

«Допущений до захисту»

Завідувач кафедри

« 8 » 06 2026 р.

### КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»

**на тему:** Розробка системи теплопостачання корпусу центральної міської лікарні Рівненської міської ради загальною площею 1484 м<sup>2</sup> з розробкою теплообмінного апарату.

Виконав: студент групи 47-ТЕ-22

(підпис)

**Мовчан А.А.**

Керівник роботи:

Ст. викладач кафедри ЕІ та РС ПННІ НУК

(посада, науковий ступінь, вчене звання)

(підпис)

**Шостак О.В.**

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

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

**«ЗАТВЕРДЖУЮ»**

Гарант освітньої програми

«13» \_\_\_\_\_ 2026 р.

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

Студенту **Мовчан Артем Андрійович**

(Прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Розробка системи теплопостачання корпусу центральної міської лікарні Рівненської міської ради загальною площею 1484 м<sup>2</sup> з розробкою теплообмінного апарату.

Керівник роботи ст. викладач кафедри ЕІ та РС Шостак О.В.

Затверджено розпорядженням ПННІ НУК № 08 від «12» 01.2026 року

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

3. Вихідні дані по роботі: Об'єктом проектування є корпус центральної міської лікарні Рівненської міської ради. План двоповерхової хірургічної лікарні Будівля має два поверхи висотою по 3,3 метри. Висота всієї будівлі 10 метрів.

Під всією будівлею є неопалюємий підвал. Фасад будівлі орієнтований на південь. Рельєф ділянки забудови - спокійний.

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

1. Характеристика об'єкта, для якого розробляється система теплопостачання.
2. Розробка системи опалення.
3. Розробка системи вентиляції.
4. Розробка конструктивного вузла.
5. Розробка елемента системи теплопостачання – теплового вузла.
6. Розробка заходів з охорони праці

## 5. Перелік презентаційних матеріалів

1. План будівлі. 2. Аксонометрична схема опалення 3. Аксонометрична схема вентиляції. 4. Креслення теплообмінного апарату. 5. Креслення теплового пункту.

### 1. Консультанти розділів роботи

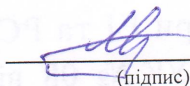
| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата   |                  |
|--------|-------------------------------------------|----------------|------------------|
|        |                                           | завдання видав | завдання прийняв |
|        |                 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

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

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

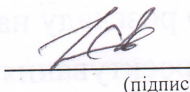
| Номер | Назва етапів роботи                                                     | Термін виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|-------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|----------|
| 1     | Характеристика об'єкта, для якого розробляється система тепlopостачання | 04.03.26                       |          |
| 2     | Розробка системи опалення                                               | 18.03.26                       |          |
| 3     | Розробка системи вентиляції                                             | 15.04.26                       |          |
| 4     | Розробка конструктивного вузла.                                         | 29.04.26                       |          |
| 5     | Розробка елемента системи тепlopостачання теплового вузла               | 01.05.26                       |          |
| 6     | Розробка заходів з охорони праці                                        | 06.05.26                       |          |
| 7     | Графічна частина                                                        | 27.05.26                       |          |

Студент

  
(підпис)

Мовчан А.А.

Керівник роботи

  
(підпис)

Шостак О.В.

## АНОТАЦІЯ

У кваліфікаційній роботі розроблено проект систем опалення, вентиляції та гарячого водопостачання для двоповерхової міської лікарні. На основі теплотехнічних розрахунків спроектовано однотрубну систему водяного опалення з нижнім розведенням. Розрахункова теплова потужність системи становить 99 143 Вт. Для найнавантажениших ділянок визначено діаметри трубопроводів, а також рекомендовано встановлення циркуляційного насоса для компенсації гідравлічних втрат.

У проекті передбачено застосування загальнообмінної припливно-витяжної вентиляції з повітроводами прямокутного перетину. Розглянуто конструкцію кожухотрубного теплообмінника, проаналізовано його основні елементи. Запропоновано схему індивідуального теплового пункту для забезпечення гарячого водопостачання, з розміщенням обладнання та запірно-регулювальної арматури.

У роботі також висвітлено питання охорони праці при монтажі та експлуатації інженерних систем відповідно до діючих нормативних вимог.

**Ключові слова:** опалення, вентиляція, однотрубна система, теплова потужність, циркуляційний насос, тепловий пункт, гаряче водопостачання, кожухотрубний теплообмінник, інженерні системи, охорона праці.

## ABSTRACT

The qualification work developed a design of heating, ventilation and hot water supply systems for a two-story city hospital. Based on thermal calculations, a single-pipe water heating system with a lower branch was designed. The estimated thermal power of the system is 99143 W. The diameters of the pipelines were determined for the most loaded sections, and the installation of a circulation pump was recommended to compensate for hydraulic losses.

The project provides for the use of general exchange supply and exhaust ventilation with rectangular air ducts. The design of the shell-and-tube heat exchanger was considered, its main elements were analyzed. A scheme of an

individual heat point for providing hot water supply, with the placement of equipment and shut-off and control valves, was proposed.

The work also highlights the issue of labor protection during the installation and operation of engineering systems in accordance with current regulatory requirements.

**Keywords:** heating, ventilation, one-pipe system, thermal power, circulation pump, heat point, hot water supply, shell-and-tube heat exchanger, engineering systems, labor protection.

## ЗМІСТ

|                                                                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВСТУП.....                                                                                                   | 6  |
| РОЗДІЛ 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ, ДЛЯ ЯКОГО РОЗРОБЛЯЄТЬСЯ СИСТЕМА ВОДЯНОГО ОПАЛЕННЯ.....                     | 9  |
| РОЗДІЛ 2. ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ ВОДЯНОГО ОПАЛЕННЯ...                                                          | 12 |
| 2.1 Теплотехнічний розрахунок огорожувальної конструкцій будівлі.....                                        | 12 |
| 2.2 Розрахунок тепловтрат через зовнішні огороження.....                                                     | 19 |
| 2.3 Розрахунок теплового балансу приміщення.....                                                             | 22 |
| 2.4 Визначення питомої опалювальної характеристики.....                                                      | 23 |
| 2.5 Розробка схеми системи опалення.....                                                                     | 24 |
| 2.6 Розробка аксонометричної схеми.....                                                                      | 25 |
| 2.7 Тепловий розрахунок опалювальних приладів.....                                                           | 25 |
| 2.8 Гідравлічний розрахунок трубопроводів системи водяного опалення.....                                     | 30 |
| РОЗДІЛ 3. ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ ВЕНТИЛЯЦІЇ.....                                                               | 38 |
| 3.1 Організація повітрообміну.....                                                                           | 38 |
| 3.2 Аеродинамічний розрахунок.....                                                                           | 40 |
| 3.3 Вибір калорифера.....                                                                                    | 47 |
| 3.4 Вибір вентилятора.....                                                                                   | 49 |
| РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА КОНСТРУКТИВНОГО ВУЗЛА.....                                                                | 50 |
| 4.1 Розрахункова схема теплообмінного апарату.....                                                           | 50 |
| 4.2 Проектування теплообмінного апарату.....                                                                 | 51 |
| 4.2.1 Аналіз типів теплообмінних апаратів найбільш придатних для даної задачі. Опис обраної конструкції..... | 51 |
| 4.2.2 Розрахунки апарату.....                                                                                | 55 |
| РОЗДІЛ 5. РОЗРОБКА ЕЛЕМЕНТА СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ – ТЕПЛОВОГО ВУЗЛА.....                                   | 64 |
| РОЗДІЛ 6. РОЗРОБКА ЗАХОДІВ З ОХОРОНИ ПРАЦІ.....                                                              | 67 |
| 6.1 Небезпечні і шкідливі фактори.....                                                                       | 67 |
| 6.2 Розробка заходів щодо охорони праці при монтажі вентиляції....                                           | 68 |
| 6.3 Розробка заходів щодо охорони праці при зварювальних роботах монтажу систем опалення.....                | 70 |

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| ВИСНОВКИ.....                    | 73 |
| ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ..... | 75 |
| ДОДАТКИ.....                     | 76 |
| СПЕЦІФІКАЦІЯ.....                | 91 |

## ВСТУП

Енергетичне господарство є ключовою складовою функціонування будь-якого виробництва та важливим елементом системи енергопостачання усіх галузей народного господарства.

В умовах сучасного економічного стану, зокрема й у сфері агропромислового комплексу, питання раціонального використання паливно-енергетичних ресурсів набуває особливої актуальності. Воно передбачає впровадження енергозберіжних технологій, сучасних конструктивних рішень і ефективну експлуатацію систем енергозабезпечення.

На сьогоднішній день значна частка загального обсягу теплової енергії – понад третину – споживається для забезпечення тепlopостачання та опалення як промислових так і цивільних будівель. Саме в цій сфері приховано суттєвий потенціал для підвищення енергоефективності.

Володіння основами проектування систем опалення та тепlopостачання, вміння приймати обґрунтовані технічні рішення, а також знання принципів економічної експлуатації таких систем є вкрай важливими для фахівців технічного профілю.

Сучасні будівлі обладнуються комплексами інженерних систем життєзабезпечення, серед яких системи опалення й вентиляції відіграють провідну роль. Для створення комфортного мікроклімату у внутрішніх приміщеннях необхідне застосування ефективних і технологічно досконалих інженерних рішень. Такі системи забезпечують підтримання нормативних параметрів повітряного середовища протягом усього періоду експлуатації, що сприяє збереженню працездатності та гарного самопочуття людей. У даній дипломній роботі системи опалення і вентиляції лікарні, які використані автоматизовані і легкі в управлінні, економічні в експлуатації, зручні в обслуговуванні, не порушують загального інтер'єру приміщень. Спеціальні засоби дозволяють захищати людей від шкідливих впливів шуму і вібрації.

Медичні заклади є об'єктами з підвищеними вимогами до мікроклімату, теплового комфорту та якості повітря, що безпосередньо впливають на

ефективність лікувального процесу та безпеку пацієнтів і персоналу. Забезпечення раціональної роботи інженерних систем — опалення, вентиляції та гарячого водопостачання — потребує обґрунтованих технічних рішень, які базуються на сучасних розрахункових методиках, енергоефективних технологіях та дотриманні нормативних вимог. Проектування таких систем для лікарняного закладу має враховувати не лише теплотехнічні характеристики будівлі, але й особливості її функціонального зонування, графіку роботи та специфіку санітарно-гігієнічних вимог.

### **Мета роботи**

Метою роботи є проектування ефективної системи опалення, вентиляції та гарячого водопостачання для двоповерхової міської лікарні з урахуванням теплотехнічних характеристик будівлі, нормативних вимог і сучасних енергоощадних рішень.

### **Завдання роботи**

- зібрати вхідні дані та виконати теплотехнічні розрахунки приміщень лікарні.
- розрахувати теплові втрати будівлі та визначити необхідну теплову потужність системи опалення.
- розробити однотрубну систему водяного опалення з нижнім розведенням.
- провести гідравлічний розрахунок трубопроводів і обрати циркуляційний насос.
- розробити схему загальнообмінної припливно-витяжної вентиляції.
- запроектувати систему гарячого водопостачання та схему індивідуального теплового пункту.
- розглянути конструкцію кожухотрубного теплообмінника.
- опрацювати питання охорони праці під час монтажу та експлуатації інженерних систем.

## **Об’єкт дослідження**

Будівля Комунального некомерційного підприємства “Чернівецька обласна клінічна лікарня” — двоповерховий лікувальний корпус, у якому функціонують адміністративні, діагностичні та стаціонарні приміщення.

## **Предмет дослідження**

Процеси теплопостачання, вентиляції та гарячого водопостачання у будівлях медичного призначення, а також методи їхнього проектування, розрахунку та оптимізації для забезпечення нормативного мікроклімату.

## **Методи дослідження**

У роботі використано методи теплотехнічного та гідравлічного розрахунку, графічного моделювання інженерних систем, нормативно-аналітичний метод (відповідно до ДБН, ДСТУ та СНіП), методи порівняльного аналізу енергоефективності обладнання, а також елементи інженерного проектування та розробки технологічних схем.

## **Очікувані результати дослідження**

- проект однотрубної системи опалення з урахуванням розрахункової теплової потужності;
- схеми систем вентиляції та гарячого водопостачання з техніко-економічним обґрунтуванням;
- вибір енергоефективного обладнання (насосів, теплообмінників, арматури);
- сформована аксонометрична схема стояків і вузлів систем;
- заходи з охорони праці для безпечного виконання монтажних робіт.

## **РОЗДІЛ 1 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ, ДЛЯ ЯКОГО РОЗРОБЛЯЄТЬСЯ СИСТЕМА ВОДЯНОГО ОПАЛЕННЯ.**

Об'єктом проектування є будівля комунального некомерційного підприємства «Чернівецька обласна клінічна лікарня». Територія забудови характеризується спокійним рельєфом. Будівля має два надземні поверхи, кожен висотою 3,3 м. Загальна висота споруди становить 10 м. Під усією площею будівлі розміщено неопалювальний підвальный поверх. Фасад будівлі орієнтований у південному напрямку.

### **Заповнення прорізів**

Віконні конструкції у приміщеннях лікарні підібрані відповідно до вимог природного освітлення. У проекті передбачено встановлення вікон розміром 1,5 × 1,5 м.

Вхідні двері запроектовані у вигляді подвійних металевих полотен розміром 1,2 × 2,1 м. Крім того, передбачено використання внутрішніх дерев'яних дверей розміром 0,9 × 2,1 м.

### **Конструкція зовнішніх стін**

Огороджувальні конструкції зовнішніх стін виконані із глиняної звичайної цегли, укладеної на вапняно-піщаному розчині, з утепленням мінераловатними плитами. Зовнішня поверхня стін оштукатурена вапняно-піщаним розчином.

### **Конструкція підлог**

Підлоги приміщень запроектовані у вигляді багатошарової конструкції, що складається з залізобетонної плити перекриття, теплоізоляційного шару з мінераловатних матів (прошитих на синтетичному в'язучому), повітряного прошарку, утвореного дерев'яними лагами перерізом 40 × 80 мм, які встановлюються на цегляні стовпчики, та верхнього шару з соснових дощок.

Місто Рівне розташоване у північно-західній частині України, в зоні помірно-континентального клімату з помірною вологістю. Кліматичні умови цього регіону мають вирішальне значення для проектування систем опалення, вентиляції та забезпечення енергетичної ефективності будівель.

Згідно з [ДБН В.2.6-31:2021] та [ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010], основні кліматичні параметри для м. Рівне мають такі значення:

Кліматичний район за температурою зовнішнього повітря — ІІА;

Розрахункова температура зовнішнього повітря в опалювальний період ( $t_3$ ):  
–22 °С;

Середня температура опалювального періоду ( $t_{cp}$ ): –1,7 °С;

Тривалість опалювального періоду ( $z$ ): 180 діб;

Середня температура найхолоднішої п'ятиденки: –18 °С;

Абсолютна мінімальна температура повітря: до –30 °С;

Середня річна температура повітря: +7,6...+8,0 °С;

Середня температура найтеплішого місяця (липень): +18,5...+19,5 °С;

Річна кількість опадів: 600–650 мм;

Сніговий район — ІІ (нормативне навантаження 0,9 кПа);

Вітровий район — ІІ (розрахункова швидкість вітру — до 24 м/с);

Переважаючі напрямки вітру: північно-західний, західний.

Такі кліматичні умови вимагають ретельного підбору конструкцій огорожень, рівня теплоізоляції, режимів роботи інженерних систем, а також врахування періодичних і пікових навантажень у зимовий період.

Розрахункові параметри повітря в приміщеннях приймаємо згідно ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування». Розрахункова температура представлена в таблиці 1.1.

**Розрахункова температура**

| Приміщення                   | Розрахункова температура повітря, °C |
|------------------------------|--------------------------------------|
| Палата на двох людей         | 21                                   |
| Палата на трьох людей        | 21                                   |
| Палата на чотирьох людей     | 21                                   |
| Хол                          | 21                                   |
| Туалет                       | 18                                   |
| Кімната відпочинку           | 21                                   |
| Коридор                      | 18                                   |
| Комора                       | 16                                   |
| Кабінет лікаря               | 21                                   |
| Кабінет завгоспа             | 21                                   |
| Сходова клітка               | 16                                   |
| Архів                        | 21                                   |
| Кімната вахтерів             | 21                                   |
| Гардероб                     | 21                                   |
| Кабінет директора            | 21                                   |
| Процедурний кабінет          | 21                                   |
| Кімната відпочинку персоналу | 21                                   |
| Кімната чергового на поверсі | 21                                   |
| Комора                       | 16                                   |
| Конференц-зал                | 20                                   |

## РОЗДІЛ 2. ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ ВОДЯНОГО ОПАЛЕННЯ

### 2.1 Теплотехнічний розрахунок огорожувальної конструкцій будівлі

У цьому розділі виконується розрахунок основних теплотехнічних характеристик огорожувальних елементів будівлі. Одним з основних показників теплозахисної здатності конструкції є приведений опір теплопередачі  $R_0$ . Рациональний вибір конструктивного рішення огороження та обґрунтоване значення його теплотехнічного опору є визначальними факторами для забезпечення нормативного мікроклімату у приміщеннях і підвищення енергоефективності будівлі загалом.

Теплотехнічний аналіз проводиться для всіх основних огорожувальних елементів:

- зовнішніх стін;
- горіщного перекриття (або покрівлі);
- віконних і дверних заповнень прорізів;
- конструкцій підлоги по ґрунту або над неопалюваним підвалом.

Метою розрахунку є перевірка відповідності огорожень вимогам чинних будівельних норм щодо теплозахисту будівель, а також забезпечення економічно обґрунтованих витрат на опалення.

Теплотехнічний розрахунок огорожуючої конструкцій робимо по [2].

$$ГДОП = (t_{\text{в}} - t_{\text{от.пер.}}) \cdot Z_{\text{от.пер.}}, ^\circ\text{C} \cdot \text{доб} \quad (2.1.)$$

де  $t_{\text{от.пер.}}$  - середня температура опалювального періоду,  $^\circ\text{C}$ , [1];

$Z_{\text{от.пер.}}$  - тривалість періоду з середньодобовою температурою нижче або рівною  $10^\circ\text{C}$ , діб., [1];

$t_{\text{в}} = 21^\circ\text{C}$  – розрахункова температура внутрішнього повітря, яка приймається згідно ГОСТ 12.1.005-88 і нормам проектування відповідних будівель і споруд.

$$ГДОП = (21 + 3,4) \cdot 239 = 5832^\circ\text{C} \cdot \text{доб}$$

Умови експлуатації огорожуючої конструкції для нормального вологового режиму приміщень і нормальної зони вологості згідно з [2] приймаємо по параметрам Б. Усі значення заносимо в таблицю 2.1.

Таблиця 2.1.

### Зовнішня стіна

| № шару | Матеріал                | $\gamma_0$ кг/м | $\lambda_0$ Вт/м °С | $\delta$ , м |
|--------|-------------------------|-----------------|---------------------|--------------|
| 1      | Вапново-пісчаний розчин | 1600            | 0,81                | 0,03         |
| 2      | Кладка з глиняної цегли | 1800            | 0,81                | 0,125        |
| 3      | Плити мінераловатні     | 100             | 0,07                |              |
| 4      | Кладка з глиняної цегли | 1800            | 0,81                | 0,125        |

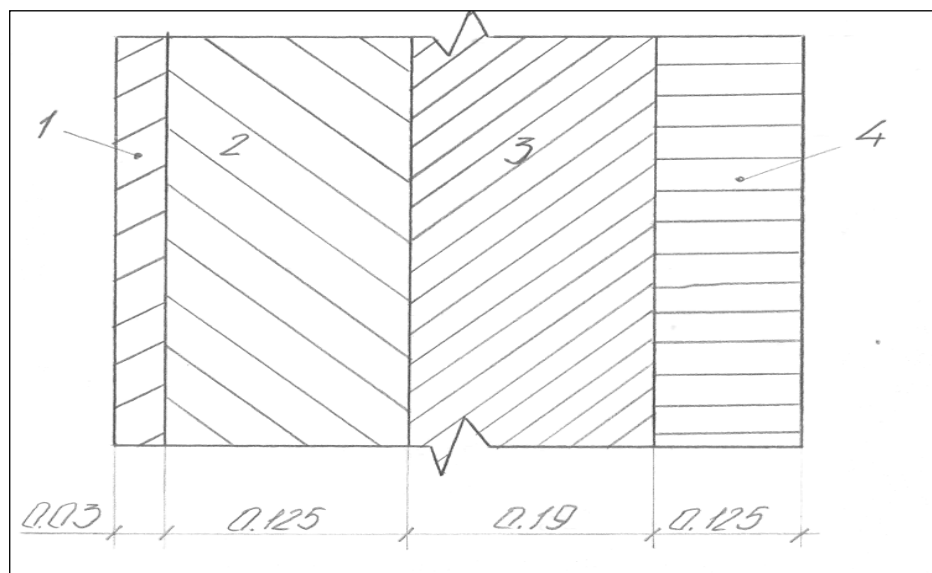


Рис. 2.1. Конструкція зовнішньої стіни

Знаходимо потрібний опір теплопередачі огорожуючої конструкції  $R_0^{тр.1}$ , яке відповідає санітарно - гігієнічним і комфортним умовам:

$$R_0^{mp1} = \frac{n \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{зов}})}{\Delta t^{\text{н}} \cdot \alpha_{\text{в}}}, \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)} \quad (2.2)$$

де  $n$ - коефіцієнт, який приймається в залежності від положення зовнішньої поверхні огорожуючих конструкцій по відношенню до зовнішнього повітря, [2];

$t_{\text{в}}$ - розрахункова температура внутрішнього повітря, °С;

$t_{зв}$ - розрахункова зимова температура зовнішнього повітря, °C, яка дорівнює середній температурі найбільш холодної п'ятиднівки, забезпеченістю 0,92, [1];

$\Delta t^H$ - нормативний температурний перепад між температурою внутрішньої поверхні огорожуючої конструкції, °C, [2];

$\alpha_g$  - коефіцієнт тепловіддачі від повітря до внутрішньої поверхні огорожуючої конструкції, Вт/(м<sup>2</sup>·°C), табл.4, [2].

$$R_0^{mp1} = \frac{1 \cdot (21 + 30)}{4,0 \cdot 8,7} = 1,47 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$$

По табл. 1 [2] визначаємо потрібний опір теплопередачі огорожуючої конструкції  $R$ , який відповідає умовам енергозбереження, для зовнішньої стіни:

$$R_0^{mp.2} = 3,1 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}.$$

Обираємо мінімально допустимий опір теплопередачі огорожуючої

$$\text{конструкції з умови } R_0^{\min} = \max\{R_0^{TP.1}, R_0^{TP.2}\}$$

$$\text{Для стін: } R_0^{\min} = R_0^{TP.2}$$

Знаходимо товщину теплоізоляційного шару  $\delta_{i=ym}$  огорожуючої конструкції за формулою:

$$\delta_{ym} = \lambda_{ym} \left[ R_0^{\min} - \left( \frac{1}{\alpha_g} + \sum_{i=1, i \neq ym}^{i=N} R_i + \frac{1}{\alpha_h} \right) \right], \text{ м} \quad (2.3)$$

Для стін товщина утеплюючого шару:

$$\delta_{ym} = 1 - [3,1 - (1/8,7 + 0,03/0,81 + 0,125/0,81 + 0,125/0,81 + 1/23)] = 0,182 \text{ м}$$

Округляємо величину  $\delta_{ym}$  в більшу сторону до ближчої уніфікованої товщини використовуємого у конструкції огороження утеплювача. Для стіни:  
 $\delta_{ym} = 0,19 \text{ м}.$

$$\text{Загальна товщина: } \delta = 0,03 + 0,125 + 0,19 + 0,125 = 0,47 \text{ м}$$

Визначаємо фактичний опір теплопередачі огорожуючої конструкції за формулою:

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_6} + \sum_{i=1}^{i=N} \frac{\delta}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_n}, \text{Вт}/(\text{м}^2\text{°C}) \quad (2.4)$$

Для стін;

$$R_0 = 1/8,7 + 0,03/0,81 + 0,125/0,81 + 0,19/0,07 + 0,125/0,81 + 1/23 = 3,104 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{°C})$$

Коефіцієнт теплопередачі огорожуючої конструкції розраховуємо за формулою:

$$k = \frac{1}{R_0}, (\text{м}^2\text{°C})/\text{Вт} \quad (2.5)$$

$$k = 1 / 3,104 = 0,322 (\text{м}^2\text{°C})/\text{Вт}.$$

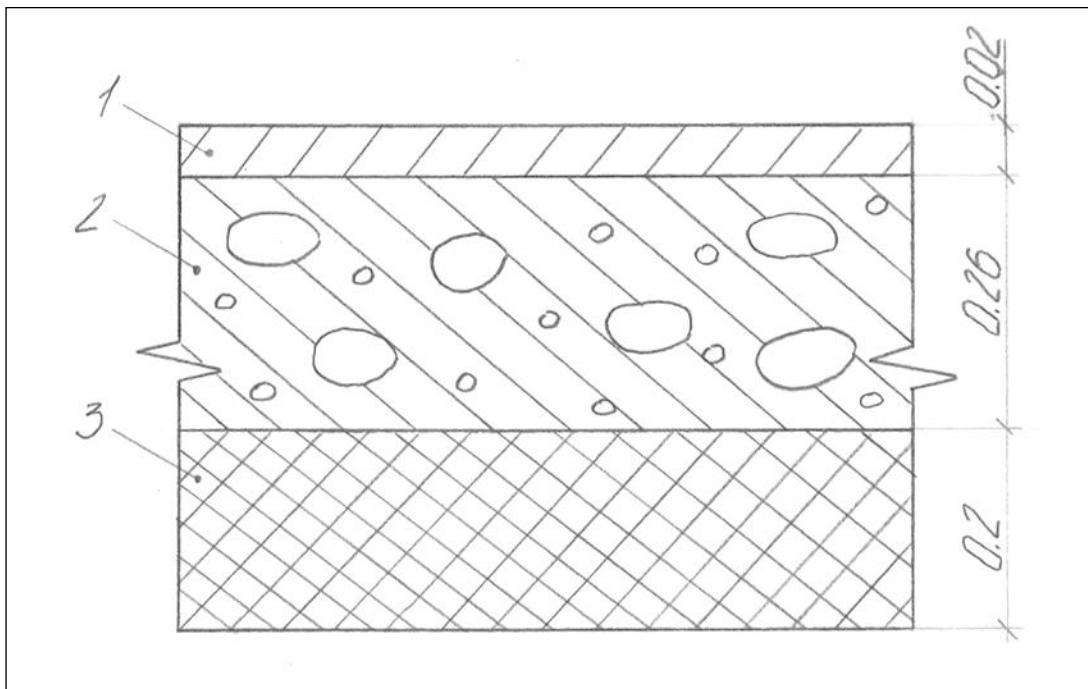


Рис. 2.2. Конструкція горищного перекриття

## Горищне перекриття

| № шару | Матеріал                                              | $\gamma_0$<br>кг/м <sup>3</sup> | $\lambda_0$<br>Вт/(м·°C) | $\delta$ , м |
|--------|-------------------------------------------------------|---------------------------------|--------------------------|--------------|
| 1      | цементно-пісчаний розчин                              | 1800                            | 0,936                    | 0,02         |
| 2      | залізобетонна плита                                   | 2500                            | 2,04                     | 0,26         |
| 3      | мати мінераловатні прошивні на синтетичному в'язучому | 50                              | 0,06                     |              |

Знаходимо потрібний опір теплопередачі перекриття  $R_0^{TP.1}$ , відповідає санітарно-гігієнічним і комфортним умовам за формулою (2.2):

$$R_0^{mp.1} = \frac{0,9 \cdot (21 + 30)}{3 \cdot 8,7 \alpha_g} = 1,76 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$$

По табл. 1[2] визначаємо потрібний опір теплопередачі огорожуючої конструкції  $R_0^{TP.2}$ , який відповідає умовам енергозбереження, для перекриття:  $R_0^{TP.2} = 4,03$ , Вт/(м<sup>2</sup> · °C).

