 10 кПа.

Приймаємо до установки насос для промивання освітлювальних фільтрів, що спушує, типу 8К-18 300м^3/год, Н=170кПа електродвигуном А2-71-4 22 кВт, n=1450 об/хв.

Для видалення затриманого шламу і відновлення гідродинамічного режиму фільтрів приймаємо одне промивання, що спушує, у добу кожного освітлювального фільтра, витрата води при цьому складе:

$$Q_{\text{доб}} = 37{,}2 \cdot 6 \cdot 1 = 223{,}2 \text{ м}^3/\text{добу}$$

чи в середньому $Q_{\text{с.год}} = 223{,}2/24 = 9{,}3 \text{ м}^3/\text{год}.$

Уточнена витрата води, що надходить на освітлювач, з урахуванням власних потреб установки попередньої обробки води складе:

$$Q_y = 50 + \frac{50 \cdot p}{100} + Q_{с.год}\frac{20}{100} = 75 + \frac{75 \cdot 1{,}96}{100} + 9.3 \cdot \frac{20}{100} = 78.33 \text{ м}^3/\text{год}, \qquad (4.12)$$

де 20 – втрати води з продувкою шламу в баку регенеративних вод, %.

Бак регенеративних вод промивання, що спушує, освітлювальні фільтри приймаються з розрахунку на одне промивання фільтра, що спушує.

Об’єм бака визначається за формулою:

$$V_{р.в.} = 1{,}3 \cdot Q_{вс} = 1{,}3 \cdot 37.2 = 48.36 \text{ м}^3.$$

Приймаємо до установки два баки регенеративних вод об’ємом 50 м^3 для відстоювання шламу і повернення відстояної води в освітлювач.

У першому баку протягом 4 годин відбувається заповнення і відстоювання, із другого в цей час відстояна вода подається в освітлювач з постійною витратою води 10 м^3/год.

Насоси регенеративних вод забезпечують подачу в освітлювач 10 м^3/год. промивні води від розпушення освітлювальних фільтрів після відстоювання в баку регенеративних вод.

Приймаємо до установки три насоси (один з них резервний) типу 3ДО-9, (Q = 45 м^3/год, Н=310кПа, з електродвигуном АТ2-42-2, N = 75 кВт.

Устаткування для дозування реагентів в освітлювач вибирається на максимальну продуктивність кожного освітлювача. Насоси-дозатори встановлюються до кожного освітлювача, по двох на кожен дозований реагент (один - робочий, другий - резервний).

Витрата вапна у вигляді $Ca(OH)_3$ визначається за формулою:

$$Q_в^{доб} = \frac{24 \cdot 37{,}05 \cdot Q_y \cdot D_b}{1000} = \frac{24 \cdot 37{,}05 \cdot 78.33 \cdot 3.15}{1000} = 219.4 \text{ кг/добу} \qquad (4.13)$$

Витрата вапняного молока на добу визначається за формулою:

$$V_в^{доб} = \frac{Q_в^{доб} \cdot 100}{1000 \cdot p_в \cdot \rho_в} = \frac{219.4 \cdot 100}{1000 \cdot 5 \cdot 1{,}048} = 4.18 \text{ м}^3\text{/добу}, \qquad (4.14)$$

де $V_в^{доб}$ – витрата вапняного молока на добу, м^3/добу;

$p_и$ – концентрація вапняного молока, приймається 5%;

$\rho_у$ – густина вапняного молока г/см^2

Витрата 5%-го вапняного молока на один освітлювач:

$$Q_в^{год} = \frac{V_в^{доб} \cdot 1000}{24 \cdot n} = \frac{4.18 \cdot 1000}{24 \cdot 2} = 87.23 \text{ л/год.} \qquad (4.15)$$

Приймаємо до установки по два насоса-дозатора вапняного молока типу НД-030/10 діапазоном регулювання подачі розчину що дозується від 0 до 750 л/год. тиском Р=100 кПа з електродвигуном АТ2-21-4, N=1,1 кВт.

