

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Машинобудівний навчально-науковий інститут

Кафедра експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетика

«Допущений до захисту»

Завідувач кафедри ЕСЕУ та ТЕ

Личко Б.М.

«__» _____ 2026 р.

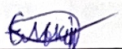
КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»

на тему: Спроекувати систему водяного опалення для гімназії площею

2300 м²

Виконав: студент групи 4241



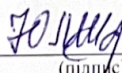
(підпис)

Селькін В.В.

Керівник роботи:

канд.техн.наук, доцент кафедри ЕСЕУ та ТЕ

(посада, науковий ступінь, вчене звання)



(підпис)

Шаповалов Ю.О.

м. Миколаїв – 2026 р.

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

Кафедра експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетика
 Спеціальність 144 «Теплоенергетика»
 Освітня програма «Теплоенергетика»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Гарант освітньої програми

« 5 » 06 2026 р.

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

Студента Єлькіна Владислава Валерійовича

(Прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Спроекувати систему водяного опалення для гімназії
площею 2300 м²

Керівник роботи Шаповалов Юрій Олександрович, канд.техн.наук,
доцент кафедри ЕСЕУ та ТЕ

Затверджено розпорядженням МННІ НУК № _____ від «____» _____ 2026 року

1. Термін подання студентом роботи до розгляду на кафедрі_____

2. Вихідні дані до роботи Теплоносій системи опалення - вода з параметрами 95-70°C, двоповерхова будівля гімназії . Розрахункова температура зовнішнього повітря для холодного періоду року: $t_3 = -19\text{ }^\circ\text{C}$. Розрахункова температура внутрішнього повітря в приміщеннях: $t_{в} = +20\text{ }^\circ\text{C}$. на сходових клітинах: $+18\text{ }^\circ\text{C}$. Геометричні параметри будівлі: висота поверху – 2,8 м; товщина міжповерхового перекриття – 0,3 м. Конструкція зовнішніх стін:– ракушняк, пінополістирол, штукатурка. Конструкція покрівлі: – залізобетонні плити, гіпсові плити. Підлога – бетонна, покрита лінолеумом та плиткою. Вікна та двері – металопластикові: – розмір вікон: $1,5 \times 1,8\text{ м}$; – розмір вхідних дверей: $2,3 \times 1,7\text{ м}$.

Креслення і характеристика будівлі

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

1. Характеристика об'єкта, для якого розробляється система теплопостачання. 2. Проектування системи водяного опалення. 3. Розробка систем вентиляції. 4. Розробка теплообмінного апарату. 5. Розробка питань з охорони праці.

4. Перелік презентаційних матеріалів

1. План будівлі закладу освіти
2. АксонOMETрична схема системи опалення
3. АксонOMETрична схема системи вентиляції
4. Система водопостачання
5. Кожухотрубний теплообмінник

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання «__» _____ 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

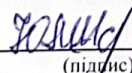
Номер	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Характеристика об'єкта, для якого розробляється система теплопостачання		
2	Проектування системи водяного опалення		
3	Розробка системи вентиляції		
4	Розробка теплообмінного апарату		
5	Розробка заходів з охорони праці		
6	Графічна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

Студент


(підпис)

Селькін В.В.

Керівник роботи


(підпис)

Шاپовалов Ю.О.

Анотація

У дипломній роботі розглянуто проектування системи водяного опалення для двоповерхової будівлі гімназії, розташованої в Миколаївській області. Проведено аналіз конструктивних характеристик будівлі, визначено розрахункові параметри внутрішнього та зовнішнього повітря, обґрунтовано вибір типу системи опалення.

Виконано розрахунок тепловтрат через огорожувальні конструкції, на підігрів інфільтраційного повітря та додаткові теплові втрати. Визначено опори теплопередачі стін, вікон, дверей, покрівлі та підлоги. На основі отриманих результатів здійснено підбір елементів двотрубною системи водяного опалення з насосною циркуляцією теплоносія.

У роботі враховано сучасні енергозберігаючі технології та вимоги нормативних документів щодо забезпечення комфортних умов перебування дітей у навчальному закладі. Запропоновані технічні рішення забезпечують ефективну, надійну та економічну роботу системи теплопостачання будівлі.