Обираємо мінімально допустимий опір теплопередачі огорожуючої конструкції з умови:  $R_0^{\min} = \max\{R_0^{TP.1}, R_0^{TP.2}\}$ .

$$\text{Для перекриття: } R_0^{\min} = R_0^{TP.2}$$

Знаходимо товщину теплоізоляційного шару  $\delta_{i=ym}$ , за формулою (2.3):

$$\delta_{ym} = 0,06 \cdot [4,03 - (1/8,7 + 0,02/0,93 + 0,26/2,04 + 1/12)] = 0,196 \text{ м}$$

Округляємо величину  $\delta_{ym}$  в більшу сторону до найближчої уніфікованої товщини яка використовується в конструкції огороження утеплювача. Для перекриття:  $\delta_{ym} = 0,2$  м.

$$\text{Загальна товщина: } \delta = 0,02 + 0,26 + 0,2 = 0,48 \text{ м}$$

Визначаємо фактичний опір теплопередачі перекриття за формулою (2.4):

$$R_0 = 1 / 8,7 + 0,02 / 0,93 + 0,26 / 2,04 + 0,2 / 0,06 + 1 / 12 = 3,614 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$$

Коефіцієнт теплопередачі перекриття розраховуємо за формулою (2.5):

$$\kappa = 1 / 3,614 = 0,277 \text{ (м}^2\text{°С)/Вт.}$$

Таблиця 2.3

**Перекриття над підвалом**

| № шару | Матеріал                                                           | $\gamma_0$ , кг/м | $\lambda_0$ Вт/(м°С) | $\delta$ , м |
|--------|--------------------------------------------------------------------|-------------------|----------------------|--------------|
| 1      | Дошка соснова                                                      | 500               | 0,18                 | 0,029        |
| 2      | Повітряний прошарок (лаги з бруса 40х80 мм на цегляних стовпчиках) |                   |                      | 0,04         |
| 3      | Мати мінераловатні прошивні на синтетичному в'язучому              | 50                | 0,06                 |              |
| 4      | Залізобетонна плита перекриття                                     | 2500              | 2,04                 | 0,16         |

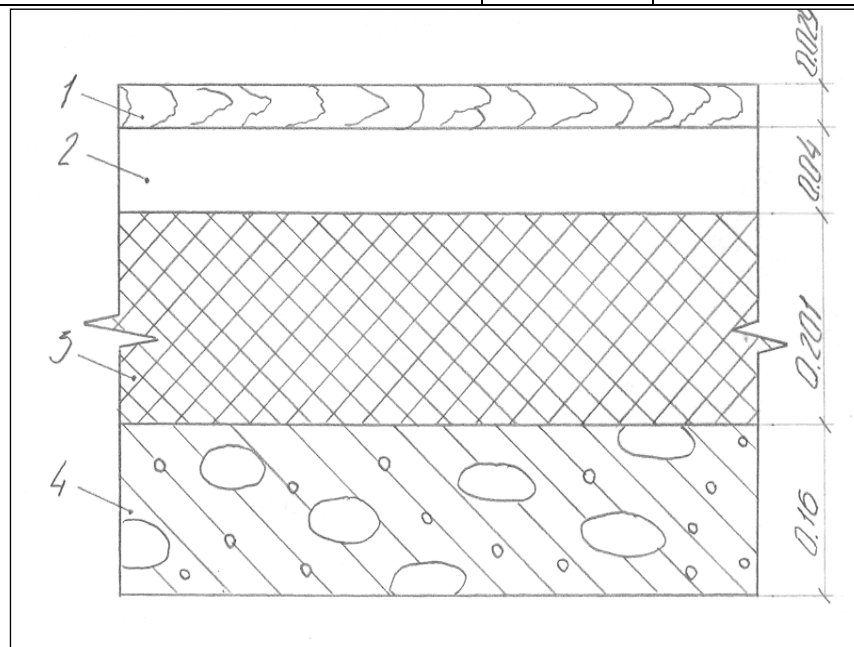


Рис. 2.3. Конструкція перекриття над підвалом

Знаходимо потрібний опір теплопередачі перекриття  $R_0^{TP.1}$ , яке відповідає санітарно-гігієнічним і комфортним умовам за формулою (2.2):

$$R_0^{mp1} = \frac{0,6 \cdot (21 + 30)}{2,0 \cdot 8,7} = 1,76 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°С)}$$

По табл. 1[2] визначаємо потрібний опір теплопередачі огорожуючої конструкції  $R_0^{TP.2}$ , який відповідає умовам енергозбереження, для перекриття:

$$R_0^{TP.2} = 4,03 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°С)}.$$

Обираємо мінімально допустимий опір теплопередачі огорожуючої конструкції з умови:  $R_0^{\min} = \max\{R_0^{TP.1}, R_0^{TP.2}\}$

Для перекриття:  $R_0^{TP.2} = R_0^{TP.1}$ .

Опір теплопередачі повітряного прошарку знаходимо по додатку. 4 [2],  $R_{в.п}=0,16 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{°C})$ .

Знаходимо товщину теплоізоляційного шару  $\delta_{i=ym}$  по формулі (2.3):

$$\delta_{ym} = 0,06 \cdot [4,03 - (1 / 8,7 + 0,029 / 0,18 + 0,16 + 0,16 / 2,04 + 1 / 6)] = 0,201 \text{ м}$$

Округляємо величину  $\delta_{ym}$  в більшу сторону до найближчої уніфікованої товщини використовуємого в конструкції огороження утеплювача. Для перекриття:  $\delta_{ym} = 0,22 \text{ м}$ .

Загальна товщина:  $\delta = 0,16 + 0,201 + 0,04 + 0,029 = 0,43 \text{ м}$

Визначаємо фактичний опір теплопередачі перекриття за формулою (2.4):

$$R_0 = 1 / 8,7 + 0,029 / 0,18 + 0,16 + 0,201 / 0,06 + 0,16 / 2,04 + 1 / 6 = 4,03 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{°C})$$

Коефіцієнт теплопередачі перекриття розраховуємо за формулою (2.5):

$$k = 1 / 4,03 = 0,248 \text{ (м}^2\text{°C)}/\text{Вт}$$

### Віконні отвори

По табл. 1 [2] визначаємо потрібний опір теплопередачі світлового отвору  $R_{0св.пр}^{TP}$  який відповідає умовам енергозбереження:  $R_{0св.пр}^{TP} = 0,433 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{°C})$ . По прил.6 [2] вибираємо заповнення світлового отвору, приведений опір теплопередачі якого задовольняє умові:  $R_{0св.пр}^{PP} \geq R_{0св.пр}^{TP}$ .

Приймаємо до розрахунку подвійні склопакети в металічних переплетах з твердим селективним покриттям внутрішнього скла з заповненням міжсклового простору  $R_{0св.пр}^{PP} = 0,45 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{°C})$ .

Коефіцієнт теплопередачі:

$$k = 1 / 0,45 = 2,22 \text{ (м}^2\text{°C)}/\text{Вт}$$

## 2.2 Розрахунок тепловтрат через зовнішні огороження

У цьому розділі здійснюється аналіз основних теплотехнічних характеристик елементів огорожувальних конструкцій будівлі. Однією з ключових величин, що характеризують теплозахисну здатність огороження, є приведений опір теплопередачі  $R_{0R0}$ . Доцільний вибір конструктивної схеми та відповідне значення цього показника забезпечують нормативні параметри мікроклімату в приміщеннях і сприяють ефективному використанню енергоресурсів.

Теплотехнічний розрахунок виконується для таких основних огорожувальних елементів:

- зовнішніх стін;
- горищного перекриття або покриття;
- заповнення віконних та дверних прорізів;
- конструкцій підлоги над неопалюваним підвалом або по ґрунту.

Метою проведення розрахунку є перевірка відповідності теплозахисних характеристик огорожень вимогам чинних будівельних норм (зокрема, ДБН В.2.6-31:2021), а також забезпечення раціонального споживання теплової енергії під час експлуатації будівлі.

Розрахунок основних тепловтрат через зовнішні огороження проводять за формулою:

$$Q_{оп} = k \cdot F \cdot (t_B - t_{ЗВ}) \cdot n, \text{ Вт} \quad (2.6)$$

де  $k$  - коефіцієнт теплопередачі огороження, розрахований раніше  $k_{ст} = 0,322 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ,  $k_{ок} = 2,22 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ,  $k_{чп} = 0,277 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ,

$k_{пл} = 0,248 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ,  $k_{дд} = 2,3 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ;

$F$ - площа огороження,  $\text{м}^2$ ;

$t_B$ - температура повітря всередині приміщення,  $^\circ\text{C}$ ;

$t_{ЗВ} = t_{н5}$  - температура зовнішнього повітря,  $^\circ\text{C}$ , яка приймається по [1] і дорівнює  $-31^\circ\text{C}$ ;

$n$  – коефіцієнт, який залежить від положення поверхні огороження до зовнішнього повітря який приймається по [2] і дорівнює  $n=1$  - для зовнішніх стін,  $n=0,9$  - для горищного перекриття,  $n=0,6$  - для перекриття над підвалом.

1) Перш ніж приступити до підрахунків, необхідно пронумерувати усі приміщення поповерхово, починаючи з кутових приміщень (для першого поверху- с № 101, для другого - с № 201 і т.д.).

2) Записується найменування приміщень:

СК – сходинова клітка.

3) Огороджуючі конструкції записуються умовними позначеннями:

ЗС – зовнішня стіна;

ГТ – горищне перекриття;

ПЛ - перекриття над підвалом;

ДД- двері;

ДВ – двохшарові склопакети в металевих переплетах з твердим селективним покриттям внутрішнього скла з заповненням міжсклового простіру аргоном.

4) Орієнтація огорожень визначається згідно з заданою орієнтацією фасаду будівлі. Для заповнення четвертої граfi користуються наступними умовними позначеннями:

П-С - південь-схід;

П-З - північ-захід;

П - південь і т.д.

5) Розміри вікон і дверей беруться з характеристики об'єкту. Площа зовнішніх стін визначається за вирахуванням площі вікон, балконних і зовнішніх дверей.

6) За результатами п'ятої граfi розраховується площа усіх огорожень. При визначенні поверхні стін слід вираховувати площу вікон і дверей.

7) У сьому графу записуються значення коефіцієнта теплопередачі для стін, вікон і дверей.

8) У восьму графу заносяться значення  $Q_{OT}$  основні тепловтрати).

9) В дев'яту графу записуються додаткові тепловтрати на орієнтацію по сторонам світла, які розраховуються за формулою:

$$Q_{дп} = Q_{от} \cdot \eta, \text{ Вт} \quad (2.7)$$

де  $\eta$  - коефіцієнт додаткових втрат, рівний при орієнтації огорожень:

Пів-З, Пів, Пів-Сх, Сх- $\eta = 0,1$

З, Під-Сх- $\eta = 0,05$

Під, Під - З -  $\eta = 0$

Додаткові тепловтрати на подвійні зовнішні двері з тамбуром складають величину:

$$\eta = 8 \cdot N \quad (2.8)$$

де  $N$  – число поверхів.

10) В десятю графу записуються сумарні тепловтрати через огородження:

$$Q_{тп} = Q_{от} + Q_{дп}, \text{ Вт} \quad (2.9)$$

Приклад для кімнати №101:

$$F = (4,5 - 3,3) \cdot 2,25 = 2,7 \text{ м}^2$$

$$Q_{от} = 0,322 \cdot 2,7 \cdot (20 + 31) \cdot 1 = 243,867 \text{ Вт}$$

$$Q_{дп} = 243,867 \cdot 0,1 = 24,386 \text{ Вт}$$

$$Q_{тп} = 243,867 + 24,386 = 268,253 \text{ Вт}$$

Результати розрахунку заносимо в таблицю 2.4.

Під час теплотехнічного аналізу будівлі тепловтрати через огорожувальні конструкції визначаються окремо для кожного приміщення. Проте існують приміщення, в яких безпосереднє встановлення опалювальних приладів не передбачається (наприклад, коридори, санвузли, кладові тощо). Незважаючи на це, вони також зазнають тепловтрат, зокрема через підлогу або стелю, що межує з холодними або неопалюваними зонами.

У таких випадках тепловтрати зазначених приміщень додаються до тепловтрат найближчих опалюваних приміщень, з якими вони безпосередньо пов'язані. Це дозволяє забезпечити коректний розрахунок сумарних тепловтрат і відповідне проектування системи теплопостачання.

Розрахунок тепловтрат виконується по повній висоті огорожувальної конструкції, без поділу на поверхи. Розрахунок тепловтрат представлений у таблиці 1, додатка 1.

### 2.3 Розрахунок теплового балансу приміщення

Приклад приводиться для кімнати № 101.

Розрахунок ведеться згідно [3],[5].

Розрахунок тепловтрат на нагрів інфільтруючого повітря  $Q_i$  проводять для вікон кожного поверху за формулою:

$$Q_i = 0,278 \cdot c \cdot k \cdot G_0 \cdot (t_e - t_{ze}) \cdot F_0, \text{ Вт} \quad (2.10)$$

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

$k$  – коефіцієнт, який враховує вплив зустрічного теплового потоку (для вікон зі спареними переплетами  $k=1,0$ );

$(t_{ze})$  – температура зовнішнього повітря, °С;

$F_0$  – площа вікна, м<sup>2</sup>;

$G_0$  – кількість повітря, яке поступає шляхом інфільтрації через 1 вікно, кг/(м · Г).

$$G_0 = (\Delta P^{2/3} / R_u) \cdot 0,216, \text{ кг/(м}^2 \cdot \text{Г)} \quad (2.11)$$

де  $R_u = 1,21$  (м<sup>2</sup> · Па)/кг – опір повітрепроникненню, (приймається по табл.2.2,[4]);

$\Delta P$  – різниця тисків повітря на зовнішній і внутрішній поверхні вікна, Па.

$$\Delta P = 9.81 \cdot (H - h) \cdot (\rho_n - \rho_e) + 0,7 \cdot V^2 \cdot \rho_n \cdot k, \text{ Па} \quad (2.12)$$

де  $H$  – висота будівлі від поверхні землі до верху карнизу шахти або центру ліхтаря, м;

$h$  – висота від поверхні землі до центру даного вікна, м;

$\rho_n, \rho_e$  – відповідно густині внутрішнього і зовнішнього повітря при  $t_{ни}$  і  $t_{в}$ , розраховуються за формулою:

$$\rho = 353 / (273 + t), \text{ кг/м}^3 \quad (2.13)$$

де  $V$  – розрахункова швидкість повітря у січні, дорівнює 4,3 м/с

(приймається по [1]);

$k$  – коефіцієнт, який враховує змінення динамічного тиску повітря, в залежності від висоти і місцевості, приймається рівним 1 по [6].

Потужність побутового теплопостачання  $Q_6$  визначають для всіх приміщень, крім сходової клітки:

$$Q_{пб} = 21 \cdot F_{п}, \text{ Вт} \quad (2.14)$$

де 21- питомі теплопостачання з одного м площі, Вт/м ;

$F_{п}$  - площа підлоги, м<sup>2</sup>.

Визначення теплових навантажень на опалювальні прилади  $Q_{оп}$  робиться за формулою: - для житлових кімнат і для сходових клітин:

$$Q_{оп} = Q_{тп} + Q_{л}, \text{ Вт} \quad (2.15)$$

Приклад для кімнати № 101:

$$\Delta P = 9,81 \cdot (10,1 - 2,75) \cdot (1,458 - 1,204) + 0,7 \cdot 4,3^2 \cdot 1,458 - 1 = 49,187, \text{ Па}$$

$$G_o = ((49,187^{2/3}) / 1,21) \cdot 0,216 = 2,396, \text{ кг/(м}^2 \cdot \text{Г)}$$

$$Q_l = 0,278 \cdot 1,005 \cdot 1,0 \cdot 2,396 - (20 + 31) \cdot (2,25 \cdot 3) = 230,447, \text{ Вт}$$

$$Q_{оп} = 1629,132 + 230,447 = 1859,579, \text{ Вт}$$

Отримані дані заносимо в таблицю 2, додатка 1.

## 2.4 Визначення питомої опалювальної характеристики

Визначається питома тепла характеристика:

$$q_{y\partial} = \sum Q_{оп} / (V_{бy\partial} \cdot (t_{г} - t_{зг})), \text{ Вт/(м}^3 \cdot \text{°C)} \quad (2.16)$$

де  $\sum Q_{оп}$  - опалювальне навантаження всієї будівлі, Вт;

$V_{бy\partial}$  - об'єм будівлі по зовнішнім параметрам без горища, м<sup>3</sup>;

$t_{г}$  - приймається рівною температурі рядового приміщення.

$$q_{y\partial} = (86202) / (7372 \cdot (21 + 30)) \approx 0,229, \text{ Вт/(м}^3 \cdot \text{°C)}$$

## 2.5 Розробка схеми системи опалення

У будівлі лікарні передбачено реалізацію однотрубною системи опалення з нижнім розведенням трубопроводів. Теплоносій подається з температурою 95 °С і повертається з температурою 70 °С. Як основні нагрівальні елементи обрано чавунні радіатори Viadrus Termo 813/95. Їх монтують біля зовнішніх стін або під віконними прорізами, що дозволяє ефективно перешкоджати проникненню холодного повітря та зменшити теплове випромінювання від холодних поверхонь на людину.

Встановлення приладів опалення рекомендується здійснювати під вікнами в зонах, зручних для технічного обслуговування, ремонту й чищення. При підключенні радіаторів із кількістю секцій понад 20 або в разі з'єднання декількох приладів між собою ("на зчепленні") передбачається різностороннє під'єднання труб. В сходових клітинах радіатори встановлюють лише на першому поверсі, за винятком тамбурів із зовнішніми дверима — у них опалювальні елементи не передбачаються. Для обігріву сходових клітин передбачено окремі стояки або гілки, які працюють за принципом однотрубною проточною системи.

Прокладку магістралей здійснюють відкритим способом у підвальних приміщеннях. Подовження труб компенсується за рахунок природних відхилень, обумовлених архітектурним плануванням. Для забезпечення ефективної роботи системи опалення горизонтальні ділянки труб мають ухил 0,002 у напрямку теплового пункту, що полегшує видалення повітря і злив теплоносія в разі потреби.

Стояки розташовуються відповідно до розміщення магістралей і підвідних труб до приладів з метою мінімізації витрат металу — зменшення довжини, кількості і діаметра труб. Трубопроводи, що проходять через неопалювані зони, покриваються тепловою ізоляцією.

У місцях приєднання стояків встановлюються запірні клапани зі штуцерами для зливу, що дозволяє ізолювати окремі ділянки або поверхи під час

обслуговування чи ремонту. Застосовується арматура для перекриття води та опорожнення окремих контурів і стояків системи.

Через наявність повітря в теплоносії можливе утворення повітряних пробок, які негативно впливають на циркуляцію, спричиняють корозію та шум у системі. Повітря може потрапити до системи при її заповненні, через негерметичності або у вигляді розчинених газів у воді.

Для ефективного видалення повітря з верхніх точок системи (зокрема з радіаторів верхніх поверхів) передбачено встановлення автоматичних повітряних клапанів. Їх принцип роботи базується на здатності спеціального матеріалу пропускати повітря лише в сухому стані, блокуючи його при контакті з водою.

Тепловий пункт будівлі розміщено в підвалі, що забезпечує зручний доступ для обслуговування та мінімізацію довжини підвідних магістралей.

## 2.6 Розробка аксонометричної схеми

Перед виконанням гідравлічного розрахунку формується аксонометрична розрахункова схема трубопровідної мережі відповідно до вимог ДСТУ-Н Б В.2.5-35:2007. На цю схему, окрім самих трубопроводів, наносяться всі елементи системи опалення: нагрівальні прилади, запірно-регулююча арматура, а також обладнання індивідуального теплового пункту.

У процесі побудови схеми вказуються довжини, внутрішні діаметри трубопровідних ділянок та теплові навантаження, які припадають на кожен з них. Це дозволяє точно визначити втрати тиску по маршруту руху теплоносія.

Під час відображення стояків на аксонометричній схемі приймається умовне правило: подавальний стояк слід розташовувати праворуч, а зворотний — ліворуч, якщо дивитися на них з боку обслуговуваного приміщення.

## 2.7 Тепловий розрахунок опалювальних приладів

У задачу розрахунку опалювальних приладів входить визначення поверхні нагріву і числа секцій приладу. Вихідними даними при розрахунку приладів є:

- теплові навантаження приладів  $Q_{гр}$ , Вт;

- розрахункові температури гарячої і зворотної води  $t_r$  і  $t_0$ , °C.

Розрахункова поверхня нагріву приладу у квадратних метрах визначається за формулою:

де  $Q_{\text{ПР}} \sim$  теплове навантаження приладу, Вт;

$q_1$  - тепловий потік приладу, Вт/м ;

$q_1 = 617$  Вт/м - при схемі живлення приладу зверху-вниз" (рис. 2.4. а);

$q_1 = 482$  Вт/м - при схемі живлення "знизу-вверх" (рис. 2.4. б).