Приймаємо до установки по дві гідравлічні циркуляційні мішалки вапняного молока ємністю V=14 м^3, D_y-2600 мм.

Швидкість висхідного потоку в гідравлічній мішалці повинна бути не менш 15 м/год. При прийнятому насосі вапняного молока типу АР-100 швидкість висхідного потоку в мішалці, визначається за формулою:

$$w_м = \frac{Q_{в.м.}}{F_м} = \frac{90}{5,2} = 17,3 \text{ м/год.}$$

Витрата вапняного молока на один освітлювач складає 2,75/2=1,375 м^3/добу.

Установлена ємність двох вапняних мішалок забезпечить дозування вапняного молока протягом $\frac{14 \cdot 2 \cdot 24}{1.375} = 488.7$ год., тобто необхідно готувати розчин 1 рази на 20 діб.

Насоси вапняного молока до гідравлічних мішалок вибираємо типу АР-100 продуктивністю 9700 л/год. тиском Р=300кПа з електродвигуном АТ2-42-2, N=17кВт, n=1460 об/хв. Приймаємо два насоси.

Витрата коагулянту відповідно до прийнятої питомої витрати 0,7 г-екв/м^3 оброблюваної води визначимо за формулою:

$$Q_к^{доб} = \frac{24 \cdot Q_{у.} \cdot q_к \cdot E_к}{1000} = \frac{24 \cdot 78.33 \cdot 75,16 \cdot 0,7}{1000} = 98.9 \text{ кг/доб,} \qquad (4.16)$$

де $Q_к^{доб}$ – витрата безводного 100%-го коагулянту, кг/добу;

$E_к$ - еквівалент безводного коагулянту [16] 75,16;

q_k – максимально необхідна доза коагулянту, мг-екв/л.

Витрата 5%-го розчину коагулянту визначимо за формулою:

$$V_к^{доб} = \frac{Q_к^{доб} \cdot 100}{1000 \cdot p \cdot \rho_к} = \frac{98.9 \cdot 100}{1000 \cdot 5 \cdot 1,048} \approx 1.89 \text{ м}^3\text{/добу,}$$

тобто $V_г^{год} = \frac{V_к^{доб}}{24 \cdot 3} = \frac{1.89}{24 \cdot 3} = 0.026$ л/год.

Приймаємо до установки два насоси-дозатори розчину коагулянту типу HD-400/16 Q=400 л/год, Р=100кПа електродвигунами ВАО-21-4 = 1,1 кВт. У насоси-дозатори розчин надходить з видаткового бака розчину коагулянту.

Приймаємо до установки два видаткових баки розчину коагулянту ємністю 2,5 м^3, діаметром 2378 мм по одному на кожний освітлювач.

Для приготування розчину коагулянту на складі встановлюємо дві мішалки максимальною ємністю V=2 м^3.

Насоси розчину коагулянту вибираємо типу 1.5х-6л-1-51 Q= 5,4…12 м^3/год, Н=200кПа з електродвигуном АТ2-31-2 N=3 кВт, n=2880 об/хв. Приймаємо до установки два насоси.

Витрату ППА визначаємо за формулою:

$$Q_{ППА}^{доб} = \frac{24 \cdot Q_y \cdot q_{ППА}}{1000} = \frac{24 \cdot 78.33 \cdot 1}{1000} = 1.88 \text{ кг/добу},$$

де $q_{ППА}$ – доза визначається [16] 1 кг/добу.

Приймаємо до установки для розчинення ПАА.

Приймаємо до установки видатковий бак 1%-го розчину ПАА ємністю V=2м^3.