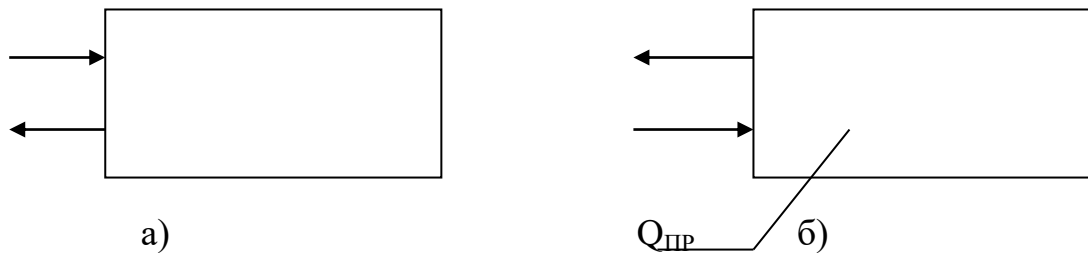


Рис. 2.4. Схема циркуляції води у приладах:

а - зверху-вниз; б - знизу-вверх.

Число секцій чавунних радіаторів  $N$  визначається за формулою:

$$N = (F_p \cdot \beta_2 - Z) / (f \cdot \beta_{31}) \quad (2.18)$$

де  $\beta_2$  - коефіцієнт, який враховує спосіб установки приладу;

$Z$  - допустиме значення гріючої поверхні, м ;

$f_1$  - поверхня нагріву одної секції, для чавунного радіатора Viadrus Termo 813/95 дорівнює  $0,244 \text{ м}^2$ ;

$\beta_3$  - поправочний коефіцієнт, який враховує число секцій у приладі.

$$Z = 0,05 \cdot F_p \cdot \beta_3, \text{ м} \quad (2.19)$$

Приклад приводиться для приміщення №101:

$$F_p = 619,859 / 617 = 1,004, \text{ м}^2$$

$$\beta_3 = 0,92 + (0,16 / 1,004) = 1,079$$

$$Z = 0,05 \cdot 1,004 \cdot 1,079 = 0,054, \text{ м}$$

$$N = (1,004 \cdot 1,03 - 0,054) / (0,244 \cdot 1,079) = 3,722$$

Отримані дані заносимо у таблицю 2.3.

Таблиця 2.3.

### Розрахунок опалювальних приладів

| 1   | Теплове навантаження приладу, $Q_{пр}, \text{Вт}$ | Тепловий потік Приладу, $q, \text{Вт/м}^2$ | Розрахункова поверхня нагріву, $F_p$ | Коефіцієнти |           | $Z, \text{м}^2$ | Число секцій, N |          |
|-----|---------------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------|-------------|-----------|-----------------|-----------------|----------|
|     |                                                   |                                            |                                      | $\beta_2$   | $\beta_3$ |                 | Розрахункове    | Фактичне |
| 1   | 2                                                 | 3                                          | 4                                    | 5           | 6         | 7               | 8               | 9        |
| 101 | 619,859                                           | 617                                        | 1,004                                | 1,03        | 1,079     | 0,054           | 3,722           | 4        |
|     | 619,859                                           | 482                                        | 1,282                                | 1,03        | 1,004     | 0,067           | 4,936           | 5        |
|     | 619,859                                           | 617                                        | 1,004                                | 1,03        | 1,079     | 0,054           | 3,722           | 4        |
| 102 | 581,255                                           | 617                                        | 0,942                                | 1,03        | 1,089     | 0,051           | 3,459           | 4        |
|     | 581,255                                           | 482                                        | 1,205                                | 1,03        | 1,052     | 0,063           | 4,589           | 5        |
|     | 581,255                                           | 617                                        | 0,942                                | 1,03        | 1,089     | 0,051           | 3,459           | 4        |
| 103 | 683,313                                           | 482                                        | 1,417                                | 1           | 1,032     | 0,073           | 5,337           | 7        |
| 105 | 531,679                                           | 482                                        | 1,103                                | 1,03        | 1,065     | 0,058           | 4,148           | 5        |
|     | 531,679                                           | 617                                        | 0,861                                | 1,03        | 1,105     | 0,045           | 3,122           | 4        |
|     | 531,679                                           | 482                                        | 1,103                                | 1,03        | 1,065     | 0,058           | 4,148           | 5        |
|     | 531,679                                           | 617                                        | 0,861                                | 1,03        | 1,105     | 0,047           | 3,122           | 4        |
| 106 | 527,817                                           | 482                                        | 1,095                                | 1,03        | 1,066     | 0,058           | 4,113           | 5        |
|     | 527,817                                           | 617                                        | 0,855                                | 1,03        | 1,107     | 0,047           | 3,086           | 4        |
| 107 | 523,772                                           | 617                                        | 0,848                                | 1,03        | 1,108     | 0,046           | 3,06            | 4        |
|     | 523,772                                           | 482                                        | 1,086                                | 1,03        | 1,067     | 0,057           | 4,077           | 5        |
| 108 | 556,126                                           | 482                                        | 1,153                                | 1,03        | 1,058     | 0,06            | 4,367           | 5        |
|     | 556,126                                           | 617                                        | 0,901                                | 1,03        | 1,097     | 0,049           | 3,284           | 4        |
|     | 556,126                                           | 482                                        | 1,153                                | 1,03        | 1,058     | 0,06            | 4,367           | 5        |
| 109 | 750,106                                           | 482                                        | 1,556                                | 1,03        | 1,022     | 0,079           | 6,110           | 7        |
| 111 | 543,24                                            | 482                                        | 1,127                                | 1,03        | 1,061     | 0,059           | 4,255           | 5        |
|     | 543,24                                            | 617                                        | 0,88                                 | 1,03        | 1,101     | 0,048           | 3,195           | 4        |
| 112 | 528,983                                           | 482                                        | 1,097                                | 1,03        | 1,065     | 0,058           | 4,124           | 5        |
|     | 528,983                                           | 617                                        | 0,857                                | 1,03        | 1,106     | 0,047           | 3,096           | 4        |
| 113 | 567,433                                           | 482                                        | 1,177                                | 1,03        | 1,055     | 0,062           | 4,482           | 5        |
|     | 567,433                                           | 617                                        | 0,919                                | 1,03        | 1,094     | 0,05            | 3,358           | 4        |
|     | 567,433                                           | 482                                        | 1,177                                | 1,03        | 1,055     | 0,062           | 4,468           | 5        |
| 114 | 648,949                                           | 482                                        | 1,364                                | 1,03        | 1,038     | 0,069           | 5,201           | 6        |

| 1   | 2       | 3   | 4     | 5    | 6     | 7     | 8     | 9 |
|-----|---------|-----|-------|------|-------|-------|-------|---|
| 116 | 559,801 | 482 | 1,161 | 1,03 | 1,057 | 0,061 | 4,4   | 5 |
| 117 | 651,647 | 617 | 1,056 | 1,03 | 1,071 | 0,056 | 3,947 | 4 |
| 119 | 535,14  | 617 | 0,867 | 1,03 | 1,104 | 0,047 | 3,104 | 4 |
| 120 | 634,471 | 482 | 1,316 | 1,03 | 1,041 | 0,068 | 5,068 | 6 |
| 121 | 541,148 | 482 | 1,122 | 1,03 | 1,062 | 0,059 | 4,232 | 5 |
|     | 541,148 | 617 | 0,877 | 1,03 | 1,102 | 0,048 | 3,180 | 4 |
| 122 | 535,686 | 482 | 1,111 | 1,03 | 1,064 | 0,059 | 4,180 | 5 |
|     | 535,686 | 617 | 0,868 | 1,03 | 1,104 | 0,047 | 3,144 | 4 |
| 123 | 766,582 | 482 | 3,59  | 1,03 | 1,02  | 0,081 | 6,254 | 7 |
|     | 766,582 | 617 | 1,242 | 1,03 | 1,048 | 0,065 | 4,748 | 5 |
|     | 766,582 | 482 | 1,59  | 1,03 | 1,02  | 0,081 | 6,254 | 7 |
|     | 766,582 | 617 | 1,242 | 1,03 | 1,048 | 0,065 | 4,748 | 5 |
| 125 | 612,07  | 617 | 0,992 | 1,03 | 1,093 | 0,054 | 3,358 | 4 |
| 126 | 649,758 | 482 | 1,348 | 1,03 | 1,038 | 0,069 | 5,209 | 6 |
|     | 649,758 | 617 | 1,053 | 1,03 | 1,071 | 0,056 | 3,936 | 4 |
| 128 | 558,219 | 482 | 1,158 | 1,03 | 1,058 | 0,061 | 4,384 | 5 |
|     | 558,219 | 617 | 0,904 | 1,03 | 1,096 | 0,049 | 3,298 | 4 |
| 129 | 588,894 | 482 | 1,221 | 1,03 | 1,051 | 0,064 | 2,408 | 3 |
|     | 588,894 | 617 | 0,954 | 1,03 | 1,087 | 0,051 | 3,512 | 4 |
|     | 588,894 | 482 | 1,221 | 1,03 | 1,051 | 0,064 | 2,408 | 3 |
| 130 | 486,681 | 617 | 0,788 | 1    | 1,123 | 0,044 | 2,715 | 3 |
| 131 | 616,672 | 482 | 1,279 | 1,03 | 1,045 | 0,066 | 4,907 | 5 |
|     | 616,672 | 617 | 0,999 | 1,03 | 1,08  | 0,053 | 3,703 | 4 |
|     | 616,672 | 617 | 0,999 | 1,03 | 1,08  | 0,053 | 3,703 | 4 |
| 133 | 556,919 | 482 | 1,155 | 1,03 | 1,058 | 0,061 | 4,372 | 5 |
|     | 556,919 | 617 | 0,902 | 1,03 | 1,097 | 0,049 | 3,287 | 4 |
| 134 | 551,669 | 482 | 1,144 | 1,03 | 1,059 | 0,06  | 4,327 | 5 |
| 135 | 570,997 | 617 | 0,925 | 1,03 | 1,092 | 0,05  | 3,388 | 4 |
| 138 | 556,685 | 617 | 0,902 | 1,03 | 1,097 | 0,049 | 3,388 | 4 |
| 139 | 577,8   | 482 | 1,198 | 1,03 | 1,053 | 0,063 | 4,557 | 5 |
|     | 577,8   | 617 | 0,936 | 1,03 | 1,09  | 0,051 | 3,433 | 4 |
| 140 | 490,746 | 617 | 0,795 | 1,03 | 1,121 | 0,044 | 2,832 | 3 |
|     | 490,746 | 482 | 1,048 | 1,03 | 1,077 | 0,054 | 3,784 | 4 |
| 141 | 548,466 | 482 | 1,137 | 1,03 | 1,06  | 0,06  | 4,295 | 5 |
|     | 548,466 | 482 | 1,137 | 1,03 | 1,06  | 0,06  | 4,295 | 5 |
|     | 548,466 | 617 | 0,888 | 1,03 | U     | 0,048 | 3,228 | 4 |
|     | 548,466 | 482 | 1,137 | 1,03 | 1,06  | 0,06  | 4,295 | 5 |
|     | 548,466 | 482 | 1,137 | 1,03 | 1,06  | 0,06  | 4,295 | 5 |
|     | 548,466 | 617 | 0,888 | 1,03 | 1,1   | 0,048 | 3,228 | 4 |
|     | 548,466 | 482 | 1,137 | 1,03 | 1,06  | 0,06  | 4,295 | 5 |
| 142 | 506,804 | 617 | 0,821 | 1,03 | 1,114 | 0,045 | 2,945 | 3 |
|     | 506,804 | 482 | 1,051 | 1,03 | 1,072 | 0,056 | 3,924 | 4 |

| 1   | 2        | 3   | 4     | 5    | 6     | 7     | 8     | 9 |
|-----|----------|-----|-------|------|-------|-------|-------|---|
| 201 | 639,213  | 482 | 1,326 | 1,03 | 1,04  | 0,068 | 5,114 | 6 |
|     | 639,213  | 617 | 1,036 | 1,03 | 1,074 | 0,055 | 3,862 | 4 |
|     | 639,213  | 617 | 1,036 | 1,03 | 1,074 | 0,055 | 3,862 | 4 |
| 202 | 624,541  | 482 | 1,295 | 1,03 | 1,043 | 0,067 | 4,816 | 5 |
|     | 624,541  | 617 | 1,012 | 1,03 | 1,078 | 0,054 | 3,757 | 4 |
|     | 624,541  | 617 | 1,012 | 1,03 | 1,078 | 0,054 | 3,757 | 4 |
| 203 | 585,22   | 482 | 1,214 | 1,03 | 1,051 | 0,063 | 4,63  | 5 |
|     | 585,22   | 617 | 0,948 | 1,03 | 1,088 | 0,051 | 3,486 | 4 |
| 204 | 1009,409 | 617 | 1,635 | 1,03 | 1,017 | 0,083 | 6,451 | 7 |
| 206 | 579,796  | 482 | 1,202 | 1,03 | 1,053 | 0,063 | 4,573 | 5 |
|     | 579,796  | 617 | 0,939 | 1,03 | 1,09  | 0,051 | 3,444 | 4 |
| 208 | 559,822  | 482 | 1,161 | 1,03 | 1,057 | 0,061 | 4,400 | 5 |
|     | 559,822  | 617 | 0,907 | 1,03 | 1,096 | 0,049 | 3,310 | 4 |
| 209 | 569,222  | 617 | 0,922 | 1,03 | 1,093 | 0,05  | 3,373 | 4 |
|     | 569,222  | 617 | 0,922 | 1,03 | 1,093 | 0,05  | 3,373 | 4 |
| 210 | 544,842  | 482 | 1,13  | 1,03 | 1,061 | 0,059 | 4,267 | 5 |
|     | 544,842  | 617 | 0,883 | 1,03 | 1,112 | 0,049 | 3,171 | 4 |
| 211 | 555,189  | 482 | 1,151 | 1,03 | 1,059 | 0,06  | 4,335 | 5 |
|     | 555,189  | 617 | 0,899 | 1,03 | 1,097 | 0,049 | 3,276 | 4 |
| 212 | 594,372  | 482 | 1,233 | 1,03 | 1,049 | 0,066 | 4,703 | 5 |
|     | 594,372  | 482 | 1,233 | 1,03 | 1,049 | 0,066 | 4,703 | 5 |
|     | 594,372  | 617 | 0,963 | 1,03 | 1,086 | 0,052 | 3,546 | 4 |
|     | 594,372  | 482 | 1,233 | 1,03 | 1,049 | 0,066 | 4,703 | 5 |
|     | 594,372  | 482 | 1,233 | 1,03 | 1,049 | 0,066 | 4,703 | 5 |
|     | 594,372  | 617 | 0,963 | 1,03 | 1,086 | 0,052 | 3,546 | 4 |
|     | 594,372  | 482 | 1,233 | 1,03 | 1,049 | 0,066 | 4,703 | 5 |
| 213 | 681,916  | 482 | 1,414 | 1,03 | 1,033 | 0,073 | 5,488 | 6 |
|     | 681,916  | 617 | 1,105 | 1,03 | 1,064 | 0,058 | 4,160 | 5 |
| 215 | 592,512  | 482 | 1,229 | 1,03 | 1,05  | 0,064 | 4,972 | 5 |
|     | 592,512  | 617 | 0,96  | 1,03 | 1,086 | 0,052 | 3,535 | 4 |
| 216 | 558,858  | 482 | 1,159 | 1,03 | 1,058 | 0,061 | 4,387 | 5 |
|     | 558,858  | 482 | 0,905 | 1,03 | 1,096 | 0,049 | 3,302 | 4 |
| 217 | 605,761  | 482 | 1,256 | 1,03 | 1,047 | 0,065 | 4,809 | 5 |
|     | 605,761  | 617 | 0,981 | 1,03 | 1,083 | 0,053 | 3,623 | 4 |
|     | 605,761  | 482 | 1,256 | 1,03 | 1,047 | 0,065 | 4,809 | 5 |
|     | 605,761  | 617 | 0,981 | 1,03 | 1,083 | 0,053 | 3,623 | 4 |
| 219 | 549,949  | 617 | 0,891 | 1,03 | 1,099 | 0,048 | 3,243 | 4 |
|     | 549,949  | 617 | 0,891 | 1,03 | 1,099 | 0,048 | 3,243 | 4 |
|     | 549,949  | 482 | 1,14  | 1,03 | 1,06  | 0,06  | 4,307 | 5 |
| 221 | 581,036  | 617 | 0,941 | 1,03 | 1,09  | 0,051 | 3,452 | 4 |
|     | 581,036  | 617 | 0,941 | 1,03 | 1,09  | 0,051 | 3,452 | 4 |
| 222 | 700,037  | 482 | 1,452 | 1,03 | 1,03  | 0,074 | 5,656 | 6 |
|     | 700,037  | 617 | 1,134 | 1,03 | 1,061 | 0,06  | 4,279 | 5 |

| 1               | 2       | 3   | 4     | 5    | 6     | 7     | 8     | 9 |
|-----------------|---------|-----|-------|------|-------|-------|-------|---|
| 223             | 658,803 | 482 | 1,366 | 1,03 | 1,037 | 0,07  | 5,283 | 6 |
| 224             | 636,244 | 482 | 1,32  | 1,03 | 1,041 | 0,068 | 5,084 | 6 |
|                 | 636,244 | 617 | 1,031 | 1,03 | 1,075 | 0,055 | 3,838 | 4 |
|                 | 636,244 | 617 | 1,031 | 1,03 | 1,075 | 0,055 | 3,838 | 4 |
| 225             | 642,996 | 482 | 1,334 | 1,03 | 1,039 | 0,069 | 5,147 | 6 |
|                 | 642,996 | 617 | 1,042 | 1,03 | 1,073 | 0,055 | 3,889 | 4 |
|                 | 642,996 | 617 | 1,042 | 1,03 | 1,073 | 0,055 | 3,889 | 4 |
| 227             | 587,824 | 482 | 1,219 | 1,03 | 1,051 | 0,064 | 4,646 | 5 |
|                 | 587,824 | 617 | 0,952 | 1,03 | 1,088 | 0,051 | 3,501 | 4 |
| 228             | 571,406 | 482 | 1,185 | 1,03 | 1,055 | 0,062 | 4,500 | 5 |
| 230             | 767,394 | 482 | 1,592 | 1,03 | 1,02  | 0,081 | 6,263 | 7 |
|                 | 767,394 | 482 | 1,592 | 1,03 | 1,02  | 0,081 | 6,263 | 7 |
| 231             | 639,975 | 617 | 1,037 | 1,03 | 1,074 | 0,055 | 3,866 | 4 |
|                 | 639,975 | 482 | 1,327 | 1,03 | 1,04  | 0,069 | 5,114 | 6 |
| 232             | 601,378 | 617 | 0,974 | 1,03 | 1,084 | 0,052 | 3,596 | 4 |
|                 | 601,378 | 482 | 1,247 | 1,03 | 1,048 | 0,065 | 4,768 | 5 |
|                 | 601,378 | 617 | 0,974 | 1,03 | 1,084 | 0,052 | 3,596 | 4 |
| 233             | 539,947 | 482 | U2    | 1,03 | 1,062 | 0,059 | 4,224 | 5 |
|                 | 539,947 | 617 | 0,875 | 1,03 | 1,102 | 0,048 | 3,173 | 4 |
| 234             | 564,616 | 482 | 1,171 | 1,03 | 1,056 | 0,061 | 4,444 | 5 |
|                 | 564,616 | 617 | 0,915 | 1,03 | 1,094 | 0,05  | 3,343 | 4 |
|                 | 564,616 | 482 | 1,171 | 1,03 | 1,056 | 0,061 | 4,444 | 5 |
|                 | 564,616 | 617 | 0,915 | 1,03 | 1,094 | 0,05  | 3,343 | 4 |
| 235             | 569,7   | 482 | 1,181 | 1,03 | 1,055 | 0,062 | 4,484 | 5 |
|                 | 569,7   | 617 | 0,923 | 1,03 | 1,093 | 0,05  | 3,377 | 4 |
|                 | 569,7   | 482 | 1,181 | 1,03 | 1,055 | 0,062 | 4,484 | 5 |
|                 | 569,7   | 617 | 0,923 | 1,03 | 1,093 | 0,05  | 3,377 | 4 |
| Л.К. 118<br>214 | 1246,38 | 617 | 2,02  | 1,03 | 0,999 | 0,1   | 8,125 | 9 |
| Л.К.<br>124 220 | 1246,38 | 617 | 2,02  | 1,03 | 0,999 | од    | 8,125 | 9 |

## 2.8 Гідравлічний розрахунок трубопроводів системи водяного опалення

### 2.8.1 Вибір головного і другорядних циркуляційних кілець. Визначення наявного тиску

В задачу гідравлічного розрахунку входить визначення діаметрів труб і втрат тиску у системі. Внутрішні діаметри труб залежать від швидкості води:

$$d = \sqrt{\frac{4G}{\pi \rho V}}, \text{ мм} \quad (2.21)$$

де  $G$  – витрата води, кг/с;

$\rho$  - густина води, кг/м<sup>3</sup>;

$V$  - швидкість води, м/с.

Швидкість води у трубах не повинна перевищувати допустимих значень.

Для громадських будівель:

|                  |     |     |     |             |
|------------------|-----|-----|-----|-------------|
| Діаметр труб     | м   | 10  | 15  | 20 і більше |
| Межова швидкість | м/с | 1,5 | 1,2 | 1           |

Витрати тиску у трубопроводах  $\Delta P$ , Па, з урахуванням запасу тиску визначають за формулою:

$$\Delta P = 0,9 \cdot \Delta P_p, \text{ Па} \quad (2.22)$$

$\Delta P_p$  - розрахунковий наявний циркуляційний тиск, Па.

$$\Delta P_p = \Delta P_n + B \cdot \Delta P_{II}, \text{ Па} \quad (2.23)$$

де  $\Delta P_n$  - циркуляційний тиск, створений насосом, Па;

$\Delta P_{II}$  - природній циркулярний тиск, Па;

$B$  - коефіцієнт, який враховує частку природного циркуляційного тиску у розрахунковому наявному тиску. Для однотрубних систем дорівнює 1.

Насосний циркуляційний тиск  $\Delta P_n$  визначається в залежності від способу приєднання системи опалення до теплових мереж. Так як система опалення приєднується через елеватор, то  $\Delta P_n$  дорівнює тиску, який утворюється елеватором:

$$\Delta P = \frac{\Delta P_{аб} \cdot \eta_e}{1 + u}, \text{ Па} \quad (2.24)$$

де  $\Delta P_{аб}$  - перепад тиску у тепловій мережі на вході в абонентський ввод, Па;

$\eta_e = 0,25$  - ККД елеватора;

$u$  – коефіцієнт змішання елеватора.

$$u = \frac{t_1 - t_2}{t - t_o} \quad (2.25)$$

де  $t_1$  – розрахункова температура води у прямому трубопроводі теплової мережі,

$$t_1 = 130^\circ\text{C};$$

$t_r = 95^\circ\text{C}$ ,  $t_o = 70^\circ\text{C}$  – розрахункові температури гарячої і зворотної води у системі опалення.

$$u = \frac{130 - 95}{95 - 70} = 1,4$$

$$\Delta P_{\pi} = \frac{150000 \cdot 0,25}{1 + 1,4} = 15625, \text{ Па}$$

Природний циркулярний тиск  $\Delta P_e$  залежить від прийнятої схеми системи опалення.

При визначенні  $\Delta P_e$  користуються поняттями центру нагріву і центру охолодження. В якості центру нагріву приймається вісь елеватора, а в якості центру охолодження - середина опалювального приладу.

У проточній системі природний циркулярний тиск визначається за формулою:

$$\Delta P_{\pi} = 6,2 \cdot h_0 \cdot (t - t_o), \text{ Па} \quad (2.26)$$

$$\text{где } h_0 = \frac{\sum Q_i \cdot H_i}{\sum Q_i}, \text{ м} \quad (2.27)$$

$Q_i$  – навантаження  $i$ -го опалювального приладу, Вт;

$H_i$  – відстань між центром нагріву і центром охолодження для даного приладу, м.

$$h_0 = \frac{(767 + 767) \cdot 2,8}{767 + 767} = 2,8, \text{ м}$$

$$\Delta P_{\pi} = \Delta P_{\pi.пр.} = 6,2 \cdot 2,8 \cdot (95 - 70) = 434, \text{ Па}$$

$$\Delta P_p = 15625 + 1 \cdot 434 = 16059, \text{ Па}$$

Гідравлічний розрахунок системи опалення виконується із застосуванням методу питомих втрат тиску.

На першому етапі визначається головне циркуляційне кільце, яке включає в себе ділянки подаючого та зворотного магістрального трубопроводу, а також відгалуження до найбільш віддаленого опалювального приладу. Це кільце є базовим для розрахунку, оскільки характеризується найбільшими втратами тиску в системі.

У розрахунках даного проекту основним циркуляційним кільцем обрано контур, що проходить через 22-й стояк..