Добова витрата розчину ПАА 0,1%-го, що дозується, визначається за формулою:

$$V_{ПАА}^{доб} = \frac{Q_{ПАА}^{доб} \cdot 100}{1000 \cdot 0{,}1 \cdot \rho} = \frac{1.88 \cdot 100}{1000 \cdot 0{,}1 \cdot 1} = 1.88 \text{ м}^3\text{/добу},$$

де $V_{ПАА}^{доб}$ – обсяг розчину поліакриламіну, що дозується, м^3/добу;

Витрата на один освітлювач у годину складе:

$$V_{ПАА}^{доб} = \frac{V_{ПАА}^{доб} \cdot 1000}{2 \cdot 24} = \frac{1{,}88 \cdot 1000}{48} = 39{,}16 \text{ л/год}.$$

Приймаємо до установки для дозування розчину ПАА по два насоса-дозатора на кожен освітлювач типу НД-400/10 і по одному видатковому баку розчину на кожен освітлювач.

4.2.2. Розрахунок натрій – катіонітових фільтрів

Розрахунок натрій-катіонітових фільтрів виконаний у табличній формі.

Таблиця 4.1

Натрій-катіонітові фільтри II-го ступеню

Найменування величин	Позн.	Одиниця виміру	Формула або обґрунтування	Розрахунок
Продуктивність фільтрів	Q_{NaII}	$м^3$/год	Приймаємо	75
Діаметр фільтра	ø	мм	Приймаємо	2000
Висота шару катіоніту (сульфовугілля)	$H_{шр}$	м	Приймаємо	2,5
Площа фільтрування	f_{NaII}	$м^2$	Табл. [15]	3,1
Обсяг катіоніту	$V_к$	$м^3$	$f_{NaII} \cdot H_{шр}$	7,75
Кількість працюючих фільтрів	a	шт.	Приймаємо	4
Кількість резервних фільтрів (загальних з I-м ступенем натрій-катіонування),		шт.	Приймаємо	1
Загальна твердість фільтрату (після I-го ступеню натрій-катіонування), що надходить на фільтри II-го ступеню катіонування)	$Ж_0^{ост-I}$	мг-екв/л	З попередніх розрахунків	0,1
Твердість фільтрату після II-го ступеню катіонування	$Ж_0^{ост-II}$	мг-екв/л	З попередніх розрахунків	0,02
Швидкість фільтрування	w_{NaII}	м/год.	$w_{NaII} = Q_{NaII}/f_{NaII}$	24,19
Число регенерацій фільтра	n		$n = \frac{24 \cdot Ж_0 \cdot Q_{Na}}{f_{Na} \cdot H_{сл} \cdot E_p^{Na} \cdot a}$	0,02
Робоча обмінна здатність сульфовугілля на II-го ступеню катіонування при питомій витраті солі q_c=350 г/г-екв і твердості води, що надходить на зм'якшення, 3,3 мг-екв/л,	E_{pNaII}	г-екв/$м^3$	Приймаємо [15]	300
Витрата 100%-ї солі на одну регенерацію	Q_c	кг	$Q_c = \frac{E_p^{Na} \cdot f_{Na} \cdot H_{сл} \cdot q_c}{1000}$	279

Найменування величин	Позн.	Одиниця виміру	Формула або обґрунтування	Розрахунок
Витрата міцного (26%-го) розчину солі на одну регенерацію	$Q_{н.р.}$	м	$Q_{н.р.} = \frac{Q_c \cdot 100}{1000 \cdot 1{,}2 \cdot 26}$	0,89
Густина 26%-го розчину солі при 20°С	ρ_{26}	т/м^3		1,2
Витрата технічної солі на регенерацію фільтра II-го ступеню	$Q_{т.с.}$	кг/добу	$Q_{т.с.} = \frac{Q_c \cdot n_{NaII} \cdot a \cdot 100}{93}$	24
Витрата води на регенерацію натрій-катіонітного фільтра II-го ступеню складається з:				
Витрати води спушувальну промивку	$Q_{сп}$	м^3	$Q_{сп} = \frac{4 \cdot f_{NaII} \cdot 60 t_{вз}}{1000}$	22,32
Витрати води на готування регенераційного розчину,	$Q_{р.р.}$	м^3	$Q_{р.р.} = \frac{Q_c \cdot 100}{1000 \cdot b \cdot \rho}$	2,6
Концентрація регенераційного розчину, приймаємо для фільтрів II-го ступеню	b	%	[16], табл.	10
Густина 10%-го розчину NaCl при 20 °С	ρ	г/см^3	[16], табл.	1,071
витрати води на відмивання катіоніта від продуктів регенерації	$Q_{от}$	м^3	$Q_{от} = q_{от} f_{NaII} H_ш$	31
Витрата води на одну регенерацію натрій-катіонітного фільтра II-го ступеню з урахуванням використання відмивних вод на промивання, що спушує	$Q_{о.п.}$	м^3	$Q_{о.п.} = Q_{р.р.} + Q_{от}$	33,6
Те ж у середньому за добу	$Q_{о.п.}$	м^3/добу	$Q \cdot n_{NaII}$	0,672