Повна втрата тиску на ділянці визначається за формулою:

$$\Delta P = \Delta P_{mp} + \Delta P_{м.о.} \quad (2.28)$$

де  $\Delta P_{mp}$  - втрати тиску на тертя, Па;

$\Delta P_{м.о.}$  - втрати в місцевих опорах, Па.

$$\Delta P_{mp} = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2} \cdot \rho_{ж} = R \cdot l, \text{ Па} \quad (2.29)$$

де  $R$  – питома втрата тиску на тертя, Па/м;

$l$  – довжина ділянки, м;

$\lambda$  - коефіцієнт тертя;

$v$  - швидкість води, м/с;

$d$  – внутрішній діаметр труби, м.

$$\Delta P_{м.о.} = \sum \xi \cdot \frac{v^2}{2} \cdot \rho_{ж}, \text{ Па}, \quad (2.30)$$

де  $\sum \xi$  - сума коефіцієнтів місцевих опорів на ділянці.

Вибір діаметрів ділянок трубопроводів робимо по витраті води на ділянці  $G$  і середньому значенню питомих втрат тиску  $R_{cp}$ . При виборі діаметру труб у системах опалення з нижнім розведенням обох магістралей враховують, що мінімальна витрата води у верхній частині П-образних однотрубних стояків, при якому забезпечується винесення повітря з труб, складає: при діаметрі 15 мм  $G_{CT}=140$ , при діаметрі 20 мм  $G_{CT}=250$ , при діаметрі 25 мм  $G_{CT}=400$  кг/г [5].

При заданому перепаді тиску у тепловій мережі значення  $R_{cp}$  знаходимо за

формулою [5]:

$$R_{cp} = \frac{(1-\kappa)\Delta P_p}{\sum l}, \text{Па/м} \quad (2.31)$$

де  $\Delta P_p$  - розташований циркуляційний тиск, Па;

$\sum l$  - довжина основного циркуляційного кільця, м;

$\kappa$ - коефіцієнт, який враховує частку місцевих втрат у системі  $\kappa=0,35$ .

2.8.2. Розрахунок головного циркуляційного кільця заносимо у таблицю 3, додатка 1.

У третю графу записуємо витрату води на ділянках

$$G_i = \frac{0.86 \cdot Q_i}{t_2 - t_0} \cdot \beta_1 \beta_2, \text{кг/г} \quad (2.32)$$

де  $\beta_1$  - коефіцієнт, який враховує теплопередачу через додаткову площу (понад розрахункової), для радіаторів 1,03 ... 1,08;

$\beta_2$  - коефіцієнт, який враховує розміщення опалювального приладу у зовнішній стіні, дорівнює 1,02.

Десята графа заповнена з урахуванням того, що втрати у місцевих опорах визначаються за формулою:

$$Z_i = \sum \xi \cdot Z_{li}, \text{Па} \quad (2.33)$$

Визначаємо втрати опору у головному циркуляційному кільці додаванням втрат опору на усіх ділянках. При цьому повинно дотримання умови:

$$\Delta P = 0.9 \Delta P_p \text{ Па} \quad (2.34)$$

Примітка: в останній колонці сумарні втрати ділянок 1-23 і 25 помножували на 2. Перед заповненням табл. 3, дод 1. за формулою (2.31) визначили :

$$R_{cp} = \frac{0.65 \cdot 16059}{209.1} = 50, \text{Па/м.}$$

Визначаємо запас тиску:

$$\Delta = \frac{16059 - 15214,4}{16059} \cdot 100 = 5,2\%$$

### 2.8.3. Розрахунок другорядних циркуляційних кілець

Розраховуємо другорядних циркуляційне кільце. Перед заповненням таблиці 4 за формулою (2.31) визначили :

$$R_{cp} = \frac{0,65 \cdot 16059}{189,8} = 55, \text{ Па/м}$$

Примітка: в останній колонці сумарні втрати ділень 26-45 і 47 помножували на 2.

$$\text{Невязка: } \delta = \frac{16059 - 14539,9}{16059} \cdot 100 = 9,4\%$$

Визначимо діаметри других стояків і втрати тиску у них. Результати зведені у таблиці 2.4.

Таблиця 2.4.

**Гідравлічний розрахунок стояків**

| № стояка | Теплове навантаження стояка | Витрата води у стоякі | Довжина стояке     | Діаметр труби     | Швидкість води на стоякі | Питомі втрати на тертя | Втрати на тертя                    | Сума КМС | Втрати в МС       | Сумарні втрати тиску                   | Розташований тиск | Невязка |
|----------|-----------------------------|-----------------------|--------------------|-------------------|--------------------------|------------------------|------------------------------------|----------|-------------------|----------------------------------------|-------------------|---------|
|          | Q <sub>i</sub> , Вт         | G <sub>i</sub> кг/г   | I <sub>i</sub> , М | d <sub>i</sub> мм | w <sub>i</sub> м/с       | R <sub>i</sub> Па/м    | R <sub>i</sub> · l <sub>i</sub> Па | Σ ξ      | Z <sub>i</sub> Па | R · l <sub>i</sub> + Z <sub>i</sub> Па | ΔP, Па            | δ, %    |
| 1        | 2                           | 3                     | 4                  | 5                 | 6                        | 7                      | 8                                  | 9        | 10                | 11                                     | 12                | 13      |
| 1        | 2294                        | 82,9                  | 15                 | 10                | 0,1885                   | 72,5                   | 1087,5                             | 29       | 478,5             | 1568,9                                 | 12420,8           | 87      |
| 2        | 2284                        | 82,5                  | 15                 | 10                | 0,1883                   | 72,3                   | 1084,5                             | 29       | 472,7             | 1557,2                                 | 11880,6           | 86      |
| 3        | 1246                        | 45,0                  | 10,8               | 10                | 0,1027                   | 23,7                   | 255,9                              | 10       | 50                | 300,9                                  | 10858,6           | 97      |
| 4        | 2700                        | 97,5                  | 15                 | 10                | 0,221                    | 98,0                   | 1470                               | 29       | 558,7             | 2028,7                                 | 10192,2           | 80      |
| 5        | 1319                        | 47,6                  | 14,5               | 10                | 0,108                    | 26                     | 377                                | 18       | 99                | 476                                    | 9305,2            | 94      |
| 6        | 2450                        | 88,5                  | 15                 | 10                | 0,201                    | 83                     | 1245                               | 32,5     | 637               | 1882                                   | 8615              | 78      |
| 7        | 1356                        | 49,0                  | 13,7               | 10                | 0,110                    | 27,3                   | 374,0                              | 18       | 106,3             | 480,3                                  | 7926,4            | 93      |
| 8        | 2520                        | 91,0                  | 15                 | 10                | 0,209                    | 87                     | 1305                               | 32,5     | 702               | 2007                                   | 7214,6            | 72      |
| 9        | 2405                        | 86,9                  | 20,4               | 10                | 0,195                    | 78                     | 1591,2                             | 29       | 539,4             | 2130,6                                 | 6712,2            | 68      |
| 10       | 2268                        | 81,9                  | 15                 | 10                | 0,187                    | 72                     | 1080                               | 29       | 464               | 1544                                   | 6198,4            | 75      |
| 11       | 2429                        | 87,7                  | 18,5               | 10                | 0,2                      | 81                     | 1498,5                             | 29       | 568,4             | 2066,9                                 | 5807,6            | 64      |
| 12       | 2165                        | 78,2                  | 15                 | 10                | 0,177                    | 65                     | 975                                | 29       | 449,5             | 1424,5                                 | 5461              | 73      |
| 13       | 2196                        | 79,3                  | 15                 | 10                | 0,179                    | 67                     | 1005                               | 29       | 478,5             | 1483,5                                 | 4642,6            | 68      |
| 14       | 2238                        | 80,8                  | 15                 | 10                | 0,183                    | 69                     | 1035                               | 32,5     | 529,7             | 1564,7                                 | 4050,4            | 61      |
| 15       | 1316                        | 47,5                  | 13,7               | 10                | 0,107                    | 25,9                   | 354,8                              | 18       | 99,9              | 454,7                                  | 3289,8            | 86      |
| 16       | 2228                        | 80,5                  | 15                 | 10                | 0,182                    | 67                     | 1005                               | 32,5     | 526,5             | 1531,5                                 | 2819,4            | 45      |
| 17       | 2170                        | 78,4                  | 15                 | 10                | 0,178                    | 66                     | 990                                | 29       | 449,5             | 1439,5                                 | 2497,6            | 42      |
| 18       | 2250                        | 81,3                  | 15                 | 10                | 0,186                    | 77                     | 1155                               | 29       | 487,2             | 1642,2                                 | 1886,8            | 12      |
| 19       | 1158                        | 41,8                  | 13,7               | 10                | 0,099                    | 17,3                   | 237                                | 18       | 87,8              | 324,8                                  | 1426,4            | 77      |
| 20       | 2356                        | 85,1                  | 15                 | 10                | 0,195                    | 77                     | 1155                               | 29       | 539,4             | 1694,4                                 | 1097,2            | 54      |

| 1  | 2    | 3    | 4    | 5  | 6      | 7    | 8      | 9    | 10    | 11     | 12      | 13 |
|----|------|------|------|----|--------|------|--------|------|-------|--------|---------|----|
| 21 | 1193 | 43,1 | 16,5 | 10 | 0,098  | 19   | 313,5  | 18   | 82,8  | 396,3  | 280,8   | 29 |
| 23 | 1100 | 39,7 | 14,4 | 10 | 0,093  | 15,5 | 223,2  | 16   | 67,2  | 290,4  | 207,2   | 28 |
| 24 | 1246 | 45,0 | 10,8 | 10 | 0,102  | 23   | 248,4  | 10   | 49,8  | 298,2  | 11009,9 | 97 |
| 25 | 2665 | 96,3 | 15   | 10 | 0,219  | 96   | 1440   | 29   | 681,5 | 2121,5 | 10425,1 | 79 |
| 26 | 1112 | 40,1 | 14,5 | 10 | 0,091  | 16   | 232    | 18   | 55,8  | 287,8  | 9539,3  | 96 |
| 27 | 2412 | 87,1 | 15   | 10 | 0,196  | 80,5 | 1207,5 | 32,5 | 617,5 | 1825   | 8825,5  | 79 |
| 28 | 1590 | 57,4 | 13,7 | 10 | 0,130  | 37   | 506,9  | 18   | 148,6 | 655,5  | 8115,9  | 91 |
| 29 | 2518 | 91,0 | 15   | 10 | 0,209  | 87   | 1305   | 32,5 | 698,7 | 2003,7 | 7435,4  | 73 |
| 30 | 2376 | 85,8 | 15   | 10 | 0,198  | 77,8 | 1167   | 29   | 562,6 | 1729,6 | 6930,6  | 75 |
| 31 | 2229 | 80,5 | 15   | 10 | 0,182  | 67   | 1005   | 29   | 469,8 | 1474,8 | 6445,2  | 77 |
| 32 | 2200 | 79,5 | 15   | 10 | 0,1794 | 67,5 | 1012,5 | 29   | 455,3 | 1467,8 | 6035,8  | 75 |
| 33 | 2157 | 77,9 | 15   | 10 | 0,175  | 64   | 960    | 29   | 43    | 1395   | 5777,8  | 75 |
| 34 | 2219 | 80,1 | 15   | 10 | 0,180  | 67   | 1005   | 29   | 458,2 | 1463,2 | 4845,8  | 69 |
| 35 | 2300 | 83,1 | 15   | 10 | 0,186  | 72   | 1080   | 32,5 | 539,5 | 1619,5 | 4049,8  | 60 |
| 36 | 1344 | 48,5 | 13,7 | 10 | 0,110  | 27   | 369,9  | 18   | 106,3 | 476,2  | 3303,6  | 85 |
| 37 | 2322 | 83,9 | 15   | 10 | 0,189  | 74   | 1110   | 32,5 | 568,7 | 1678,7 | 2824,2  | 40 |
| 38 | 2245 | 81,1 | 15   | 10 | 0,185  | 76,6 | 1149   | 29   | 484,3 | 1633,3 | 2460,6  | 33 |
| 39 | 2196 | 79,3 | 15   | 10 | 0,179  | 67   | 1005   | 29   | 455,3 | 1460,3 | 1785,6  | 18 |
| 40 | 1112 | 40,1 | 13,7 | 10 | 0,091  | 16   | 219,2  | 18   | 72    | 291,2  | 1438    | 79 |
| 41 | 2281 | 82,4 | 15   | 10 | 0,1882 | 72,2 | 1083   | 29   | 471   | 1554   | 1146,2  | 26 |
| 42 | 1194 | 43,1 | 16,5 | 10 | 0,098  | 19   | 313,5  | 18   | 82,8  | 396,3  | 282,6   | 28 |
| 44 | 1109 | 40,0 | 14,4 | 10 | 0,091  | 15,5 | 223,2  | 16   | 286,4 | 509,6  | 207,2   | 59 |

Визначимо для тих стояків, де невязка перевищує 15% діаметр діафрагми за формулою (2.35):

$$d_o = 3,54 \left( \frac{G_{cm}^2}{\Delta P_o} \right)^{0,25}, \text{ мм} \quad (2.35)$$

Вихідні дані для розрахунку і його результати зведені в табл. 2.10.

Приклад розрахунку: 1 стояк  $d_d = 3,54(82,9^2 / (12420,8 - 1568,9))^{0,25} = 3,2$  мм.

Таблиця 2.5

### Визначення діаметрів діафрагм стояків

| № стояка | Витрата води у стояку, $G_{CT}$ , кг/г | Витрати тиску у стояку, $R_l + Z_j$ , Па | Витрати тиску в незагальних дільницях магістралі, $D P$ , Па | Діаметр діафрагми, мм |
|----------|----------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-----------------------|
| 1        | 2                                      | 3                                        | 4                                                            | 5                     |
| 1        | 82,9                                   | 1568,9                                   | 12420,8                                                      | 3,2                   |
| 2        | 82,5                                   | 1557,2                                   | 11880,6                                                      | 3,2                   |
| 3        | 45,0                                   | 300,9                                    | 10858,6                                                      | 2,3                   |
| 4        | 97,5                                   | 2028,7                                   | 10192,2                                                      | 3,7                   |
| 5        | 47,6                                   | 476                                      | 9305,2                                                       | 2,5                   |
| 6        | 88,5                                   | 1882                                     | 8615                                                         | 3,7                   |

| 1  | 2    | 3      | 4       | 5   |
|----|------|--------|---------|-----|
| 7  | 49,0 | 480,3  | 7926,4  | 2,6 |
| 8  |      | 2007   | 7214,6  | 3,9 |
| 9  | 86,9 | 2130,6 | 6712,2  | 4   |
| 10 | 81,9 | 1544   | 6198,4  | 3,8 |
| И  | 87,7 | 2066,9 | 5807,6  | 4,2 |
| 12 | 78,2 | 1424,5 | 5461    | 3,9 |
| 13 | 79,3 | 1483,5 | 4642,6  | 4,2 |
| 14 | 80,8 | 1564,7 | 4050,4  | 4,5 |
| 15 | 47,5 | 454,7  | 3289,8  | 3,3 |
| 16 | 80,5 | 1531,5 | 2819,4  | 5,3 |
| 17 | 78,4 | 1439,5 | 2497,6  | 5,5 |
| 19 | 41,8 | 324,8  | 1426,4  | 4   |
| 20 | 85,1 | 1694,4 | 1097,2  | 6,6 |
| 21 | 43,1 | 396,3  | 280,8   | 7,1 |
| 23 | 39,7 | 290,4  | 207,2   | 7,4 |
| 24 | 45,0 | 298,2  | 11009,9 | 2,3 |
| 25 | 96,3 | 2121,5 | 10425,1 | 3,6 |
| 26 | 40,1 | 287,8  | 9539,3  | 2,3 |
| 27 | 87,1 | 1825   | 8825,5  | 3,6 |
| 28 | 57,4 | 655,5  | 8115,9  | 2,9 |
| 29 | 91,0 | 2003,7 | 7435,4  | 3,9 |
| 30 | 85,8 | 1729,6 | 6930,6  | 3,9 |
| 31 | 80,5 | 1474,8 | 6445,2  | 3,8 |
| 32 | 79,5 | 1467,8 | 6035,8  | 3,8 |
| 33 | 77,9 | 1395   | 577,8   | 3,8 |
| 34 | 80,1 | 1463,2 | 4845,8  | 4,2 |
| 35 | 83,1 | 1619,5 | 4049,8  | 4,6 |
| 36 | 48,5 | 476,2  | 3303,6  | 3,4 |
| 37 | 83,9 | 1678,7 | 2824,2  | 5,6 |
| 38 | 81,1 | 1633,3 | 2460,6  | 5,9 |
| 39 | 79,3 | 1460,3 | 1785,6  | 7,4 |
| 40 | 40,1 | 291,2  | 1438    | 3,9 |
| 41 | 82,4 | 1554   | 1146,2  | 7,2 |
| 42 | 43,1 | 396,3  | 282,6   | 7,1 |
| 44 | 40,0 | 509,6  | 207,2   | 5,4 |

## РОЗДІЛ 3. ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ ВЕНТИЛЯЦІЇ

### 3.1. Організація повітрообміну

Організація повітрообміну в приміщеннях лікарні передбачає наступне: приплив свіжого повітря забезпечується шляхом інфільтрації через конструктивні нещільності віконних блоків, тоді як видалення відпрацьованого повітря виконується за допомогою системи механічної витяжної вентиляції, яка охоплює всі приміщення. У конференц-залі передбачено автономну припливно-витяжну вентиляційну систему, яка забезпечує повноцінний контроль мікроклімату під час перебування великої кількості людей.

Потрібну витрату повітря знаходять за формулою:

$$L = n \cdot V, \text{ м}^3 / \text{Г} \quad (3.1)$$

де  $n$  - кратність повітрообміну для відповідного приміщення [8];

$V$  – об'єм приміщення,  $\text{м}^3$ .

Розрахунок повітрообмінів для зручності зведений в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1

Розрахунок повітрообмінів

| №   | Найменування       | Об'єм приміщення, $\text{м}^3$ | Кратність повітрообмінів, $\text{м}^3 / \text{Г}$ |                                         | Розрахунковий повітрообмін, $\text{м}^3 / \text{Г}$ |         |
|-----|--------------------|--------------------------------|---------------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------|
|     |                    |                                | Приплив                                           | витяжка                                 | приплив                                             | витяжка |
| 1   | 2                  | 3                              | 4                                                 | 5                                       | 6                                                   | 7       |
| 101 | кімната            | 79,2                           | 2                                                 | 2                                       | 158                                                 | 158     |
| 102 | кімната            | 54,45                          | 2                                                 | 2                                       | 109                                                 | 109     |
| 104 | туалет             | -                              | -                                                 | 100 $\text{м}^3 / \text{Г}$ на 1 унітаз | -                                                   | 300     |
| 105 | кімната відпочинку | 132                            | 3                                                 | 2                                       | 396                                                 | 264     |
| 106 | кімната            | 59,4                           | 2                                                 | 2                                       | 119                                                 | 119     |
| 107 | кімната            | 59,4                           | 2                                                 | 2                                       | 119                                                 | 119     |
| 108 | кімната            | 59,4                           | 2                                                 | 2                                       | 119                                                 | 119     |
| 110 | комора             | 34,65                          | 1                                                 | 1                                       | 35                                                  | 35      |
| 111 | кімната            | 57,75                          | 2                                                 | 2                                       | 116                                                 | 116     |
| 112 | кімната            | 52,8                           | 2                                                 | 2                                       | 106                                                 | 106     |
| 113 | кімната            | 52,8                           | 2                                                 | 2                                       | 106                                                 | 106     |
| 114 | кабінет лікаря     | 39,6                           | 2                                                 | 2                                       | 79                                                  | 79      |
| 116 | кабінет завгоспу   | 29,7                           | 1                                                 | 1                                       | 30                                                  | 30      |
| 117 | кабінет лікаря     | 44,55                          | 2                                                 | 2                                       | 89                                                  | 89      |

| 1   | 2                   | 3     | 4                              | 5                                 | 6   | 7   |
|-----|---------------------|-------|--------------------------------|-----------------------------------|-----|-----|
| 119 | архів               | 24,75 | 1                              | 1                                 | 25  | 25  |
| 120 | кімната вахтера     | 39,6  | 1                              | 1                                 | 40  | 40  |
| 121 | гардероб            | 66    | -                              | 2                                 | -   | 132 |
| 122 | гардероб            | 66    | -                              | 2                                 | -   | 132 |
| 125 | кабінет директора   | 39,6  | 2                              | 2                                 | 79  | 79  |
| 126 | кабінет             | 79,2  | 3                              | 3                                 | 238 | 238 |
| 128 | кімната відпочинку  | 64,35 | 3                              | 3                                 | 193 | 193 |
| 129 | кімната             | 45,54 | 2                              | 2                                 | 91  | 91  |
| 131 | кімната             | 63,36 | 2                              | 2                                 | 127 | 127 |
| 132 | туалет              | -     | -                              | 100м <sup>3</sup> /г на 1 унітаз  | -   | 300 |
| 133 | кімната             | 57,75 | 2                              | 2                                 | 116 | 116 |
| 134 | кімната чергового   | 29,7  | 1                              | 1                                 | 30  | 30  |
| 135 | кімната             | 29,7  | 2                              | 2                                 | 59  | 59  |
| 136 | комора              | 39,6  | 1                              | 1                                 | 40  | 40  |
| 138 | кімната             | 62,7  | 2                              | 2                                 | 125 | 125 |
| 139 | кімната             | 62,7  | 2                              | 2                                 | 125 | 125 |
| 140 | кімната             | 52,8  | 2                              | 2                                 | 106 | 106 |
| 141 | кімната відпочинку  | 125,4 | 3                              | 3                                 | 376 | 376 |
| 142 | кімната             | 52,8  | 2                              | 2                                 | 106 | 106 |
| 201 | кімната             | 79,2  | 2                              | 2                                 | 158 | 158 |
| 202 | кімната             | 59,4  | 2                              | 2                                 | 119 | 119 |
| 203 | кімната             | 59,4  | 2                              | 2                                 | 119 | 119 |
| 205 | туалет              | -     | -                              | 100м <sup>3</sup> /г на 1 унітаз  | -   | 300 |
| 206 | кімната             | 59,4  | 2                              | 2                                 | 119 | 119 |
| 207 | комора              | 33    | 1                              | 1                                 | 33  | 33  |
| 208 | кімната             | 59,4  | 2                              | 2                                 | 119 | 119 |
| 209 | кімната             | 59,4  | 2                              | 2                                 | 119 | 119 |
| 210 | кімната             | 59,4  | 2                              | 2                                 | 119 | 119 |
| 211 | кімната             | 59,4  | 2                              | 2                                 | 119 | 119 |
| 212 | кімната відпочинку  | 125,4 | 3                              | 3                                 | 376 | 376 |
| 213 | кімната             | 85,8  | 2                              | 2                                 | 172 | 172 |
| 215 | кімната             | 59,4  | 2                              | 2                                 | 119 | 119 |
| 216 | кімната вихователів | 54,45 | 3                              | 3                                 | 163 | 163 |
| 217 | конференц-зал       | 132   | 20 м <sup>3</sup> /г на 1 люд. | 20 м <sup>3</sup> /г на 1 люд     | 800 | 800 |
| 219 | процедурна          | 49,5  | 4                              | 5                                 | 198 | 248 |
| 221 | кімната             | 59,4  | 2                              | 2                                 | 119 | 119 |
| 222 | кабінет             | 79,2  | 4                              | 5                                 | 317 | 396 |
| 223 | кімната медсестер   | 34,65 | 2                              | 2                                 | 69  | 69  |
| 224 | кімната             | 63,69 | 2                              | 2                                 | 127 | 127 |
| 225 | кімната             | 62,7  | 2                              | 2                                 | 125 | 125 |
| 226 | туалет              | -     | -                              | 100 м <sup>3</sup> /г на 1 унітаз | -   | 300 |
| 227 | кімната             | 59,4  | 2                              | 2                                 | 119 | 119 |

| 1   | 2                  | 3    | 4 | 5 | 6   | 7   |
|-----|--------------------|------|---|---|-----|-----|
| 228 | кімната чергового  | 29,7 | 1 | 1 | 30  | 30  |
| 229 | комора             | 39,6 | 1 | 1 | 40  | 40  |
| 231 | кімната            | 66   | 2 | 2 | 132 | 132 |
| 232 | кімната відпочинку | 85,8 | 3 | 3 | 257 | 257 |
| 233 | кімната            | 52,8 | 2 | 2 | 106 | 106 |
| 234 | кімната            | 79,2 | 2 | 2 | 158 | 158 |
| 235 | кімната            | 79,2 | 2 | 2 | 158 | 158 |

### 3.2. Аеродинамічний розрахунок

Аеродинамічний розрахунок системи повітроводів полягає у визначенні необхідних розмірів поперечного перерізу повітряних каналів на окремих ділянках, балансуванні аеродинамічного опору з метою забезпечення проєктної витрати повітря через усі елементи системи (включаючи повітророзподільні решітки, відгалуження та основні магістралі), а також у розрахунку сумарних втрат тиску, які виникають при русі повітря по системі.