Таблиця 4.2

Натрій-катіонітові фільтри І-го ступеню

Найменування величин	Позн.	Од. виміру	Формула або обґрунтування	Розрахунок
Продуктивність фільтрів (без обліку незначної годинної витрати води на відмивання фільтра ІІ-го ступеню катіонування)	Q_{Na}	м^3/год.	Приймаємо за попередніми розрахунками	75
Діаметр фільтра	ø	мм	Приймаємо	2000
Кількість працюючих фільтрів	a	шт.	Приймаємо	4
Кількість резервних фільтрів загальних із ІІ-го ступеню катіонування,		шт.	Приймаємо	1
Твердість фільтрату після І-го ступеню катіонування	$Ж_0^{NaI}$	мг-екв/л	$Ж_0^{NaI} = Ж_0 - Ж_K + Ж_{OCT}$	3,7
Нормальна швидкість фільтрування при роботі всіх робочих фільтрів	w_{NaII}	м/год.	$w_{\text{NaII}} = Q_{\text{NaII}}/f_{Na}a$	6
Максимальна швидкість фільтрування, при регенерації одного з фільтрів	w	м/год.	$w = \dfrac{Q_{NaI}}{f_{NaI}(a-1)}$	8
Число регенерації кожного фільтра	n_{NaI}	раз/добу	$n_{NaI} = \dfrac{Q_{NaI} \cdot Л_0^{ост-I} \cdot 24}{V_к \cdot E_{pNaI}}$	1
Робоча обмінна здатність, при питомій витраті солі на регенерацію (q_c =150 г/г-екв)	E_{pNaI}	г/екв/м^3	$E_{PNaI} = \alpha_E \cdot \beta_{NaI} \cdot 500 - 0{,}5 \cdot Q \cdot Л_0^{NaI}$	249
Витрата солі на одну регенерацію	Q_c	кг	$Q_c = \dfrac{E_{pNaI} V_k q_c}{1000}$	231,6
Витрата міцного (25%-го) розчину солі на одну регенерацію	$Q_{нр}$	м^3	$Q_{нр} = \dfrac{Q_c \cdot 100}{1000 \cdot 1{,}2 \cdot 26}$	0,74
Витрата технічної солі на регенерацію фільтрів І-го ступеню		кг/доб	$Q_{т.с.} = \dfrac{Q_c \cdot n_{NaI} \cdot a \cdot 100}{93}$	996,12
Витрата води на одну регенерацію натрій-катіонітного фільтра І-го ступеню складається з:				