Аеродинамічний розрахунок ведеться наступним чином:

1) Вибирається магістраль. Магістраллю називають мережу повітроводів, на якій втрати тиску найбільші.

2) Магістраль розбивається на ділянки. Ділянкою називають частину повітроводу, на якому витрата повітря і переріз однакові. Нумерацію ділянок починають з самого віддаленого від вентиляційної установки.

3) На кожній ділянці розраховується поперечний переріз повітроводу за формулою:

$$4) F = \frac{L}{v \cdot 3600}, \text{м} \quad (3.2)$$

де L – витрата повітря, м<sup>3</sup>/г;

v- швидкість руху повітря у повітроводі, м/с. Швидкість повітря у повітроводі приймаємо 6 м/с.

5) По знайденому перерізу підбираємо стандартний переріз повітроводу. Далі робимо перерахунок швидкості за формулою:

$$6) v = \frac{L}{F \cdot 3600}, \text{м/с} \quad (3.3)$$

7) Знаходимо втрати тиску на тертя за формулою:

$$\Delta P_{TP} = R \cdot l, \text{Па} \quad (3.4)$$

де  $R$  – втрати тиску на один погонний метр повітроводу, Па/м;

$l$  – довжина розрахункової ділянки, м.

Втрата тиску на один погонний метр повітроводу знаходиться за формулою:

$$R = \frac{\lambda}{d} \cdot \frac{v^2}{2} \cdot \rho, \text{Па/м} \quad (3.5)$$

де  $d$  – діаметр повітроводу, м;

$\rho$  – густина повітря, кг/м<sup>3</sup>;

$v$  – швидкість повітря у повітроводі, м/с;

$\lambda$  – коефіцієнт опору тертя визначається за формулою А. Д. Альтшуля:

$$\lambda = 0.11 \cdot \left( \frac{\kappa_3}{d} + \frac{68}{\text{Re}} \right)^{0.25} \quad (3.6)$$

де  $\kappa_3$  – величина еквівалентної шорсткості, яка враховує висоту виступів, їх форму і взаємне розташування. Для сталі  $\kappa_3 = 0,1$  мм.

$\text{Re}$  – число Рейнольдса, знаходиться за формулою:

$$\text{Re} = \frac{v \cdot d}{\nu} \quad (3.7)$$

де  $\nu$  – коефіцієнт кінематичної в'язкості повітря, дорівнює  $15,6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ .

Якщо повітровід має прямокутну форму, то користуються еквівалентним діаметром, який знаходиться за формулою:

$$d_{\kappa 6} = \frac{2 \cdot a \cdot b}{a + b}, \text{мм} \quad (3.8)$$

де  $a, b$  – висота і ширина повітроводів, мм.

8) Знаходимо втрати тиску у місцевих опорах (відвод, перехід, трійник, вхід у решітку, вихід з решітки і т.д.). Втрати тиску у місцевих опорах знаходимо за формулою:

$$\Delta P_{m.c.} = \sum \xi \cdot P_{дин}, \text{Па} \quad (3.9)$$

7) Знаходимо загальні втрати тиску:

$$\Delta P_{\text{обиц}} = \Delta P_{TP} + \Delta P_{MC}, \text{ Па} \quad (3.10)$$

Для зручності весь розрахунок зводимо у таблицю.

Таблиця 3.2.

### Аеродинамічний розрахунок системи П1

| № ділянки            | Навантаження, L, м³/г | Довжина, l, м | Розміри каналу, мм |     | Еквівалентний діаметр, декв, мм | Швидкість, м/с | Питомі втрати, R, Па/м | Рдин, Па | Сума КМС, $\sum \zeta$ | Zi, Па | Втрати на тертя, $R_i \cdot l_i$ , Па | Сумарні втрати тиску, $R_i \cdot l_i + Z_i$ , Па |
|----------------------|-----------------------|---------------|--------------------|-----|---------------------------------|----------------|------------------------|----------|------------------------|--------|---------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 1                    | 2                     | 3             | 4                  | 5   | 6                               | 7              | 8                      | 9        | 10                     | 11     | 12                                    | 13                                               |
| 1                    | 200                   | 2,5           | 100                | 100 | 100                             | 7,1            | 7,34                   | 30,02    | 1,2                    | 36,03  | 18,35                                 | 54,38                                            |
| 2                    | 400                   | 2,5           | 150                | 150 | 150                             | 6,3            | 3,56                   | 23,72    | 0,4                    | 10,20  | 8,89                                  | 19,09                                            |
| 3                    | 600                   | 2,5           | 200                | 150 | 171                             | 7,2            | 3,89                   | 31,29    | 0,4                    | 11,89  | 9,72                                  | 21,61                                            |
| 4                    | 800                   | 9,8           | 200                | 200 | 200                             | 7,1            | 3,09                   | 30,02    | 1,9                    | 56,14  | 30,25                                 | 86,39                                            |
| Сумарні втрати тиску |                       |               |                    |     |                                 |                |                        |          |                        |        |                                       | 181,47                                           |

Таблиця 3.3.

### Аеродинамічний розрахунок системи В1

| № ділянки            | Навантаження, L, м³/г | Довжина, l, м | Розміри каналу, мм |     | Еквівалентний діаметр декв мм | Швидкість, V, м/с | Питомі втрати, R, Па/м | Динамічні втрати тиску | Сума КМС, $\sum \zeta$ | Втрати в МС, ZbПа | Втрати на тертя, Rjl., Па | Сумарні втрати тиску, Ri'li+Zi, Па |
|----------------------|-----------------------|---------------|--------------------|-----|-------------------------------|-------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-------------------|---------------------------|------------------------------------|
| 1                    | 2                     | 3             | 4                  | 5   | 6                             | 7                 | 8                      | 9                      | 10                     | 11                | 12                        | 13                                 |
| 1                    | 200                   | 2,5           | 100                | 100 | 100                           | 7,1               | 7,34                   | 30,02                  | 1,2                    | 36,03             | 18,35                     | 54,38                              |
| 2                    | 400                   | 2,5           | 150                | 150 | 150                           | 6,3               | 3,56                   | 23,72                  | 0,5                    | 10,67             | 8,89                      | 19,57                              |
| 3                    | 600                   | 2,5           | 200                | 150 | 171                           | 7,2               | 3,89                   | 31,29                  | 0,4                    | 10,95             | 9,72                      | 20,67                              |
| 4                    | 800                   | 3,5           | 200                | 200 | 200                           | 7,1               | 3,09                   | 30,02                  | 3,2                    | 94,57             | 10,80                     | 105,37                             |
| 5                    | 800                   | 4             | 200                | 200 | 200                           | 7,1               | 3,09                   | 30,02                  | 1,5                    | 45,03             | 12,35                     | 57,38                              |
| Сумарні втрати тиску |                       |               |                    |     |                               |                   |                        |                        |                        |                   |                           | 257,36                             |

Таблиця 3.4.

### Аеродинамічний розрахунок системи В2

| № діл<br>ьн<br>иці   | Нав<br>анта<br>жен<br>я, L,<br>м/г | Довж<br>ина,<br>l, м | Розміри<br>каналу,<br>мм |     | Еквівале<br>нтний<br>діаметр,<br>декв мм | Шви<br>дкіс<br>ть<br>м/с | Питомі<br>втрати,<br>R, Па/м | Динамі<br>чні<br>втрати<br>тиску | Сума<br>КМС,<br>Σζ<br>МС, | Втрат<br>и в<br>МС,<br>Z <sub>b</sub> ,Па | Втрати<br>на тертя<br>Ri-lj, Па | Сумарні<br>втрати<br>тиску,<br>Rili+Zi,<br>Па |
|----------------------|------------------------------------|----------------------|--------------------------|-----|------------------------------------------|--------------------------|------------------------------|----------------------------------|---------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------------------|
|                      |                                    |                      | A                        | B   |                                          |                          |                              |                                  |                           |                                           |                                 |                                               |
| 1                    | 2                                  | 3                    | 4                        | 5   | 6                                        | 7                        | 8                            | 9                                | 10                        | 11                                        | 12                              | 13                                            |
| Магістраль           |                                    |                      |                          |     |                                          |                          |                              |                                  |                           |                                           |                                 |                                               |
| 1                    | 100                                | 1,5                  | 100                      | 100 | 100                                      | 3,5                      | 2,06                         | 7,51                             | 1,2                       | 9,01                                      | 3,09                            | 12,10                                         |
| 2                    | 200                                | 1,5                  | 100                      | 100 | 100                                      | 7,1                      | 7,34                         | 30,02                            | 0,5                       | 14,11                                     | 11,01                           | 25,12                                         |
| 3                    | 300                                | 4,5                  | 150                      | 100 | 120                                      | 7,4                      | 6,30                         | 32,57                            | 0,4                       | 11,73                                     | 28,37                           | 40,10                                         |
| 4                    | 600                                | 4                    | 200                      | 150 | 171                                      | 7,2                      | 3,89                         | 31,29                            | 2,4                       | 75,08                                     | 15,55                           | 90,64                                         |
| Сумарні втрати тиску |                                    |                      |                          |     |                                          |                          |                              |                                  |                           |                                           |                                 | 167,95                                        |
| Відгалуження         |                                    |                      |                          |     |                                          |                          |                              |                                  |                           |                                           |                                 |                                               |
| 5                    | 100                                | 1,5                  | 100                      | 100 | 100                                      | 3,5                      | 2,06                         | 7,51                             | 1,2                       | 9,01                                      | 3,09                            | 12,10                                         |
| 6                    | 200                                | 1,5                  | 100                      | 100 | 100                                      | 7,1                      | 7,34                         | 30,02                            | 0,5                       | 14,11                                     | 11,01                           | 25,12                                         |
| 7                    | 300                                | 1,5                  | 150                      | 100 | 120                                      | 7,4                      | 6,30                         | 32,57                            | 0,4                       | 11,73                                     | 9,46                            | 21,18                                         |
| Сумарні втрати тиску |                                    |                      |                          |     |                                          |                          |                              |                                  |                           |                                           |                                 | 58,40                                         |

Невязка:  $\frac{77,32 - 58,40}{77,32} \cdot 100 = 24\%$ . Так як невязка більше 10%, слід встановити

діафрагму для погашення надлишкового тиску  $P = 77,32 - 58,40 = 18,92$  Па. Визначаємо швидкісний тиск у повітроводі, який відповідає швидкості 7,4 м/с. Швидкісний тиск дорівнює 32,9 Па. Обчислюємо коефіцієнт місцевого опіру діафрагми, необхідного для погашення надлишкового тиску:

Розмір діафрагми: 120x94 мм.

Таблиця 3.5.

### Аеродинамічний розрахунок системи В3

| № діл<br>ьн<br>иці | Нава<br>нта<br>жен<br>я, L,<br>м <sup>3</sup> /г | Довж<br>ина, ,<br>l, м | Розміри<br>каналу,<br>мм |     | Еквівале<br>нтний<br>діаметр<br>декв, мм | Шви<br>дкіс<br>ть<br>V,<br>м/с | Питомі<br>втрати,<br>R, Па/м | Динамі<br>чні<br>втрати<br>тиску<br>P <sub>дин</sub> | Сума<br>K<br>Σζ<br>МС, | Втрат<br>и в<br>МС,<br>Z <sub>b</sub> Па | Втрати<br>на тертя<br>,Rj*li,<br>Па | Сумарні<br>втрати<br>тиску,<br>Rili+Zi,<br>Па |
|--------------------|--------------------------------------------------|------------------------|--------------------------|-----|------------------------------------------|--------------------------------|------------------------------|------------------------------------------------------|------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------------|
|                    |                                                  |                        | A                        | B   |                                          |                                |                              |                                                      |                        |                                          |                                     |                                               |
| 1                  | 2                                                | 3                      | 4                        | 5   | 6                                        | 7                              | 8                            | 9                                                    | 10                     | 11                                       | 12                                  | 13                                            |
| магістраль         |                                                  |                        |                          |     |                                          |                                |                              |                                                      |                        |                                          |                                     |                                               |
| 1                  | 100                                              | 1,5                    | 100                      | 100 | 100                                      | 3,5                            | 2,06                         | 7,51                                                 | 1,2                    | 9,01                                     | 3,09                                | 12,10                                         |
| 2                  | 200                                              | 1,5                    | 100                      | 100 | 100                                      | 7,1                            | 7,34                         | 30,02                                                | 0,5                    | 14,11                                    | 11,01                               | 25,12                                         |
| 3                  | 300                                              | 4,5                    | 150                      | 100 | 120                                      | 7,4                            | 6,30                         | 32,57                                                | 0,4                    | 11,73                                    | 28,37                               | 40,10                                         |

|                      |     |     |     |     |     |     |      |       |     |       |       |        |
|----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-------|-----|-------|-------|--------|
| 1                    | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8    | 9     | 10  | 11    | 12    | 13     |
| 4                    | 600 | 4   | 200 | 150 | 171 | 7,2 | 3,89 | 31,29 | 2,4 | 75,08 | 15,55 | 90,64  |
| Сумарні втрати тиску |     |     |     |     |     |     |      |       |     |       |       | 167,95 |
| Відгалуження         |     |     |     |     |     |     |      |       |     |       |       |        |
| 5                    | 100 | 1,5 | 100 | 100 | 100 | 3,5 | 2,06 | 7,51  | 1,2 | 9,01  | 3,09  | 12,10  |
| 6                    | 200 | 1,5 | 100 | 100 | 100 | 7,1 | 7,34 | 30,02 | 0,5 | 14,11 | 11,01 | 25,12  |
| 7                    | 300 | 1,5 | 150 | 100 | 120 | 7,4 | 6,30 | 32,57 | 0,4 | 11,73 | 9,46  | 21,18  |
| Сумарні втрати тиску |     |     |     |     |     |     |      |       |     |       |       | 58,40  |

Невязка:  $\frac{77,32 - 58,40}{77,32} \cdot 100 = 24\%$ . Так як невязка більше 10%, слід встановити

діафрагму для погашення надлишкового тиску.

$P = 77,32 - 58,40 = 18,92$  Па. Визначаємо швидкісний тиск у повітроводі, який відповідає швидкості 7,4 м/с. Швидкісний тиск дорівнює 32,9 Па. Обчислюємо коефіцієнт місцевого опору діафрагми, необхідного для погашення надлишкового тиску:

$$\xi = \frac{18,92}{32,9} \cdot 0,58. \text{ Розмір діафрагми: } 120 \times 94 \text{ мм.}$$

Таблиця 3.6.

### Аеродинамічний розрахунок системи В4

| № ділянки     | Навантаж.,<br>L, м <sup>3</sup> /г | Довжина,<br>a, м | Розміри каналу, мм |     | Еквівалентний діаметр, мм | Швидкість, V, м/с | Питомі втрати, R, Па/м | Динамічні втрати тиску, Р <sub>дин</sub> | Сума К $\sum \xi$ МС, | Втрати в МС, Z <sub>b</sub> Па | Втрати на тертя, R <sub>j</sub> *li, Па | Сумарні втрати тиску, R <sub>ли</sub> +Z <sub>i</sub> , Па |
|---------------|------------------------------------|------------------|--------------------|-----|---------------------------|-------------------|------------------------|------------------------------------------|-----------------------|--------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| 1             | 2                                  | 3                | 4                  | 5   | 6                         | 7                 | 8                      | 9                                        | 10                    | 11                             | 12                                      | 13                                                         |
| Магістраль В4 |                                    |                  |                    |     |                           |                   |                        |                                          |                       |                                |                                         |                                                            |
| 1             | 376                                | 1,0              | 150                | 150 | 150                       | 5,9               | 3,17                   | 20,96                                    | 1,2                   | 25,15                          | 3,17                                    | 28,32                                                      |
| 2             | 482                                | 1,0              | 150                | 150 | 150                       | 7,6               | 5,02                   | 34,44                                    | 0,5                   | 15,50                          | 5,02                                    | 20,52                                                      |
| 3             | 588                                | 3,5              | 200                | 150 | 171                       | 7,1               | 3,75                   | 30,05                                    | 0,4                   | 10,52                          | 13,11                                   | 23,62                                                      |
| 4             | 713                                | 3,5              | 200                | 200 | 200                       | 6,3               | 2,49                   | 23,85                                    | 0,4                   | 10,02                          | 8,73                                    | 18,75                                                      |
| 5             | 838                                | 2,0              | 200                | 200 | 200                       | 7,4               | 3,36                   | 32,94                                    | 0,4                   | 12,85                          | 6,73                                    | 19,57                                                      |
| 6             | 897                                | 3,0              | 200                | 200 | 200                       | 7,9               | 3,82                   | 37,74                                    | 0,6                   | 21,51                          | 11,45                                   | 32,96                                                      |
| 7             | 927                                | 1,0              | 250                | 200 | 222                       | 6,6               | 2,41                   | 26,45                                    | 0,4                   | 10,05                          | 2,41                                    | 12,46                                                      |
| 8             | 1609                               | 1,0              | 300                | 250 | 273                       | 7,7               | 2,42                   | 35,12                                    | 0,9                   | 31,26                          | 2,42                                    | 33,68                                                      |
| 9             | 1725                               | 8,0              | 300                | 300 | 300                       | 6,8               | 1,72                   | 27,57                                    | 0,5                   | 12,96                          | 13,75                                   | 26,71                                                      |
| 10            | 1852                               | 1,0              | 300                | 300 | 300                       | 7,3               | 1,96                   | 31,78                                    | 0,5                   | 16,53                          | 1,96                                    | 18,49                                                      |

|                      |      |     |     |     |     |     |      |       |     |       |       |        |
|----------------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|------|-------|-----|-------|-------|--------|
| 1                    | 2    | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8    | 9     | 10  | 11    | 12    | 13     |
| 11                   | 1943 | 4,8 | 350 | 300 | 323 | 6,6 | 1,48 | 26,01 | 1,5 | 38,23 | 7,12  | 45,35  |
| 12                   | 4027 | 4,0 | 450 | 450 | 450 | 7,0 | 1,11 | 29,68 | 3,0 | 89,04 | 4,43  | 93,48  |
| Сумарні втрати тиску |      |     |     |     |     |     |      |       |     |       |       | 373,92 |
| Відгалуження 1       |      |     |     |     |     |     |      |       |     |       |       |        |
| 13                   | 132  | 6,0 | 100 | 100 | 100 | 4,7 | 3,42 | 13,08 | 1,2 | 15,69 | 20,50 | 36,20  |
| 14                   | 211  | 6,0 | 100 | 100 | 100 | 7,5 | 8,11 | 33,41 | 0,4 | 12,70 | 48,64 | 61,34  |
| 15                   | 404  | 1,0 | 150 | 150 | 150 | 6,4 | 3,62 | 24,20 | 0,5 | 11,13 | 3,62  | 14,75  |
| 16                   | 642  | 1,5 | 200 | 150 | 171 | 7,7 | 4,41 | 35,82 | 0,4 | 13,97 | 6,61  | 20,58  |
| 17                   | 682  | 4,5 | 200 | 200 | 200 | 6,0 | 2,30 | 21,82 | 0,9 | 18,98 | 10,34 | 29,32  |
| Сумарні втрати тиску |      |     |     |     |     |     |      |       |     |       |       | 162,20 |
| Відгалуження 2       |      |     |     |     |     |     |      |       |     |       |       |        |
| 18                   | 158  | 4,0 | 100 | 100 | 100 | 5,6 | 4,75 | 18,74 | 1,2 | 22,48 | 19,01 | 41,49  |
| 19                   | 316  | 2,0 | 150 | 100 | 120 | 7,8 | 6,94 | 36,14 | 0,4 | 12,65 | 13,89 | 26,54  |
| 20                   | 573  | 3,0 | 200 | 150 | 171 | 6,9 | 3,57 | 28,53 | 0,4 | 11,98 | 10,71 | 22,69  |
| 21                   | 679  | 1,5 | 200 | 200 | 200 | 6,0 | 2,28 | 21,63 | 0,4 | 8,43  | 3,42  | 11,85  |
| 22                   | 811  | 6,0 | 200 | 200 | 200 | 7,2 | 3Д7  | 30,85 | 0,6 | 17,59 | 18,99 | 36,58  |
| 23                   | 841  | 2,0 | 200 | 200 | 200 | 7,4 | 3,39 | 33,18 | 0,5 | 17,25 | 6,77  | 24,02  |
| 24                   | 1713 | 1,0 | 300 | 300 | 300 | 6,7 | 1,70 | 27,19 | 0,9 | 23,38 | 1,70  | 25,08  |
| 25                   | 1838 | 5,0 | 300 | 300 | 300 | 7,2 | 1,93 | 31,30 | 0,7 | 23,16 | 9,66  | 32,83  |
| 26                   | 1959 | 4,0 | 350 | 350 | 350 | 5,7 | 1,01 | 19,19 | 0,9 | 16,70 | 4,06  | 20,76  |
| 27                   | 2084 | 1,0 | 350 | 350 | 350 | 6,0 | 1,14 | 21,72 | 1,4 | 30,41 | 1,14  | 31,55  |
| Сумарні втрати тиску |      |     |     |     |     |     |      |       |     |       |       | 273,39 |
| Відгалуження 3       |      |     |     |     |     |     |      |       |     |       |       |        |
| 28                   | 248  | 2,5 | 150 | 100 | 120 | 6Д  | 4,43 | 22,26 | 1,2 | 26,71 | 11,08 | 37,80  |
| 29                   | 367  | 2,0 | 150 | 150 | 150 | 5,8 | 3,03 | 19,97 | 0,4 | 7,79  | 6,07  | 13,86  |
| 30                   | 436  | 1,0 | 150 | 150 | 150 | 6,9 | 4,17 | 28,18 | 0,6 | 16,06 | 4,17  | 20,23  |
| 31                   | 832  | 1,0 | 200 | 200 | 200 | 7,4 | 3,32 | 32,47 | 0,5 | 16,88 | 3,32  | 20,20  |
| 32                   | 872  | 5,0 | 250 | 200 | 222 | 6,2 | 2,15 | 23,40 | 1,6 | 37,44 | 10,75 | 48,19  |
| Сумарні втрати тиску |      |     |     |     |     |     |      |       |     |       |       | 140,28 |

Невязка на першому відгалуженні:  $\frac{155,37 - 128,98}{155,37} \cdot 100 = 17\%$  Так як невязка

більше 10%, слід встановити діафрагму для погашення надлишкового тиску.

$P = 155,37 - 128,98 = 26,39$  Па. Визначаємо швидкісний тиск у повітроводі, який відповідає швидкості 5,9 м/с. Швидкісний тиск дорівнює 20,9 Па. Обчислюємо коефіцієнт місцевого опору діафрагми, необхідного для погашення надлишкового тиску:

$$\xi = \frac{26,39}{20,9} = 1,26 \quad \text{Розмір діафрагми: } 180 \times 180 \text{ мм.}$$

Невязка на другому відгалуженні:  $\frac{280,44 - 273,39}{280,44} \cdot 100 = 3\%$ .

Невязка на третьому відгалуженні:  $\frac{163,18-140,28}{163,18} \cdot 100 = 14\%$ . Так як невязка

більше 10%, слід встановити діафрагму для погашення надлишкового тиску.  $P=163,18-140,28=22,9$  Па. Визначаємо швидкісний тиск у повітроводі, який відповідає швидкості 6,2 м/с. Швидкісний тиск дорівнює 23,1 Па. Обчислюємо коефіцієнт місцевого опору діафрагми, необхідного для погашення надлишкового тиску:  $\xi = \frac{22,9}{23,1} = 0,99$ . Розмір діафрагми: 180x220 мм..

Таблиця 3.7.

### Аеродинамічний розрахунок системи В5

| № діл<br>бн<br>иці            | Нава<br>нта<br>жен<br>ня,<br>L,<br>м | Довж<br>ина, ,<br>l, м | Розміри<br>каналу,<br>мм |     | Еквівале<br>нтний<br>діаметр<br>декв, мм | Шви<br>дкіс<br>ть<br>V,<br>м/с | Питомі<br>втрати,<br>R, Па/м | Динамі<br>чні<br>втрати<br>тиску<br>P <sub>дин</sub> | Сума<br>K<br>$\sum \xi$<br>МС, | Втрат<br>и в<br>МС,<br>Z <sub>b</sub> Па | Втрати<br>на тертя<br>,Rj*li,<br>Па | Сумарні<br>втрати<br>тиску,<br>Rili+Zi, Па |
|-------------------------------|--------------------------------------|------------------------|--------------------------|-----|------------------------------------------|--------------------------------|------------------------------|------------------------------------------------------|--------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------|
| 1                             | 2                                    | 3                      | 4                        | 5   | 6                                        | 7                              | 8                            | 9                                                    | 10                             | 11                                       | 12                                  | 13                                         |
| Магістраль В5                 |                                      |                        |                          |     |                                          |                                |                              |                                                      |                                |                                          |                                     |                                            |
| 1                             | 376                                  | 1,0                    | 150                      | 150 | 150                                      | 5,9                            | 3,17                         | 20,96                                                | 1,2                            | 25,15                                    | 3,17                                | 28,32                                      |
| 2                             | 485                                  | 3,0                    | 150                      | 150 | 150                                      | 7,6                            | 5,08                         | 34,87                                                | 0,5                            | 15,69                                    | 15,24                               | 30,94                                      |
| 3                             | 614                                  | 1,0                    | 200                      | 150 | 171                                      | 7,4                            | 4,06                         | 32,76                                                | 0,4                            | 11,47                                    | 4,06                                | 15,52                                      |
| 4                             | 733                                  | 4,0                    | 200                      | 200 | 200                                      | 6,5                            | 2,63                         | 25,20                                                | 0,4                            | 10,59                                    | 10,50                               | 21,09                                      |
| 5                             | 852                                  | 4,5                    | 250                      | 200 | 222                                      | 6,1                            | 2,06                         | 22,34                                                | 0,4                            | 8,71                                     | 9,27                                | 17,98                                      |
| 6                             | 971                                  | 1,0                    | 250                      | 200 | 222                                      | 7,0                            | 2,62                         | 29,02                                                | 0,6                            | 16,54                                    | 2,62                                | 19,16                                      |
| 7                             | 1090                                 | 1,0                    | 250                      | 250 | 250                                      | 6,2                            | 1,81                         | 22,83                                                | 0,9                            | 20,54                                    | 1,81                                | 22,36                                      |
| 8                             | 1577                                 | 1,2                    | 300                      | 250 | 273                                      | 7,5                            | 2,33                         | 33,74                                                | 0,6                            | 20,24                                    | 2,80                                | 23,04                                      |
| 9                             | 1696                                 | 5,0                    | 300                      | 300 | 300                                      | 6,7                            | 1,67                         | 26,65                                                | 0,5                            | 12,53                                    | 8,33                                | 20,85                                      |
| 10                            | 1815                                 | 3,5                    | 300                      | 300 | 300                                      | 7,1                            | 1,89                         | 30,52                                                | 0,3                            | 9,16                                     | 6,61                                | 15,77                                      |
| 11                            | 1934                                 | 1,2                    | 300                      | 300 | 300                                      | 7,6                            | 2,12                         | 34,66                                                | 1,5                            | 52,68                                    | 2,55                                | 55,23                                      |
| 12                            | 3570                                 | 4,0                    | 400                      | 400 | 400                                      | 7,9                            | 1,59                         | 37,36                                                | 3,0                            | 112,09                                   | 6,36                                | 118,45                                     |
| Сумарні втрати тиску          |                                      |                        |                          |     |                                          |                                |                              |                                                      |                                |                                          |                                     | 388,72                                     |
| Відгалуження 1                |                                      |                        |                          |     |                                          |                                |                              |                                                      |                                |                                          |                                     |                                            |
| 13                            | 163                                  | 1,0                    | 100                      | 100 | 100                                      | 5,8                            | 5,03                         | 19,94                                                | 1,2                            | 23,93                                    | 5,03                                | 28,96                                      |
| 14                            | 282                                  | 5,5                    | 150                      | 100 | 120                                      | 6,9                            | 5,62                         | 28,78                                                | 0,4                            | 10,94                                    | 30,92                               | 41,86                                      |
| 15                            | 454                                  | 1,2                    | 150                      | 150 | 150                                      | 7,1                            | 4,50                         | 30,56                                                | 0,5                            | 14,06                                    | 5,39                                | 19,45                                      |
| 16                            | 487                                  | 4,5                    | 200                      | 150 | 171                                      | 5,9                            | 2,64                         | 20,61                                                | 1,3                            | 26,79                                    | 11,90                               | 38,69                                      |
| Сумарні втрати тиску давлення |                                      |                        |                          |     |                                          |                                |                              |                                                      |                                |                                          |                                     | 128,96                                     |
| Відгалуження 2                |                                      |                        |                          |     |                                          |                                |                              |                                                      |                                |                                          |                                     |                                            |
| 17                            | 119                                  | 1,0                    | 100                      | 100 | 100                                      | 4,2                            | 2,83                         | 10,63                                                | 1,2                            | 12,75                                    | 2,83                                | 15,58                                      |
| 18                            | 225                                  | 3,0                    | 100                      | 100 | 100                                      | 8,0                            | 9,13                         | 38,00                                                | 0,4                            | 13,30                                    | 27,40                               | 40,70                                      |
| 19                            | 344                                  | 0,5                    | 150                      | 150 | 150                                      | 5,4                            | 2,69                         | 17,54                                                | 0,4                            | 7,37                                     | 1,35                                | 8,72                                       |
| 20                            | 450                                  | 6,1                    | 150                      | 150 | 150                                      | 7,1                            | 4,42                         | 30,02                                                | 0,4                            | 11,71                                    | 26,98                               | 38,68                                      |
| 21                            | 556                                  | 1,0                    | 200                      | 150 | 171                                      | 6,7                            | 3,38                         | 26,86                                                | 0,6                            | 15,31                                    | 3,38                                | 18,69                                      |

| 1                    | 2    | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8    | 9     | 10  | 11    | 12    | 13     |
|----------------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|------|-------|-----|-------|-------|--------|
| 22                   | 675  | 6,5 | 200 | 200 | 200 | 6,0 | 2,26 | 21,37 | 0,5 | 11,11 | 14,66 | 25,77  |
| 23                   | 1005 | 5,2 | 250 | 200 | 222 | 7,2 | 2,79 | 31,08 | 0,9 | 26,73 | 14,53 | 41,26  |
| 24                   | 1369 | 4,0 | 300 | 250 | 273 | 6,5 | 1,80 | 25,42 | 0,7 | 18,81 | 7,18  | 26,00  |
| 25                   | 1478 | 1,0 | 300 | 250 | 273 | 7,0 | 2,07 | 29,63 | 0,6 | 17,78 | 2,07  | 19,85  |
| 26                   | 1636 | 3,8 | 300 | 300 | 300 | 6,4 | 1,56 | 24,80 | 0,7 | 17,36 | 5,92  | 23,28  |
| Сумарні втрати тиску |      |     |     |     |     |     |      |       |     |       |       | 258,54 |
| Відгалуження 3       |      |     |     |     |     |     |      |       |     |       |       |        |
| 27                   | 132  | 8,0 | 100 | 100 | 100 | 4,7 | 3,42 | 13,08 | 1,2 | 15,69 | 27,34 | 43,03  |
| 28                   | 172  | 1,0 | 100 | 100 | 100 | 6,1 | 5,56 | 22,20 | 0,4 | 8,66  | 5,56  | 14,21  |
| 29                   | 197  | 2,0 | 100 | 100 | 100 | 7,0 | 7,14 | 29,13 | 0,6 | 16,60 | 14,28 | 30,88  |
| 30                   | 286  | 1,0 | 150 | 100 | 120 | 7,0 | 5,77 | 29,61 | 0,5 | 15,39 | 5,77  | 21,16  |
| 31                   | 365  | 2,0 | 150 | 150 | 150 | 5-7 | 3,00 | 19,75 | 0,4 | 7,90  | 6,01  | 13,91  |
| 32                   | 395  | 1,0 | 150 | 150 | 150 | 6,2 | 3,48 | 23,13 | 0,6 | 13,88 | 3,48  | 17,35  |
| 33                   | 430  | 4,5 | 150 | 150 | 150 | 6,8 | 4,07 | 27,41 | 1,4 | 38,38 | 18,29 | 56,67  |
| Сумарні втрати тиску |      |     |     |     |     |     |      |       |     |       |       | 197,22 |

Невязка на першому відгалуженні:  $\frac{155,37 - 128,98}{155,37} \cdot 100 = 17\%$   $P = 155,37 -$

$128,98 = 26,39$  Па. Визначаємо швидкісний тиск у повітроводі, який відповідає швидкості 5,9 м/с. Швидкісний тиск дорівнює 20,89 Па. Обчислюємо коефіцієнт місцевого опору діафрагми, необхідного для погашення надлишкового тиску:

$$\xi = \frac{26,39}{20,89} = 1,1. \text{ Розмір діафрагми: } 180 \times 120 \text{ мм.}$$

Невязка на другому відгалуженні:  $\frac{270,26 - 258,54}{270,26} \cdot 100 = 5\%$ .

Невязка на третьому відгалуженні:  $\frac{197,22 - 148,15}{197,22} \cdot 100 = 25\%$ . Так як невязка

більше 10%, слід встановити діафрагму для погашення надлишкового тиску.  $P = 197,22 - 258,54 = 49,07$  Па. Визначаємо швидкісний тиск у повітроводі, який відповідає швидкості 6,8 м/с. Швидкісний тиск дорівнює 27,7 Па. Обчислюємо коефіцієнт місцевого опору діафрагми, необхідного для погашення надлишкового тиску:  $\xi = \frac{49,07}{27,7} = 1,8$ . Розмір діафрагми: 125х 140 мм.

### 3.3. Вибір калорифера

Теплова потужність калорифера визначається за формулою:

$$Q_{\text{кал}} = 0,278 \cdot C_g \cdot \rho \cdot L \cdot (t_{\text{п}} - t_{\text{к1}}), \text{Вт} \quad (3.11)$$

де 0,278 - перевідний коефіцієнт;

$C_{\epsilon}$ - теплоємність повітря, яка дорівнює 1,005 кДж/кг-°С;

$\rho$  – густина повітря, яка дорівнює 1,2 кг/м ;

$L$ - витрата зовнішнього повітря, м /ч;

$t_{II}$  - температура повітря після калорифера, °С;

$t_{K1}$  - температура повітря перед калорифером. °С.

$Q = 0,278 \cdot 1,005 \cdot 1,2 \cdot 800 \cdot (20 + 31) = 13700$  Вт; Витрата води, яка проходить через калорифер, визначається за формулою:

$$G_w = \frac{Q_{\text{кал}}}{C_w \cdot (t_{w1} - t_{w2})}, \text{кг/с} \quad (3.12)$$

де  $C_w$  - теплоємність води, при середній температурі теплоносія 65°С дорівнює 4183 Дж/(кг-°С);

$t_{w1}$ - температура води на вході в калорифер, °С;

$t_{w2}$ - температура води на виході з калориферу, °С.

Витрата води складає:

$$G_w = \frac{13700}{4183 \cdot (95 - 70)} = 0,13 \text{ кг/с}$$

З умови нерозривності площу фронтального перерізу калорифера находимо за формулою:

$$f_{\epsilon} = \frac{L}{3600 \cdot v}, \text{м}^2 \quad (3.13)$$

де  $L$ - витрата повітря, яка проходить через калорифер, м<sup>3</sup> /г;

$v$ - швидкість повітря приймаємо 4 м/с.

Таким чином:

$$f_{\epsilon} = \frac{800}{3600 \cdot 4} = 0,056 \text{ м}^2$$

Вибираємо калорифер ВНВ243.1-066 з площею фронтального перерізу 0,067 м<sup>2</sup> і поверхністю нагріву 8,1 м[9], При цьому швидкість повітря:

$$v = \frac{800}{3600 \cdot 0,067} = 3,31, \text{ м/с}$$

Характеристики калорифера ВНВ243.1-066:

1) розміри фронтального перерізу: 655x400 мм;

- 2) теплоносій: вода;
- 3) температурний графік: 95/70 °С;
- 4) площа фронтального перерізу:  $f_g = 0,067 \text{ м}^2$ ;
- 5) маса сухого калориферу:  $m=10 \text{ кг}$ ;
- 6) об'єм рідини у калорифері :  $V=2\text{л}$ ;
- 7) теплопродуктивність:  $Q=14.2 \text{ кВт}$ ;
- 8) запас поверхні нагріву:  $\varphi = 3,5\%$ ;
- 9) аеродинамічний опір:  $\Delta P = 140 \text{ Па}$ ;
- 10) витрата води:  $G_w=0.098 \text{ гу/с/}$

### 3. 4. Вибір вентилятора

Для підбору вентилятора необхідно знати:

- 1) продуктивність,  $\text{м}^3/\text{г}$ ;
- 2) загальні витрати тиску, які складаються :

- витрат тиску у мережі повітроводів (на тертя і місцеві опори), Па.

Витрати тиску беруться з запасом 10%.

- витрат тиску у вентиляційній установці, Па.

Підбір вентиляторів зведений у таблицю:

Таблиця 3.8.

**Підбір вентиляторів**

| Система | Втрати тиску, Па | Витрати повітря, $\text{м}^3/\text{ч}$ | Марка вентилятора | Марка електро-двигуна | Потужність електродвигуна, кВт | Кількість обертів за хвилину |
|---------|------------------|----------------------------------------|-------------------|-----------------------|--------------------------------|------------------------------|
| 1       | 2                | 3                                      | 4                 | 5                     | 6                              | 7                            |
| П1      | 410*             | 800                                    | ВР-80-75-2,5.5    | АИР63А2               | 0,37                           | 2730                         |
| В1      | 280              | 800                                    | ВЦ-14-46-2,5.1    | АИР63В4               | 0,37                           | 1320                         |
| В2      | 185              | 600                                    | ВЦ-14-46-2,5      | АИР83В6               | 0,25                           | 860                          |
| В3      | 185              | 600                                    | ВЦ-14-46-2,5      | АИР83В6               | 0,25                           | 860                          |
| В4      | 410              | 4027                                   | ВЦ-14-46-3,15     | А80А4                 | 1,1                            | 1420                         |
| В5      | 430              | 3570                                   | ВЦ-14-46-3,15     | А80А4                 | 1,1                            | 1420                         |

\* - втрати тиску складаються з втрат тиску у мережі з запасом 10% (200 Па), втрат тиску на фільтрі (70Па) і втрат тиску у калорифері (140Па).

## РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА КОНСТРУКТИВНОГО ВУЗЛА

### 4.1. Розрахункова схема теплообмінного апарату.

У представленій роботі розглядається варіант застосування послідовної схеми підключення, за якої витрата мережної води відповідає лише потребам системи опалення. Навантаження, пов'язане з гарячим водопостачанням, компенсується за рахунок часткового зниження температури мережної води, яка надходить в опалювальну систему.

Підтримання температури води у системі гарячого водопостачання на рівні 55–65 °С забезпечується автоматичним регулятором температури РПД, що регулює подачу нагріваючої мережної води до теплообмінника. У разі застосування паралельної схеми підключення загальна витрата мережної води дорівнює сумі витрат на опалення та гаряче водопостачання.

Циркуляція теплоносія в системі з незалежним (ізольованим) підключенням за допомогою водо-водяного теплообмінника здійснюється окремим циркуляційним насосом. Така схема дозволяє повністю відокремити гідравлічний режим внутрішньої системи від параметрів тепломережі. При цьому знімається обмеження на п'єзометричний напір у зворотному трубопроводі тепломережі, що не повинен перевищувати 0,6 МПа. Це підвищує гнучкість роботи системи та загальну надійність теплопостачання.

Підживлення незалежної системи здійснюється під тиском з тепломережі, а стабільність статичного тиску підтримується рівнем води у закритому розширювальному баку. За температурні та гідравлічні параметри теплоносія відповідають встановлені датчики температури, тиску та витратоміри [15].

У системі теплопостачання, яка приєднується до теплових мереж з використанням циркуляційного контуру гарячого водопостачання, додатково передбачені циркуляційні й підвищувально-циркуляційні насоси.

Розрахункова схема для даного теплообмінника представлена на рис. 4.1.

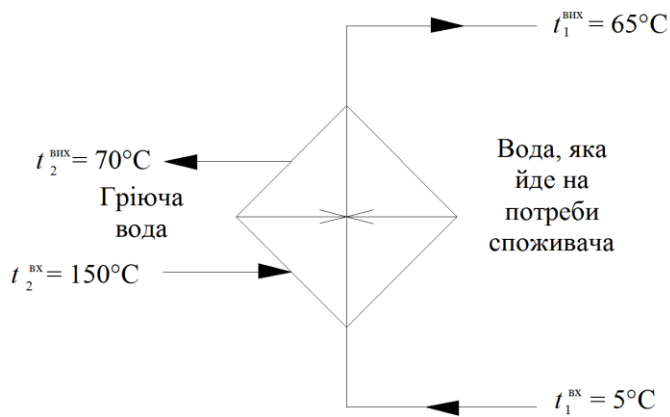


Рис. 4.1. Розрахункова схема теплообмінного апарату

На цьому рисунку схематично зображено теплообмінник і рух теплоносіїв через нього. Гарячим теплоносієм є вода високого тиску, яка поступає із тепломережі і має параметри вказані на рис. 4.1. Холодний теплоносій – вода, яка йде на потреби гарячого водопостачання, має параметри, вказані на рис. 4.1.

#### 4.2. Проектування теплообмінного апарату.

4.2.1. Аналіз типів теплообмінних апаратів найбільш придатних для даної задачі. Опис обраної конструкції.

Теплообмінні пристрої можна розділити на кілька типів за різними характеристиками:

- за конструктивним виконанням: апарати на основі труб (кожухотрубчасті, типу «труба в трубі», зрошувальні, занурювані спіральні, повітряного охолодження); з теплообмінною поверхнею з листових матеріалів (пластинчасті, спіральні, стільникові); а також пристрої, виготовлені з неметалевих матеріалів, як-от пластмаса, графіт, скло тощо.
- за функціональним призначенням: охолоджувачі, підігрівачі, випарні установки, конденсатори.
- за напрямком потоків теплоносіїв: з прямолінійним потоком, протитечією, перехресним обміном тощо.
- за принципом теплопередачі: рекуперативні, регенеративні та контактного типу.

Великий вибір теплообмінників за геометрією, матеріалами та технічними параметрами дозволяє підібрати оптимальний варіант для конкретних умов

експлуатації. При цьому визначальним фактором у виборі залишається досвід і професійна інтуїція інженера. Разом із цим, є загальні рекомендації, які слід враховувати:

Для високих робочих тисків доцільно використовувати трубчасті теплообмінники, при цьому рідина з вищим тиском повинна циркулювати всередині труб, оскільки труби краще витримують навантаження, ніж корпус.

Якщо теплоносій агресивний, доцільно подавати його в трубну частину теплообмінника, що спрощує заміну елементів у разі корозії.

Для агресивних середовищ варто використовувати апарати з полімерних матеріалів, зокрема на основі фторопласту, що мають високу хімічну стійкість.

Якщо один із теплоносіїв є забрудненим або має схильність до утворення відкладень, його бажано подавати у частину теплообмінника, яка легко очищається (наприклад, зовнішня поверхня труб у змійовикових або внутрішня в кожухотрубчастих апаратах).

Збільшення швидкості потоку не завжди покращує тепловіддачу. Наприклад, при конденсації пари важливо забезпечити ефективне видалення конденсату, що залежить від конструкції апарата.

Враховуючи наведені фактори та класифікаційні ознаки, було обрано кожухотрубний теплообмінний апарат (ТОА) з прямими гладкими трубками. Такий тип має кілька переваг:

Вища тепловіддача порівняно з апаратами типу «труба в трубі» завдяки довшій зоні контакту теплоносіїв.

Більш компактна конструкція в порівнянні зі змійовиковими аналогами.

Проста та економічно доцільна конструкція.

Кожухотрубні апарати можуть бути жорсткими, напівжорсткими або гнучкими за конструкцією; одно- чи багатоходовими; з прямим, зустрічним чи перехресним потоком; вертикального або горизонтального розташування. Для даного випадку обрано горизонтальне виконання з гладкими прямими трубами (див. рис. 4.2), як найбільш оптимальне для умов роботи.

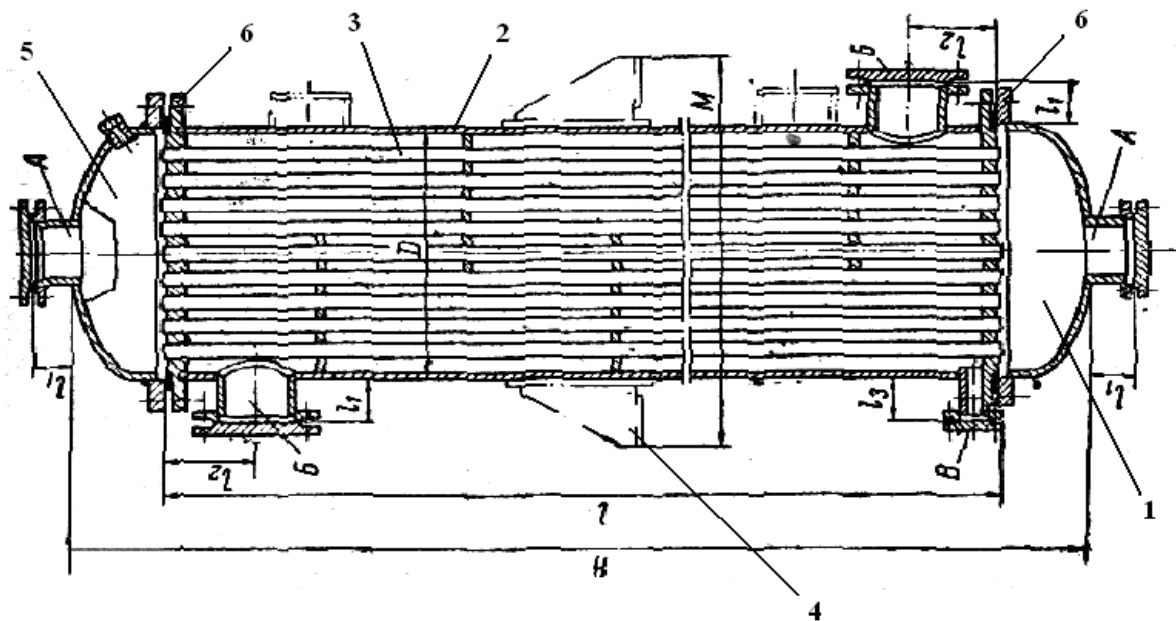


Рис. 4.2. Кожухотрубний теплообмінник.

Теплообмінники цього типу складаються з трубного пучка (поз. 3), жорстко зафіксованого в трубних решітках (поз. 6), корпуса (поз. 2), торцевих кришок (поз. 1 і 5), що формують камери для розподілу потоків, опор (поз. 4), а також перегородок, розміщених у просторі між трубами. Технологічні патрубки встановлені на корпусі й кришках для підключення трубопроводів.

Для фіксації труб у отворах трубних решіток використовується метод вальцювання — це поширена технологія, яка забезпечує герметичне та надійне з'єднання завдяки пластичній деформації труб під тиском вальцювального інструмента. Щоб підвищити осьову фіксацію, в отворах трубних решіток виконуються кільцеві канавки. Застосування конічного вальцювання на вході труби зменшує гідравлічний опір і ймовірність ерозійних ушкоджень у зоні вхідного потоку.

Інноваційним методом вальцювання є вальцювання вибуховим способом: у середину труби закладається вибуховий заряд, який ініціюється детонатором. Внаслідок вибуху труба деформується й щільно прилягає до отвору, утворюючи надміцне з'єднання. Такий спосіб особливо ефективний для товстостінних труб.

У випадках, коли труби експлуатуються в умовах високих термічних або динамічних навантажень, доцільно зварювати їхні кінці до трубних решіток. Зварювання забезпечує додаткову механічну міцність, особливо для апаратів,

що працюють під тиском або з вібраційними навантаженнями. Водночас зварні шви є більш вразливими до дії ерозії та корозії, що з часом може призвести до розгерметизації. З цієї причини застосовується комбінований метод: вальцювання з автоматичним зварюванням, який забезпечує щільне та довговічне з'єднання.

У кожухотрубних теплообмінниках один теплоносій рухається всередині труб, тоді як інший — у просторі між ними. Усередині корпуса встановлюються поперечні перегородки (див. рис. 4.3), що запобігають вигину труб, а також спрямовують потік теплоносія поперек пучка. Поперечне обтікання підвищує інтенсивність теплообміну в порівнянні з повздовжнім, завдяки зростанню локальної швидкості та зменшенню термічного опору.