Найменування величин	Позн.	Од. виміру	Формула або обґрунтування	Розрахунок
витрати води на промивання, що спушує		$м^3$	з таблиці	22,32
витрати води на готування регенераційного розчину		$м^3$	$Q_{р.р.} = \frac{Q_c \cdot 100}{1000 \cdot b \cdot \rho}$	3,7
концентрація регенераційного розчину для фільтра І-го ступеню	b	%	[16], табл.	6
щільність 7%-го розчину при 20°С	p	$г/см^3$	[16], табл.	1,041
витрати води на відмивання катіоніту		$м^3$	З табл.	31
Витрата води на одну регенерацію натрій-катіонітного фільтра І-го ступеню з урахуванням використання відмитих вод при розпушенні			$Q_{о.п.} = Q_{р.р.} + Q_{от}$	34,7
Витрата води на регенерацію фільтрів І-го ступеню		$м^3$/добу	$Q_{О.П.}^{ДОБ} = 33{,}9 \cdot a \cdot n_{NaI}$	135,6
Витрата води на регенерацію фільтрів І-го ступеню у середньому за годину		$м^3$/год.		5,65

Приймаємо Na-катіонітові фільтри І-го ступеню - 4 шт., ІІ-го ступеню - 4 шт. (один загальний), діаметром 2000 мм. Насос промивання катіонітових фільтрів 4ДО Q=25 $м^3$/год., Н= 300кПа, електродвигун АТ2-41-2, n=2800об/хв., N=25 кВт.

4.2.3. Склад реагентів

Збереження реагентів у водопідготовчих установках котельної планується в приміщенні водопідготовки. Збереження реагентів передбачаємо на 30-денний запас при доставці їх залізницею. При доставці реагентів залізничним транспортом передбачається можливість одноразового прийому великовантажного вагона при наявності запасу на 5-10 днів.

Збереження реагентів здійснюється такими способами:

1. Збереження повареної солі

Передбачається сухе збереження основної маси солі з запасом на 30 днів, і мокре збереження приготовленого розчину повареної солі в двох резервуарах обсягом 20 $м^3$ кожний. Резервуари виготовлені з залізобетону і мають антикорозійне покриття.

Насос розчину солі встановлюємо корозійностійкий марки 1,5ДО-6Д1-41, електродвигун АТ2-31-2, Q=6 $м^3$/год., Н= 180кПа, електродвигун АТ2-41-2, n=2800 об/хв., N=3 кВт.

Збереження міцного (26%-го) розчину солі здійснюємо в мірних баках. Проектуємо два мірних бака, ємності яких приймаємо з компонувально-конструкторських міркувань. Приймаємо два бака V=6,3 $м^3$.

2. Збереження коагулянту

Так як збереження коагулянту практично не відрізняється від збереження солі, то призначаємо два бака розчину коагулянту V=6,3 $м^3$.

РОЗДІЛ 5. РОЗРОБКА ЗАХОДІВ З ОХОРОНИ ПРАЦІ

5.1. Охорона праці та організація безпечної експлуатації теплового господарства

5.1.1. Організаційно-технічні вимоги до експлуатації теплових установок та мереж

Експлуатація, ремонт та налагодження теплового устаткування повинні базуватися на принципах надійності, економічності та безумовного дотримання вимог пожежної, екологічної безпеки та охорони праці.

Функціональні обов'язки відповідального персоналу

Керівництво підприємства та особи, відповідальні за технічний стан теплового господарства, зобов'язані забезпечити:

Технічний стан: підтримку обладнання у справному стані та його обслуговування згідно з чинними нормативно-правовими актами.

Енергоефективність: недопущення необґрунтованих втрат теплової енергії та використання вторинних енергоресурсів.

Режимний контроль: дотримання встановлених договором гідравлічних і теплових параметрів за допомогою автоматизованих систем обліку.

Кадрову безпеку: організацію навчання, регулярних інструктажів та перевірки знань персоналу з питань охорони праці.

Аварійний менеджмент: розслідування причин відмов у роботі та нещасних випадків у встановлені терміни.

5.1.2. Система технічного обслуговування та регламентних робіт

На підприємстві впроваджується система планово-попереджувальних ремонтів (ППР), що має запобіжний характер.

Класифікація ремонтних робіт:

Технічне обслуговування: комплекс контрольних оглядів, випробувань, очищення та регулювання для усунення дрібних дефектів.