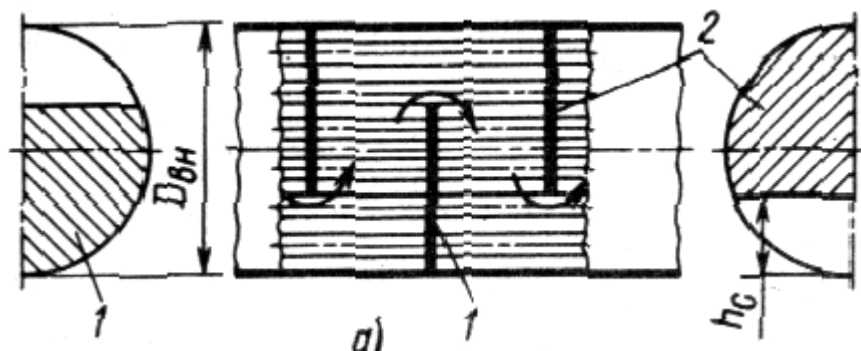


Рис. 4.3. Один з типів поперечних перегородок

Найбільш поширеним конструктивним рішенням у кожухотрубних теплообмінниках є використання перегородок типу «диск-кільце» та двосторонніх сегментних перегородок. Крім того, застосовують також перегородки, що повністю перекривають пучок труб, а також потрійні сегментні варіанти. Двосторонні та потрійні перегородки дозволяють зменшити втрати тиску, іноді досягаючи зниження до 60–100% порівняно з класичними варіантами.

Однак при проектуванні важливо врахувати можливість небажаних витоків теплоносія через радіальні зазори між перегородками та корпусом апарата. Через менший гідравлічний опір у цих місцях теплоносій схильний рухатись саме крізь зазори, оминаючи трубний пучок. Це знижує ефективність теплообміну на 30–45%, оскільки зменшується площа активного поперечного обтікання труб (див. рис. 4.4).

Щоб уникнути такого явища, вживають заходів щодо ущільнення цих проміжків. Найчастіше по краю перегородок монтують ущільнювальні елементи з пружно-деформованих матеріалів, зокрема мастилобензостійкого пластику. Під час монтажу кожуха на пучок труб ці ущільнення підтискаються до внутрішньої поверхні кожуха, ефективно перекриваючи зазори. Таке рішення дозволяє навіть збільшити монтажний зазор до 5 мм, що значно спрощує збирання теплообмінника.

Для забезпечення геометричної стабільності трубного пучка та правильної фіксації перегородок у просторі використовують систему стяжних шпильок та розпірок. Один кінець шпильки вкручується у трубну дошку, інший — фіксується контргайкою в останній перегородці. Між перегородками встановлюють розпірки, які забезпечують надійну фіксацію конструкції в процесі експлуатації.

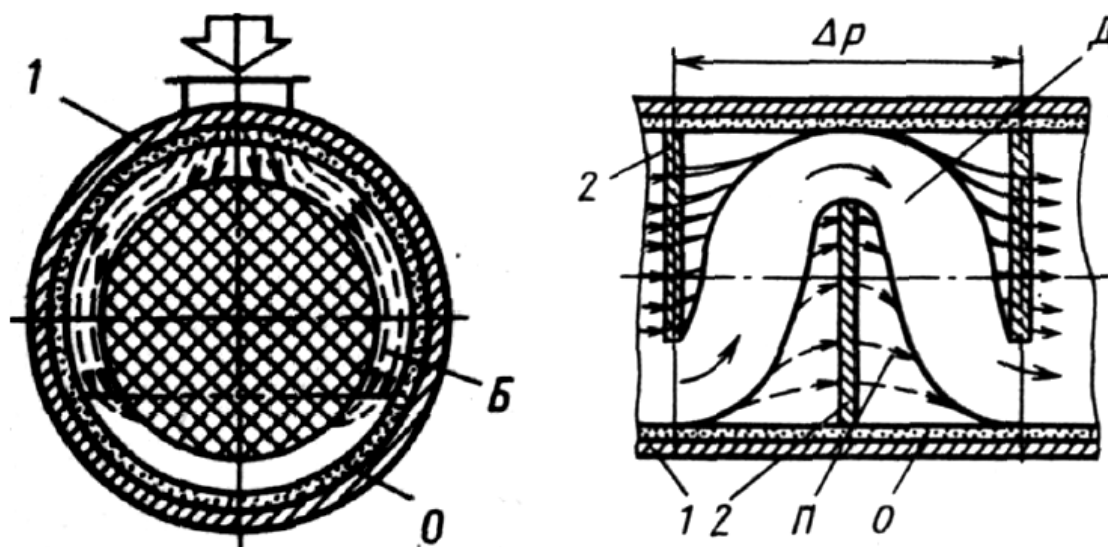


Рис. 4.4. Схема обвідного руху теплоносія у міжтрубному просторі:

Б – байпасний потік між кожухом і пучком труб; Д – основний (дійсний) потік; О – окружний потік крізь зазор між перегородкою й кожухом ТА; П – перепускний потік через зазори між трубами й отворами в перегородці

#### 4.2.2. Розрахунки апарату

Усі розрахунки ведуться за методикою, наведеною у [15] та [14].

Для зручності та більшої наочності результати розрахунків занесемо до таблиць 4.1, 4.2, 4.3.

## Результати теплових розрахунків.

| Назва величини                                  | Позначення         | Од. виміру        | Розрахункова формула або спосіб визначення           | Значення             |
|-------------------------------------------------|--------------------|-------------------|------------------------------------------------------|----------------------|
| 1                                               | 2                  | 3                 | 4                                                    | 5                    |
| Температура холодної води на вході в підігрівач | $t_1^{\text{вх}}$  | °С                | За умовою                                            | 5                    |
| Температура холодної води на виході             | $t_1^{\text{вих}}$ | °С                | —                                                    | 65                   |
| Тиск води на вході в підігрівач                 | $P_1$              | Па                | —                                                    | 120000               |
| Теплова потужність                              | $Q_{\text{то}}$    | кВт               | —                                                    | 6                    |
| Кількість ходів                                 | $Z_1$              | —                 | —                                                    | 5                    |
| Температура гарячої води на виході              | $t_2^{\text{вих}}$ | °С                | —                                                    | 70                   |
| Температура гарячої води на вході               | $t_2^{\text{вх}}$  | °С                | —                                                    | 150                  |
| Кількість ходів                                 | $Z_2$              | —                 | —                                                    | 1                    |
| Середня температура                             | $t_1$              | °С                | $t_1 = \frac{t_1^{\text{вх}} + t_1^{\text{вих}}}{2}$ | 35                   |
| Густина води                                    | $\rho_1$           | кг/м <sup>3</sup> | За таблицею властивості води на лінії насичення      | 993,43               |
| Коефіцієнт теплопровідності води                | $\lambda_1$        | Вт/(м К)          | —                                                    | 0,6264               |
| Коефіцієнт кінематичної в'язкості води          | $\nu_1$            | м <sup>2</sup> /с | —                                                    | $7,32 \cdot 10^{-7}$ |
| Ізобарна теплоємність                           | $c_{p1}$           | кДж/(кг К)        | —                                                    | 4,174                |
| Середня температура гарячої води                | $t_2$              | °С                | $t_2 = \frac{t_2^{\text{вх}} + t_2^{\text{вих}}}{2}$ | 110                  |
| Густина води                                    | $\rho_2$           | кг/м <sup>3</sup> | За таблицею властивості води на лінії насичення      | 960,25               |
| Коефіцієнт теплопровідності води                | $\lambda_2$        | Вт/(м К)          | —                                                    | 0,681                |
| Коефіцієнт кінематичної в'язкості води          | $\nu_2$            | м <sup>2</sup> /с | —                                                    | $2,68 \cdot 10^{-7}$ |
| Питома теплоємність води                        | $c_{p2}$           | кДж/(кг К)        | —                                                    | 4,239                |
| Тиск гарячої води                               | $P_2$              | МПа               | Приймаємо з таблиць властивості води                 | 0,14                 |

Продовження таблиці 4.1

| 1                                                                                         | 2                | 3      | 4                                                         | 5      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|--------|-----------------------------------------------------------|--------|
| Температура стінки                                                                        | $t_{ст}$         | °C     | $t_{ст} = \frac{t_1 + t_2}{2}$                            | 73     |
| Коефіцієнт теплопровідності матеріалу стінки трубок                                       | $\lambda_{ст}$   | Вт/м К | За [21, дод. 7]. Приймаємо нержавіючу сталь X18H10T       | 30     |
| Зовнішній діаметр (прийнято)                                                              | $d_3$            | мм     | За [21, дод.8]                                            | 18     |
| Товщина стінки (прийнято)                                                                 | $d_{ст}$         | мм     | —                                                         | 1,8    |
| Внутрішній діаметр                                                                        | $d_{вн}$         | мм     | $d_{вн} = d_3 - 2 \cdot \delta_{ст}$                      | 14,4   |
| Середній діаметр                                                                          | $d_{cp}$         | мм     | $d_{cp} = \frac{d_{вн} + d_3}{2}$                         | 16,2   |
| Компонування труб у пучках теплообмінників з шаховим розміщенням труб при $s_1 = s_2 = s$ |                  |        |                                                           |        |
| Крок між трубами в пучку                                                                  | $S_t$            | мм     | $S_t = 1,6 d_3$                                           | 28,8   |
| Витрата холодної води                                                                     | $G_1$            | кг/с   | $G_1 = \frac{Q_{то}}{c_{p1} \cdot (t_1^{вх} - t_1^{вх})}$ | 0,0382 |
| Витрата гарячої води                                                                      | $G_2$            | кг/с   | $G_2 = \frac{Q_{то}}{c_{p2} \cdot (t_2^{вх} - t_2^{вх})}$ | 0,0281 |
| Водяний еквівалент для холодної води                                                      | $W_1$            | кВт/°C | $W_1 = G_1 \cdot c_{p1}$                                  | 158,69 |
| Водяний еквівалент для гарячої води                                                       | $W_2$            | кВт/°C | $W_2 = G_2 \cdot c_{p2}$                                  | 119,02 |
| Мінімальний водяний еквівалент                                                            | $W_{min}$        | кВт/°C | $\min(W_1; W_2)$                                          | 119,02 |
| Максимальний водяний еквівалент                                                           | $W_{max}$        | кВт/°C | $\max(W_1; W_2)$                                          | 158,69 |
| Зміна температури холодної води                                                           | $\Delta t_1$     | °C     | $\Delta t_1 = t_1^{вх} - t_1^{вх}$                        | 60     |
| Зміна температури гарячої води                                                            | $\Delta t_2$     | °C     | $\Delta t_2 = t_2^{вх} - t_2^{вх}$                        | 80     |
| Мінімальна зміна температур                                                               | $\Delta t_{min}$ | °C     | $\min(\Delta t_1; \Delta t_2)$                            | 60     |
| Допоміжні функції:                                                                        | $A$              | —      | $A = \frac{W_{max}}{W_{min}}$                             | 1,333  |
|                                                                                           | $R$              | —      | $R = \frac{W_{min}}{W_{max}}$                             | 0,75   |
|                                                                                           | $P$              | —      | $P = \frac{\Delta T_{min}}{T_2^{вх} - T_1^{вх}}$          | 0.414  |
|                                                                                           | $p_e$            | —      | за [21, дод. 3]                                           | 0,971  |

Продовження таблиці 4.1

| 1                                                                                                                   | 2               | 3   | 4                                                                                                                                                                        | 5     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
|                                                                                                                     | $z_t$           | —   | $z_t = \sqrt{(A+1)^2 - 4 \cdot p_e \cdot A}$                                                                                                                             | 0,516 |
| Середній температурний перепад                                                                                      | $\Delta t_{cp}$ | °C  | $\Delta t_{cp} = \frac{z_t \cdot P \cdot R \cdot (t_2^{BX} - t_1^{BX})}{\ln \left[ \frac{2 - P \cdot R \cdot ((A+1) - z_t)}{2 - P \cdot R \cdot ((A+1) + z_t)} \right]}$ | 92    |
| Швидкість гарячого теплоносія                                                                                       | $w_2$           | м/с | приймаємо                                                                                                                                                                | 0,5   |
| Кількість трубок у пучку, необхідних для проходу води (в одному ході теплоносія)                                    | $n_{1x}$        | —   | $n_{1x} = \frac{G_2}{\rho_2 \cdot w_2 \cdot \pi \cdot \frac{d_{BH}^2}{4}}$                                                                                               | 17,95 |
| Кількість трубок у теплообміннику                                                                                   | $n_{тр}$        | —   | $n_{mp} = z_2 \cdot n_{1x}$                                                                                                                                              | 17,95 |
| Кількість трубок в одному ряді                                                                                      | $n_{1p}$        | —   | При шаховому компонуванні труб                                                                                                                                           | 4,2   |
| Кількість рядів                                                                                                     | $n_p$           | —   | Приймаємо                                                                                                                                                                | 5     |
| Кількість отворів у трубній дошці                                                                                   | $n_0$           | —   | $n_0 = n_{1p} \cdot n_p$                                                                                                                                                 | 16    |
| Кількість трубок з урахуванням центрального стержня                                                                 | $n_{тр}$        | —   | $n_{mp} = n_0 - 1$                                                                                                                                                       | 15    |
| Уточнюємо швидкість гарячого потоку                                                                                 | $w_2$           | м/с | $w_2 = \frac{G_2}{\rho_2 \cdot n_{mp} \cdot \pi \cdot \frac{d_{BH}^2}{4}}$                                                                                               | 0,5   |
| Діаметр корпусу                                                                                                     |                 |     |                                                                                                                                                                          |       |
| Приймаємо коефіцієнт заповнення трубної дошки                                                                       | $\eta_{тр}$     | —   | Приймаємо (0,7...0,95)                                                                                                                                                   | 0,8   |
| Діаметр гнізда трубок                                                                                               | $D$             | мм  | $D = 1,05 \cdot s_t \cdot \sqrt{\frac{n_0}{\eta_{mp}}}$                                                                                                                  | 118   |
| Внутрішній діаметр корпусу повинний бути більше $D + d_3 = 136$ мм на величину конструктивного зазору (60...180 мм) |                 |     |                                                                                                                                                                          |       |
| Зовнішній діаметр кожуха приймаємо                                                                                  | $D_3$           | мм  | [21, дод. 10]                                                                                                                                                            | 200   |
| Товщина стінки                                                                                                      | $\delta_{ст}$   | мм  | —                                                                                                                                                                        | 2     |
| Внутрішній діаметр корпусу                                                                                          | $D_0$           | мм  | —                                                                                                                                                                        | 196   |
| Приймаємо вальцьований кожух з вуглецевої сталі                                                                     |                 |     |                                                                                                                                                                          |       |
| Визначення коефіцієнту тепловіддачі води, що тече в середині трубок                                                 |                 |     |                                                                                                                                                                          |       |
| Число Рейнольда для гарячого теплоносія                                                                             | $Re_2$          | —   | $Re_2 = \frac{d_{BH} \cdot w_2}{\nu_2}$                                                                                                                                  | 642,5 |

Продовження таблиці 4.1

| 1                                                                 | 2                  | 3                      | 4                                                                                                                                                 | 5                  |
|-------------------------------------------------------------------|--------------------|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Число Прандтля при температурі теплоносія                         | $Pr_2$             | —                      | За таблицею властивості води на лінії насичення                                                                                                   | 1,602              |
| Число Нусельта                                                    | $Nu_2$             | —                      | $Nu_2 = 0,021 \cdot Re_2^{0,8} \cdot Pr_2^{0,43}$                                                                                                 | 45,35              |
| Коефіцієнт тепловіддачі від гарячого теплоносія до стінки         | $\alpha_2$         | Вт/(м <sup>2</sup> ·К) | $\alpha_2 = \frac{Nu_2 \cdot \lambda_2}{d_{\text{вн}}}$                                                                                           | $2,15 \cdot 10^3$  |
| Швидкість води, що обтікає труби                                  | $w_1$              | м/с                    | Приймаємо у попередньому наближенні                                                                                                               | 0,4                |
| Число Рейнольда для холодного теплоносія                          | $Re_1$             | —                      | $Re_1 = \frac{d_{\text{вн}} \cdot w_1}{\nu_1}$                                                                                                    | $9,8 \cdot 10^3$   |
| Число Прандтля для холодного потоку                               | $Pr_1$             | —                      | За таблицею властивості води на лінії насичення                                                                                                   | 4,85               |
| Число Прандтля при температурі стінки                             | $Pr_{\text{ст}}$   | —                      | —                                                                                                                                                 | 2,43               |
| Коефіцієнт, що залежить від кроку пучка (для шахового пучка):     | $\varepsilon_s$    | —                      | $\varepsilon_s = \left( \frac{S_1}{S_2} \right)^{0,166}$                                                                                          | 0,951              |
| Коефіцієнт, що враховує турбулізацію потоку перед і-м рядом труб: |                    |                        |                                                                                                                                                   |                    |
| для першого ряду                                                  | $\varepsilon_{n1}$ | —                      | для шахового розташування труб                                                                                                                    | 0,6                |
| для другого ряду                                                  | $\varepsilon_{n2}$ | —                      | —                                                                                                                                                 | 0,9                |
| для третього і наступного рядів                                   | $\varepsilon_{n3}$ | —                      | —                                                                                                                                                 | 1,0                |
| Число Нуссельта для третього і кожного наступного ряду труб       | $Nu_1^3$           | —                      | $Nu_1 = 0,41 \cdot Re_1^{0,6} \cdot Pr_1^{0,33} \times \left( \frac{Pr_1}{Pr_{\text{ст}}} \right)^{0,25} \cdot \varepsilon_n \cdot \varepsilon_s$ | 195,8              |
| для другого ряду                                                  | $Nu_1^2$           | —                      | —                                                                                                                                                 | 176,3              |
| для першого ряду                                                  | $Nu_1^1$           | —                      | —                                                                                                                                                 | 117,5              |
| Коефіцієнт тепловіддачі при поперечному обтіканні пучка труб:     |                    |                        |                                                                                                                                                   |                    |
| — для третього і наступного рядів                                 | $\alpha_1^3$       | Вт/(м <sup>2</sup> ·К) | $\alpha_1 = \frac{Nu_1 \cdot \lambda_1}{d_3}$                                                                                                     | $6,815 \cdot 10^3$ |
| — для другого ряду                                                | $\alpha_1^2$       | Вт/(м <sup>2</sup> ·К) | —                                                                                                                                                 | $6,133 \cdot 10^3$ |
| — для першого ряду                                                | $\alpha_1^1$       | Вт/(м <sup>2</sup> ·К) | —                                                                                                                                                 | $4,089 \cdot 10^3$ |

Продовження таблиці 4.1

| 1                                                                                                     | 2                | 3                      | 4                                                                                                                                                   | 5                  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Середній коефіцієнт тепловіддачі при поперечному обтіканні пучка труб                                 | $\alpha_{lcp}$   | Вт/(м <sup>2</sup> ·К) | $\alpha_{lcp} = \frac{\sum \alpha_1^i}{n_p}$                                                                                                        | $5,963 \cdot 10^3$ |
| Коефіцієнт тепловіддачі, приведений до зовнішньої поверхні                                            | $k_{TA}$         | Вт/(м <sup>2</sup> ·К) | $\frac{1}{\frac{1}{\alpha_2} + \frac{d_{\text{вн}}}{2\lambda_{cm}} \cdot \ln\left(\frac{d_3}{d_{\text{вн}}}\right) + \frac{d}{\alpha_1 \cdot d_3}}$ | 206,3              |
| Необхідна поверхня теплообміну                                                                        | $F_{\text{то}}$  | м <sup>2</sup>         | $F_{\text{то}} = \frac{Q_{\text{то}}}{k_{\text{то}} \cdot \Delta t_{cp}}$                                                                           | 0,5                |
| Поверхня теплообміну, що приходить на одну трубку                                                     | $F_{\text{то1}}$ | м <sup>2</sup>         | $F_{\text{то1}} = \frac{F_{\text{то}}}{n_{\text{тр}}}$                                                                                              | 0,033              |
| Довжина трубки                                                                                        | $L_{\text{тр}}$  | м                      | $L_{\text{тр}} = \frac{F_{\text{то}}}{\pi \cdot d_{\text{вн}}}$                                                                                     | 0,74               |
| Довжина трубки між перегородками                                                                      | $L$              | м                      | $L = \frac{L_{\text{тр}}}{Z_1}$                                                                                                                     | 0,246              |
| Перевірка швидкості води при обтіканні трубного пучка                                                 |                  |                        |                                                                                                                                                     |                    |
| Площа перерізу для проходу води між трубками                                                          | $S_1$            | м <sup>2</sup>         | $S_1 = L \cdot (s_t - d_3) \cdot (n_{1p} - 1)$                                                                                                      | 0,00532            |
| Уточнення швидкості води, що обтікає                                                                  | $w_{1np}$        | м/с                    | $w_{1np} = \frac{G_1}{\rho_1 \cdot S_1}$                                                                                                            | 0,42               |
| Розбіжність                                                                                           | $\delta$         | %                      | $\delta = \frac{(w_{1np} - w_1)}{w_1}$                                                                                                              | 4,7                |
| $\delta < 5\%$ – отже розрахунок швидкості виконано вірно і немає необхідності робити другу ітерацію. |                  |                        |                                                                                                                                                     |                    |
| Температура стінки                                                                                    | $t_{\text{ст}}$  | °С                     | $\frac{d_{\text{вн}} \cdot \alpha_2 \cdot t_2 + d_3 \cdot \alpha_{lcp} \cdot t_1}{d_{\text{вн}} \cdot \alpha_2 + d_3 \cdot \alpha_{lcp}}$           | 79                 |
| Швидкість води в підводячих та відводячих патрубках                                                   | $w_{2n}$         | м/с                    | Приймаємо за [21, дод.9]                                                                                                                            | 1,5                |
| Діаметр патрубка для підводу і відводу гарячої води                                                   | $d_{2n}$         | м                      | $d_{2n} = \sqrt{\frac{G_2}{w_{2n} \cdot \rho_2 \cdot \frac{\pi}{4}}}$                                                                               | 0,06               |
| Діаметр патрубка для підводу і відводу холодної води                                                  | $d_{1n}$         | м                      | $d_{1n} = \sqrt{\frac{G_1}{w_{1n} \cdot \rho_1 \cdot \frac{\pi}{4}}}$                                                                               | 0,04               |

Гідравлічний розрахунок теплообмінника виконується на підставі параметрів, отриманих у процесі теплового аналізу [13]. Основна мета цього етапу — встановити величину гідравлічних втрат тиску та напору, що виникають під час руху теплоносія крізь місцеві опори в апараті.

Таблиця 4.2.