Поточний ремонт: роботи з відновлення працездатності устаткування та заміни окремих вузлів для забезпечення номінальної потужності до наступного ремонту.

Капітальний ремонт: повне відновлення ресурсу агрегатів, що включає заміну базових деталей та, за необхідності, модернізацію обладнання.

До початку капітального ремонту обов'язково складаються відомості дефектів, графіки робіт та готуються ремонтні майданчики з дотриманням норм промислової санітарії.

5.1.3. Технічне діагностування та критерії безпеки

Постійний контроль технічного стану будівель, споруд та безпосередньо теплових мереж є обов'язковим.

Мета діагностування: визначення фактичної працездатності, виявлення вразливих місць та прогнозування подальшого ресурсу.

Заборона експлуатації: Категорично забороняється робота систем у разі виявлення аварійно-небезпечних дефектів.

5.1.4. Експлуатація котельного устаткування

Протокол пуску та зупинки

Котли, що вводяться вперше, підлягають обов'язковому очищенню та лугуванню з подальшим антикорозійним захистом.

Під час пуску після ремонту перевіряється справність засобів автоматизації та захисту; за їх несправності пуск заборонено.

Підтягування болтових з'єднань фланців допускається лише за надлишкового тиску 0,3-0,5 МПа.

Умови негайної аварійної зупинки котла:

Порушення водного режиму: недопустиме відхилення рівня води в барабані або вихід з ладу всіх водовказівних приладів.

Механічні пошкодження: розрив труб, виявлення тріщин в основних елементах під тиском.

Збій процесу горіння: погасання факела, вибух у паливні або розрив газопроводу в межах котла.

Загроза персоналу: виникнення пожежі, що загрожує людям або лініям дистанційного керування захистами.

5.1.5. Обслуговування теплових мереж та арматури

Технічні обмеження та охоронні зони

Охоронна зона: Забороняється будівництво споруд, насадження дерев або розміщення стоянок на відстані менше 3 м від проекції краю трубопроводів.

Щороку перед опалювальним періодом проводиться коригування оперативних схем та планів мережі.

Гідравлічні випробування: Всі наново змонтовані або відремонтовані ділянки підлягають випробуванням на міцність і щільність тиском, що не перевищує максимально допустимий.

Захист від корозії та ізоляція

Введення в експлуатацію трубопроводів без антикорозійного покриття та проектної теплоізоляції забороняється. Для фланцевих з'єднань слід використовувати виключно пароніт або інші термостійкі матеріали; застосування гумових чи картонних прокладок недопустиме.

Маркування арматури

Кожна одиниця запірної арматури повинна мати:

Номер згідно з оперативною схемою.

Покажчик напрямку руху теплоносія та обертання штурвала.

Важливо: Використання запірної арматури для регулювання параметрів потоку заборонено — вона має бути або повністю відкрита, або повністю закрита.

ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі розроблено систему опалення для двоповерхової лабораторно дослідницької будівлі промислового підприємства.

Підібрана двотрубна горизонтальна система опалення з примусовою циркуляцією. У якості опалювальних приладів використовуємо радіатори типу МС-140-180 та регістри із гладких труб. Розроблена аксонометрична схема системи опалення.

За результатами гідравлічного розрахунку встановили діаметри труб подачі теплоносія 15 та 20 мм та діаметри труб відведення - 15 мм. Система перевірена на працездатність. Для системи опалення підібрано циркуляційний насос Grundfos UPS 32-80 180, щоб забезпечити кращу подачу теплоносія, оскільки природної циркуляції не достатньо.

Розроблений котельний агрегат ДЕ-4. Водогрійний котел теплопродуктивністю 20 Гкал/год, який входить до складу котельні, знаходиться поряд з розглядаємою лабораторно дослідницькою будівлею.

Була підібрана технологічна схема водопідготовки. Проведені розрахунки устаткування установки попередньої обробки котлової води, підібрано натрій-катіонітні фільтри. Розрахунок виконано для потреб додаткової води, тому що частина котлової води втрачається у циклі, частина пари може йти на промислові потреби.