### Гідравлічний розрахунок

| Назва величини                                                     | Позначення               | Од. виміру | Розрахункова формула або спосіб визначення                                                                                         | Значення |
|--------------------------------------------------------------------|--------------------------|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| 1                                                                  | 2                        | 3          | 4                                                                                                                                  | 5        |
| Коефіцієнт опору тертя при русі води в трубах                      | $\xi_{\text{тр}2}$       | —          | $\xi_{\text{мп}2} = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{\text{Re}_2}}$                                                                          | 0,063    |
| Втрати на тертя при русі води в трубах                             | $\Delta P_{\text{тр}2}$  | Па         | $\Delta P_{\text{мп}2} = \xi_{\text{мп}2} \cdot \frac{L_{\text{мп}}}{d_{\text{вн}}} \cdot \frac{\rho_2 \cdot w^2}{2}$              | 0,222    |
| Коефіцієнт опору при вході і виході води з труб                    | $\xi_{\text{вх}2}$       | —          | Приймаємо за [21]                                                                                                                  | 1        |
| Втрати при вході і виході води з труб                              | $\Delta P_{\text{вх}2}$  | Па         | $\Delta P_{\text{вх}2} = \xi_{\text{вх}2} \cdot \frac{\rho_2 \cdot w^2}{2}$                                                        | 0,07     |
| Коефіцієнт опору в патрубках входу і виходу води                   | $\xi_{\text{пт}2}$       | —          | Приймаємо за [21]                                                                                                                  | 1,5      |
| Втрати тиску в патрубках входу і виходу води                       | $\Delta P_{\text{пт}2}$  | Па         | $\Delta P_{\text{нм}2} = \xi_{\text{нм}2} \cdot \frac{\rho_2 \cdot w_{2\text{n}}^2}{2}$                                            | 1620     |
| Сумарні втрати тиску при русі води                                 | $\Delta P_{\Sigma 2}$    | Па         | $\Delta P_{\Sigma 2} = z_2 \cdot (\Delta P_{\text{вх}2} + \Delta P_{\text{вхх}2} + \Delta P_{\text{мп}2}) + \Delta P_{\text{нм}2}$ | 3241     |
| Відносна втрата тиску, %                                           | $\delta$                 | %          | $\delta = \frac{\Delta P_{\Sigma 2}}{p_2^2} \cdot 100$                                                                             | 2,3      |
| Визначення втрат напору холодної води (рух у міжтрубному просторі) |                          |            |                                                                                                                                    |          |
| Втрата напору на вході в міжтрубний простір і вихід з нього        |                          |            |                                                                                                                                    |          |
| Коефіцієнт опору при вході в пучок                                 | $\xi_{\text{вх}1}$       | —          | Приймаємо за [21]                                                                                                                  | 1,5      |
| Втрата тиску на вході                                              | $\Delta P_{\text{вх}1}$  | Па         | $\Delta P_{\text{вх}1} = \xi_{\text{вх}1} \cdot \frac{\rho_1 \cdot w_1^2}{2}$                                                      | 119      |
| Коефіцієнт опору при виході з пучка                                | $\xi_{\text{вих}1}$      | —          | Приймаємо за [21]                                                                                                                  | 1        |
| Втрата тиску на виході                                             | $\Delta P_{\text{вих}1}$ | Па         | $\Delta P_{\text{вих}1} = \xi_{\text{вих}1} \cdot \frac{\rho_1 \cdot w_1^2}{2}$                                                    | 79       |

| 1                                                             | 2                         | 3              | 4                                                                                                                                                                                        | 5      |
|---------------------------------------------------------------|---------------------------|----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| Втрата напору при русі в міжтрубному просторі                 |                           |                |                                                                                                                                                                                          |        |
| Коефіцієнт опору на тертя в пучку                             | $\xi_{1\text{тр т}}$      | —              | $\xi_{1\text{мр м}} = (4 + 6.6n_{1\text{р}}) \times \text{Re}_1^{-0.28}$                                                                                                                 | 2,32   |
| Втрата тиску                                                  | $\Delta P_{1\text{тр т}}$ | Па             | $\Delta P_{1\text{мр м}} = \xi_{1\text{мр м}} \cdot \frac{\rho_1 \cdot w_1^2}{2}$                                                                                                        | 184,1  |
| Місцевий опір                                                 | $\xi_{1\text{тр м}}$      | —              | $\xi_{1\text{мр м}} = 3n_{1\text{р}} \cdot \text{Re}_1^{-0.2}$                                                                                                                           | 1,91   |
| Втрата тиску                                                  | $\Delta P_{1\text{тр м}}$ | Па             | $\Delta P_{1\text{мр м}} = \xi_{1\text{мр м}} \cdot \frac{\rho_1 \cdot w_1^2}{2}$                                                                                                        | 152    |
| Втрата напору при обтіканні перегородок                       |                           |                |                                                                                                                                                                                          |        |
| Висота вікна в перегородці                                    | $b_{\text{пер}}$          | мм             | $b_{\text{пер}} = \frac{D_0 - n_p \cdot s_t - d_3}{2}$                                                                                                                                   | 39     |
| Центральний кут сегмента в перегородці                        | $\psi_{\text{пер}}$       | град (рад)     | $\psi_{\text{пер}} = 2 \cdot \arccos \left( \frac{\frac{D_0}{2} - b_{\text{пер}}}{\frac{D_0}{2}} \right)$                                                                                | 105    |
| Площа вікна в перегородці (площа сегмента)                    | $F_{\text{пер}}$          | м <sup>2</sup> | $F_{\text{пер}} = \frac{\left(\frac{D_0}{2}\right)^2}{2} \cdot (\psi_{\text{пер}} - \sin(\psi_{\text{пер}}))$                                                                            | 0,0042 |
| Швидкість води при огинанні перегородок                       | $w_{1\text{р}}$           | м/с            | $w_{1\text{р}} = \frac{G_1}{\rho_1 \cdot F_{\text{пер}}}$                                                                                                                                | 0,01   |
| Коефіцієнт опору                                              | $\xi_{1\text{пр}}$        | —              | Приймаємо за [1]                                                                                                                                                                         | 1,5    |
| Втрата тиску                                                  | $\Delta P_{1\text{пр}}$   | Па             | $\Delta P_{1\text{пр}} = \left( \xi_{1\text{пр}} \cdot \frac{\rho_1 \cdot w_{1\text{р}}^2}{2} \right) \times (z_1 - 1)$                                                                  | 0,123  |
| Втрати при русі води в патрубках, вхідній та вихідній камерах |                           |                |                                                                                                                                                                                          |        |
| Коефіцієнт опору в патрубках входу і виходу води              | $\xi_{\text{пт1}}$        | —              | Приймаємо за [21]                                                                                                                                                                        | 1,5    |
| Втрата тиску                                                  | $\Delta P_{\text{пт1}}$   | Па             | $\Delta P_{\text{пт1}} = \xi_{\text{пт1}} \cdot \frac{\rho_1 \cdot w_{1\text{н}}^2}{2}$                                                                                                  | 1676   |
| Сумарні втрати при русі води в міжтрубному просторі           | $\Delta P_{\Sigma 2}$     | Па             | $\Delta P_{\Sigma 1} = \Delta P_{\text{вх1}} + \Delta P_{\text{вих1}} + 2 \cdot \Delta P_{\text{пт1}} + z_1 (\Delta P_{1\text{мр м}} + \Delta P_{1\text{мр м}}) + \Delta P_{1\text{пр}}$ | 4559   |
| Відносні втрати тиску                                         | $\delta_2$                | %              | $\delta = \frac{\Delta P_{\Sigma 2}}{P_1} \cdot 100\%$                                                                                                                                   | 3,8    |

З метою підтвердження коректності визначених геометричних характеристик корпусу апарата та патрубків підведення й відведення робочого середовища виконується розрахунок на міцність.

Результати цього аналізу дозволяють оцінити доцільність застосування обраних конструктивних елементів і їх відповідність вимогам надійності та безпеки.

Таблиця 4.3.

### Розрахунок на міцність

| Назва величини                                                                                                                       | Позначення            | Од. виміру | Розрахункова формула або спосіб визначення                                                                                              | Значення |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| Розрахунок корпусу                                                                                                                   |                       |            |                                                                                                                                         |          |
| Визначення допустимої напруги                                                                                                        |                       |            |                                                                                                                                         |          |
| Границя міцності                                                                                                                     | $\sigma_{\text{в}}$   | МПа        | 3 [21, дод. 7]                                                                                                                          | 490      |
|                                                                                                                                      | $k$                   | —          | 3 [21, дод. 7]                                                                                                                          | 2,6      |
| Поправочний коефіцієнт                                                                                                               | $\eta_{\text{к}}$     | —          | —                                                                                                                                       | 1        |
| Допустиме напруження                                                                                                                 | $\sigma_{\text{доп}}$ | МПа        | $\sigma_{\text{доп}} = \frac{\sigma_{\text{в}}}{k} \eta_{\text{к}}$                                                                     | 189      |
| Оскільки корпус виготовлений із труби, то величина збільшення складає $c = 1$ мм. При найбільшому мінусовому допуску 10 % $A = 0,11$ |                       |            |                                                                                                                                         |          |
| Збільшення товщини корпусу                                                                                                           | $c$                   | мм         | $c = A \cdot (\delta_{\text{к}} - c)$                                                                                                   | 0,55     |
| Розрахунковий коефіцієнт міцності                                                                                                    | $\varphi$             | —          | $\varphi = \min(\varphi_{\text{ЗВ}}, \varphi_{\text{ЗВ.В}})$                                                                            | 0,6      |
| Максимальний тиск, що може витримати корпус                                                                                          | $P_{\text{max}}$      | МПа        | $P_{\text{max}} = \frac{2 \cdot (\delta_{\text{к}} - c) \cdot \varphi \cdot \sigma_{\text{доп}}}{D_0 + (\delta_{\text{к}} - c)}$        | 2,16     |
|                                                                                                                                      | $\varphi_0$           | —          | $\varphi_0 = \frac{p_1 [D_0 + (\delta_{\text{к}} - c)]}{2 \cdot \varphi \cdot \sigma_{\text{доп}} \cdot (\delta_{\text{к}} - c)}$       | 0,056    |
| Найбільший припустимий діаметр неукріпленого отвору в корпусі                                                                        | $d_{\text{max}}$      | м          | $d_{\text{max}} = 2 \cdot \left( \frac{1}{\varphi_0} - 1 \right) \times \sqrt{(D_0 + \delta_{\text{к}}) \cdot (\delta_{\text{к}} - c)}$ | 0,658    |

Діаметри отворів під патрубки набагато менше, ніж  $d_{\text{max}}$ , отвори в корпусі можна не зміцнювати.

## РОЗДІЛ 5. РОЗРОБКА ЕЛЕМЕНТА СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ – ТЕПЛОВОГО ВУЗЛА

Тепловий пункт (тепловий вузол) — це спеціалізоване приміщення, у якому здійснюється підключення внутрішніх систем теплоспоживання до централізованих теплових та водопровідних мереж, а також організовано керування системами опалення, вентиляції та гарячого водопостачання будівлі.

Класифікація теплових пунктів:

Індивідуальні теплові пункти (ІТП) — обслуговують одну будівлю або її частину.

Центральні теплові пункти (ЦТП) — призначені для обслуговування декількох будівель.

У складі теплового пункту розміщується необхідне обладнання: трубопровідна арматура, теплообмінники, прилади контролю та автоматики, які забезпечують:

- зміну параметрів теплоносія (тиску, температури);
- контроль за станом і витратою теплоносія та конденсату;
- облік енерговитрат;
- регулювання подачі теплоти до систем споживання;
- захист від аварійних перевантажень;
- заповнення, підживлення та дренаж систем;
- обробку та підготовку води;
- акumuляцію теплової енергії.

Комплектність обладнання ІТП залежить від функціонального призначення будівлі та може включати всі або частину вищенаведених систем.

ІТП є обов'язковим для кожної будівлі, навіть якщо вона підключена до ЦТП. У такому випадку в ІТП включають лише вузли, необхідні для безпосереднього приєднання.

Потреба у влаштуванні ЦТП визначається техніко-економічним обґрунтуванням, зокрема для багатоквартирних будинків або споруд громадського призначення.

У теплопунктах допускається суміщене розміщення обладнання інших інженерних систем, наприклад, насосів для питного або протипожежного водопостачання.

Підключення до теплових мереж має реалізовуватись за схемами, які мінімізують витрати води і теплової енергії. Для цього застосовують автоматику, регулятори подачі теплоносія, елеватори або коригувальні насоси.

Температура теплоносія у подаючих трубопроводах після ЦТП визначається схемою приєднання:

для залежної схеми — відповідає температурі подаючого трубопроводу тепломережі;

для незалежної — на 30 °С нижча, але не вища за 150 °С.

При теплових розрахунках водопідігрівачів температура води на виході має становити не менше 60 °С. Переважно використовують протиточні водоводяні підігрівачі, де теплоносій подається у трубний простір.

Рекомендована кількість підігрівачів:

два (100% кожен) — для систем, які не допускають зупинку;

два (по 75%) — для районів з температурою нижче –40 °С;

один — для інших випадків;

два (по 50%) — для ступенів ГВП.

Інженерні вимоги:

На верхніх точках трубопроводів монтують повітряні клапани (DN15), у нижніх — дренажні відводи (не менше DN25).

Фільтри встановлюють перед приладами обліку, теплообмінниками, водолічильниками.

Грязьовики — обов'язкові на вводах та перед точками обліку.

Заборонено монтаж обвідних трубопроводів (виняток: насоси, регулятори, лічильники).

У разі використання водообігрівачів необхідна водопідготовка — у ЦТП, а в ІТП дозволяється лише магнітна або силікатна.

Конструктивні особливості:

У підлозі має бути трап або водозбірний приямок (мін. розмір —  $0,5 \times 0,5 \times 0,8$  м).

Вода з приямка відкачується дренажним насосом, який не можна використовувати для промивання систем.

Приміщення ІТП повинно бути відокремлене від інших і недоступне для сторонніх осіб.

Теплові пункти, що розміщені в приміщеннях виробничих і складських будівель, а також адміністративно-побутових будинках, у житлових і громадських будівлях, повинні відокремлюватися від інших приміщень перегородками або огорожами, що запобігають доступ сторонніх осіб в тепловий пункт.

## РОЗДІЛ 6. РОЗРОБКА ЗАХОДІВ З ОХОРОНИ ПРАЦІ

### 6.1. Небезпечні і шкідливі фактори

Метою даного дипломної роботи є проектування систем опалення і вентиляції лікарні. Основними роботами при цьому вважаються: монтаж системи опалення і вентиляції.

Небезпечними називаються виробничі фактори, вплив яких на працюючого в певних умовах приведе до травми або іншого раптового результату, погіршенню здоров'я. Якщо ж виробничий фактор приведе до захворювання або зниження працездатності, то його вважають шкідливим.

Залежно від рівня тривалості впливу, шкідливий виробничий фактор може стати небезпечним.

Вони підрозділяються на чотири групи: фізичні, хімічні, біологічні і психофізичні.

До фізично небезпечних і шкідливих виробничих факторів ставляться: механізми, що рухаються машини й, рухливі частини виробничого встаткування, що пересуваються вироби (матеріали, заготовки), що руйнуються конструкції; підвищена запиленість і загазованість повітря робочої зони; підвищена або знижена температура повітря робочої зони; підвищена або знижена температура поверхні встаткування і матеріалів; підвищені рівні шуму, вібрації, ультразвуку, інфразвукових коливань; підвищене або знижений барометричний тиск і його різка зміна; підвищена або знижена вологість; рухливість, іонізація повітря; підвищений рівень іонізуючих випромінювань; підвищене значення напруги в електричному колі; підвищені рівні статичної електрики, електромагнітних випромінювань; підвищена напруженість електричного, магнітного полів; відсутність або недолік природного світла; недостатня освітленість робочої зони; підвищена яскравість світла; знижена контрастність; пряма і відбита блескость; підвищена пульсація світлового потоку; підвищені рівні ультрафіолетової і інфрачервоної радіації; гострі країки, задирки й шорсткості на поверхні

заготовок, інструментів і устаткування; розташування робочого місця на значній висоті щодо землі (підлог), невагомість.

До хімічно небезпечних і шкідливих виробничих факторів ставляться хімічні речовини, які по характеру впливу на організм людини підрозділяються на токсичні дратівні, впливають на репродуктивну функцію по шляхах проникнення в організм людини вони діляться на проникаючі через органі подихи, шлунково-кишковий тракт, шкірні покриви й слизуваті оболонки.

До біологічних небезпечних і шкідливих виробничих факторів ставляться патогенні мікроорганізми (бактерії, віруси і т.д.) і продукти їх життєдіяльності, а так само мікроорганізми рослин і тварин.

До психофізіологічних небезпечних і шкідливих виробничих факторів ставляться (статичні й динамічні) і нервово-психічні перевантаження: розумова перенапруга, перенапруга аналізаторів, монотонність праці, емоційні перевантаження.

Той самий фактор по природі своєї дії може ставиться одночасно до різних груп.

У завдання охорони праці входить відомість до мінімальної ймовірності поразки або захворювання працюючого з одночасним забезпеченням комфорту при максимальній продуктивності праці.

## 6.2. Розробка заходів щодо охорони праці при монтажі вентиляції

Для прискореного монтажу і створення безпечних умов роботи, повітроводи і фасонні частини збирають унизу в окремі великі вузли й ланки, які за допомогою піднімальних механізмів піднімають на місце монтажу.

Для запобігання розгойдування й крутіння, що піднімаються повітроводів застосовують відтягнення із прядив'яного каната, або тонкого гнучкого троса. Якщо повітровод піднімають двома лебідками, швидкості навівання канатів на барабани в обох лебідок повинні бути однаковими.

Закріплення, що підвішується вентиляційного повітроводу за ферми будинку перекриття і інші конструкції допускаються з дозволу майстра або виконавця робіт.

При з'єднанні повітроводів збіг отворів фланців перевіряють оправленнями. Забороняється перевіряти збігу отворів, що з'єднуються фланців пальцями.

Вентиляційне встаткування встановлюють на фундаментах або майданчиках, прийнятих від будівельної організації по акту. Вентилятори, калорифери й інше встаткування встановлюють на кронштейни, забиті в стіну, тільки після затвердіння цементу до проектної міцності.

Монтаж вентиляційного встаткування в приміщеннях, де можливо небезпечне виділення газу, роблять під керівництвом майстра або виконавця робіт. У вибухонебезпечних приміщеннях застосовують інструменти, виготовлені з кольорових металів або покриті міддю, які при падінні не можуть утворювати іскру.

При виконанні вентиляційних робіт у діючих цехах підприємств забороняється працювати близько не обгороджених механізмів, що рухаються, відкритих і не обгороджених люків, отворів, а так само під працюючим мостовим краном; поблизу електричних обладнань і електричних приводів, якщо вони не виключені або не обгороджені.

Складання повітроводів роблять у рукавицях і захисних окулярах.

У зв'язку з більшим поширенням у монтажі вентиляції ручного інструмента з електроприводом, надзвичайно актуальною стала проблема зменшення передачі вібрації на руки робітників. Зниження рівня вібрації, переданої на руки, при роботі з ручним механізованим інструментом, може бути досягнуте шляхом застосування віброзахисних рукавиць, у яких амортизатором є прокладка зі спеціального поролону товщиною 12 мм. Застосування робочого взуття на підошві, що амортизує, дозволяє зменшити рівень загальної вібрації.

### 6.3. Розробка заходів щодо охорони праці при зварювальних роботах монтажу систем опалення

Зварювальні роботи при монтажі системи опалення виконуються відповідно до вимог "Правил пожежної безпеки при проведенні зварювальних робіт на об'єкті будівництва", "Санітарних правил при зварюванні металу", ДСН 3.3.6.039-99 «Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації». Техніка безпеки в будівництві".

До електрозварювальних робіт допускаються особи, що пройшли спеціальну підготовку і перевірку технічних знань, практичних навичок роботи з устаткуванням, що вивчили інструкції з техніки безпеки, охороні праці, правил пожежної безпеки, що і мають посвідчення зварника.

Усі зварники повинні проходити щорічну перевірку теоретичних знань і практичних навичок. Зварювальні і інші вогневі роботи повинні проводитися за умови дотримання правил виробництва вогневих робіт і виконання необхідних заходів, що забезпечують безпеку, а також ретельному очищенню деталей зовні й зсередини від забруднень поверхні, що зварюються деталей.

Зварники повинні бути забезпечені по діючих нормах спецодягом "брезентова куртка", спеціальним взуттям, що не містить металевих частин, засобами індивідуального захисту.

Забороняється працювати в спецодязі, що має сліди масел і інших жирів забруднень. Для закриття очей і особи від дії ультрафіолетових променів зварник повинен користуватися наголовним щитком зі світлофільтром. Вибір світлофільтра з темного скла залежить від сили струму й виду зварювання. При монтажі системи опалення повинен застосовуватися світлофільтр В-2.

Електрозварювальні роботи виконуються вищевказаними вимогами нормативних документів "ССБТ. Роботи зварювальні. Загальні вимоги безпеки", "Правила техніки безпеки і виробничої санітарії при електрозварювальних роботах". Електричні обладнання, що входять до складу встаткування повинні відповідати вимогам нормативних документів "Обладнання електричні. Вимоги безпеки" і "Правила обладнання електроустановок". При електрозварювальних

роботах необхідно виконувати наступні вимоги: приєднання електрозварювальних установок мереж електропостачання роблять через комутаційні апарати. Безпосереднє харчування зварювальної дуги від освітлювальної дуги не допускається, зварювальні установки захищаються запобіжними або автоматичними вимикачами з боку живильної мережі. Установки для ручного зварювання повинні забезпечуватися амперметрами. Для запобігання загоряння електрокабелів і зварювального встаткування повинні бути правильно обрані перетини кабелів по призначенню струму, ізоляція кабелів по робочій напрузі. Пересувні джерела зварювального струму на час їх переміщення повинні відключатися від електромережі. Електрозварювальна установка на час роботи обов'язково заземлюється. Крім заземлення основного встаткування у зварювальних установках слід заземлювати вторинну обмотку зварювального трансформатора, до якого приєднується провідник, що йде до виробу (зворотне проведення). Для харчування однофазного зварювального апарата повинен застосовуватися трижильний шланговий кабель, третя жила якого повинна бути приєднана до заземлюючого болта на корпусі зварювального апарата. Для харчування трифазного зварювального апарата застосовують чотирижильний кабель, четверта жила якого використовується для заземлення. Затиск зварювального трансформатора, приєднаний до деталі за допомогою заземлюючого провідника із заземлюючим болтом на корпусі трансформатора.

Зварювальні кабелі з'єднують шляхом опресовування, зварювання або пайки за допомогою наконечників. Затиск зварювального трансформатора, повинен бути сухим, без масляних плям і залишків дроту. Перед початком роботи проводимо огляд справності ізоляції кабелів, щільність з'єднання кабелів.

Основні заходи щодо попередження аварій.

- Для попередження пожеж проводять профілактичні організаційні, технічні, режимні і експлуатаційні заходи.
- До організаційних заходів ставляться: правильний зміст будинків, територій, своєчасний інструктаж людей по пожежній безпеці, видання наказів по забезпеченню пожежної безпеки.

- До технічних заходів ставляться: дотримання норм і правил при проектуванні будинків, споруджень, обладнанні опалення, вентиляції, висвітлення, правильне розміщення встаткування;
- До режимних заходів ставляться: заборона виробництва вогневих і зварювальних робіт у пожежонебезпечних місцях.
- До експлуатаційних заходів ставляться: своєчасна підготовка ремонту і випробування встаткування, профілактичні огляди.

## ВИСНОВОК

У результаті виконання кваліфікаційної роботи було спроектовано систему теплопостачання для двоповерхової міської лікарні з урахуванням сучасних вимог до енергоефективності, безпеки та надійності.

На основі теплотехнічного аналізу огорожувальних конструкцій і визначення теплових втрат та надходжень було розраховано сумарну теплову потужність, необхідну для опалення будівлі, яка склала 99 143 Вт. З урахуванням додаткових теплових надходжень від трубопроводів була визначена необхідна теплова потужність опалювальних приладів.

Для забезпечення нормативного мікроклімату у приміщеннях прийнято однотрубну систему водяного опалення з нижнім розведенням. Розроблено аксонометричну схему системи опалення, визначено гідравлічно найбільш навантажені кільця, підібрано діаметри трубопроводів для усіх ділянок системи. Через недостатність природної циркуляції у частині контурів рекомендовано встановлення циркуляційного насоса.

Система вентиляції у будівлі передбачена загальнообмінна, припливно-витяжного типу, з використанням металевих повітроводів прямокутного перерізу. Проведено аеродинамічний розрахунок мережі з урахуванням заданої витрати повітря і втрат тиску.

Як теплообмінний вузол для тепловпункту обрано кожухотрубний теплообмінник. Наведено його конструктивні особливості, принцип роботи, способи ущільнення трубного пучка та рекомендації щодо забезпечення надійної експлуатації.

Розроблено схему індивідуального теплового пункту (ІТП), в якій передбачено підключення систем опалення, вентиляції та гарячого водопостачання до зовнішньої теплової мережі за незалежною схемою з використанням водо-водяного підігрівача, регулюючої арматури, вузлів обліку теплоспоживання та систем безпеки.

Окрему увагу приділено питанням охорони праці під час монтажу та експлуатації інженерних систем. У роботі розглянуто основні технічні, організаційні та санітарно-гігієнічні заходи щодо забезпечення безпечних умов праці персоналу.

Загалом, розроблене технічне рішення відповідає чинним будівельним нормам і може бути рекомендоване до впровадження на об'єктах медичного призначення.

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 Будівельна кліматологія.
2. ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування.
3. 1. Жувагіна, І. О., & Колісніченко, А. О. (2018). Механізм управління розвитком та ефективним використанням трудового потенціалу підприємства.
4. ДБН В.2.6-31:2016 Теплова ізоляція будівель.
5. Кузнецова С.А. Проектування водяних систем опалення [Текст]: навч. посіб. / С.А. Кузнецова, Т.Г. Слаутіна.–Миколаїв: Вид-во НУК, 2011-68с.
6. ДБН В.2.2-9-2009. Громадські будинки та споруди. Основні положення.
7. Рожкова Л.О., Лагунова Т.В. Опалення та вентиляція: навч. посіб. – Харків: УІПА, 2012. – 208 с.
8. Шейко С.Б. Теплотехнічні розрахунки огорожувальних конструкцій: навч. посіб. – Київ: КНУБА, 2016. – 148 с.
9. Міщенко А.П. Системи вентиляції та кондиціонування повітря: навч. посіб. – Київ: Ліра-К, 2015. – 224 с.
10. Каталог обладнання Calidor Super: технічні характеристики. – Італія: Fondital, 2022. – 32 с.
11. Довгалюк В. Б. Аеродинаміка вентиляції: Навчальний посібник / В. Б. Довгалюк. – Київ: ІВНВКП «Укреліотех», 2015. – 368 с.
12. Zhuvahina, I. (2026, April). Strategic transformation of the Ukrainian peat industry: from state-owned stagnation to private-sector modernization. In *Імперативи економічного зростання в контексті реалізації Глобальних цілей сталого розвитку*. Київський національний університет технологій та дизайну.
13. Каталог Danfoss: автоматичні регулятори систем опалення. – Київ: Danfoss Україна, 2022. – 40 с.
14. Каталог насосного обладнання Wilo: технічні описи. – Німеччина: Wilo SE, 2021. – 64 с.