Розроблено комплекс організаційних заходів, що регламентують безпечну експлуатацію та обслуговування теплових установок і мереж згідно з чинними нормами.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Боженко М.Ф. Системи опалення, вентиляції і кондиціювання повітря будівель : навч. посіб. для студентів спеціальності 144 «Теплоенергетика». Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 380 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: file:///C:/Users/ADMIN/ Downloads/2019BozhenkoMF_NavchPosib.pdf

2. Буд А. Ф., Колодяжний В. В. Розрахунок та проектування систем вентиляції та кондиціювання повітря. Київ : ТОВ «Вент-сервіс», 2014. 344 с.

3. Глушко Ю. Ю. Опалення : навч. посіб. 2019 рік. Автор-упорядник: Глушко Ю. Ю., над навчальним посібником працювали: Безпалько Н. О., Боброва Т. Б., Високос С.М., Гусєв П.С., Засєдатєлєв І. В., Лєбєдєв С. О., Сашко В. О., Семироз М. В., Терещенко Т. М., Черниш В. В. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://mon.gov.ua/storage/app/media/news/Новини/ 2020/04/28 /2opalennya.pdf 34

4. ДБН В.2.5-20-2018 Газопостачання. Інженерне обладнання будинків і споруд. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=82086

5. ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/1-1-0-1018.

6. ДБН В.2.5-77:2014 Котельні. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=59086

7. ДБН В.2.6-31:2016 Теплова ізоляція будівель. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://gazobeton.org/sites/default/ files/sites/all/uploads/DBN-V.2.6-31-2016-Teplova-izolyatsiyabudivel.pdf

8. Джерела та системи теплопостачання і основи їх проектування [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів спеціальності 144 «Теплоенергетика» освітньо-професійної програми «Теплоенергетика» кваліфікаційного рівня «бакалавр» / укладач Кузнецова С.А.: НУК. – Електронні текстові дані (1 файл: 2.3 Мбайт). Миколаїв : НУК, 2022. 105 с.

9. ДСТУ Б EN 15251:2011 Розрахункові параметри мікроклімату приміщень для проектування та оцінки енергетичних характеристик будівель по відношенню до якості повітря, теплового комфорту, освітлення та акустики [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.mathcentre.com.ua/download/dstu_ en_15251-2011.pdf

10. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 Будівельна кліматологія. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://finance.smr.gov.ua/ files/Енергозбереження/dstu-n-b-v11-27-2010-budivelnaklimatologiya.pdf

11. ДСТУ-Н Б В.2.6-191:2013 Настанова з розрахункової оцінки повітропроникності огороджувальних конструкцій [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://online.budstandart.com/ ua/catalog/doc-page?id_doc=56183

12. Дубровська В.В. , Шкляр В.І. Визначення теплового навантаження будівель та вибір системи теплопостачання : навч. посіб. Київ : НТУУ «КПІ», 2011. 116 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/28250/1/teplovenavantagenya.pdf

13. Єнін П. М., Швачко Н. А. Теплопостачання (частина І «Теплові мережі та споруди») : навч. посіб. Київ : Кондор, 2007. 244 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/Enin_2007_244.pdf

14. Зайцев О.М., Любарець О.П. Проектування систем опалення. Відень, 2008. 201 с.

15. Запольський А.К., Мішкова-Клименко Н.А., Астрелін І.М., Брик М.Т. Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод: Київ : Лібра, 2000. 552 с.

16. Поняття «очистка» та «обробка» води. Основні способи очистки. https://staff.tiiame.uz/storage/users/120/presentations

17. Слаутіна Т. Г., Кузнецова С.А. Проектування водяних систем опалення : навч. посіб. Миколаїв: НУК, 2009. 68 с.

18. Степанов Д.В.. Корженко Є.С., Бондар Л.А. Котельні установки промислових підприємств: навч. посіб. Вінниця : ВНТУ, 2011. 120 с.