Ключові слова : Система водяного опалення, тепловтрати, теплопередача, огорожувальні конструкції, теплопостачання, двотрубна система, насосна циркуляція, енергозбереження, опір теплопередачі.

Annotation

This diploma thesis considers the design of a water heating system for a two-storey gymnasium building located in Mykolaiv region. The structural characteristics of the building were analyzed, the design parameters of indoor and outdoor air were determined, and the choice of the heating system type was justified.

Heat losses through building envelopes, heating of infiltration air, and additional heat losses were calculated. The thermal resistance of walls, windows, doors, roof, and floor was determined. Based on the obtained results, the elements of a two-pipe water heating system with pump circulation of the heat carrier were selected.

The work takes into account modern energy-saving technologies and regulatory requirements to ensure comfortable conditions for children in an educational institution.

					ВКР.144.4241.03.ПЗ.00	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

The proposed technical solutions provide efficient, reliable, and economical operation of the building's heating system.

Keywords: Water heating system, heat losses, heat transfer, building envelopes, heat supply, two-pipe system, pump circulation, energy saving, thermal resistance.

					ВКР.144.4241.03.ПЗ.00	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ВСТУП.....	
РОЗДІЛ1. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ, ДЛЯ ЯКОГО ПРОЕКТУЄТЬСЯ.....	
1.1. Загальна характеристика об'єкту.....	
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА СИСТЕМИ ВОДЯНОГО ОПАЛЕННЯ.....	
2.1. Визначення величин опору теплопередачі огорожень приміщень . Визначення теплових втрат через огороження приміщень, на підігрів ін- фільтраційного повітря ,матеріалу та інші втрати теплоти.....	
2.2 Визначення надходжень теплоти у приміщення.....	
2.3. Визначення надходжень теплоти у приміщення, складання рівняння теплового балансу об'єкту і визначення теплової потужності системи опа- лення.....	
2.4. Перевірка значення питомих витрат теплоти на опалення будівлі.....	
2.5. Розрахунок площі поверхонь опалювальних приладів для усіх примі- щень . Вибір типу і кількості опалювальних приладів	
2.6. Розрахунок площі поверхонь опалювальних приладів для усіх примі- щень . Вибір типу і кількості опалювальних приладів	
2.7. Розробка аксонометричної схеми системи опалення з нанесенням на неї опалювальних приладів, стояків, магістральних теплопроводів та інших елементів системи.....	
2.8. Розрахунок головного циркуляційного кільця. Підбір циркуляційного насосу за типом та параметрами.....	
2.9 Розрахунок ємності розширювального баку	
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА СИСТЕМИ ВЕНТИЛЯЦІЇ	
3.1. Обґрунтування вибору систем вентиляції згідно з приміщеннями.....	
3.2. Аеродинамічний розрахунок систем вентиляції.....	

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА ТЕПЛООБМІННОГО АПАРАТУ	
4.1. Призначення, принцип дії, визначення початкових параметрів	
4.2. Тепловий розрахунок теплообмінного апарату.....	
4.3. Тепловий розрахунок. Визначення основних геометричних розмірів	
4.4. Гідравлічний розрахунок.....	
4.5. Розрахунок корпусу на міцність.....	
РОЗДІЛ 5. РОЗРОБКА ЗАХОДІВ З ОХОРОНИ ПРАЦІ.....	
5.1. небезпечні і шкідливі фактори.....	
5.2. Розробка заходів з охорони праці при монтажі систем кожухотрубного теплообмінного апарату.....	
5.3. Основні протипожежні заходи.....	
ВИСНОВКИ.....	
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	

Вступ

Сучасні вимоги до проєктування інженерних систем будівель передбачають забезпечення комфортних умов перебування людей при одночасному зниженні енергоспоживання та раціональному використанні паливно-енергетичних ресурсів. Особливої актуальності це набуває для громадських і навчальних закладів, у яких значна кількість людей перебуває протягом тривалого часу, а підтримання нормативного мікроклімату є обов'язковою умовою безпечної та ефективної експлуатації приміщень. Однією з ключових складових інженерного забезпечення таких будівель є система опалення, що повинна гарантувати стабільний тепловий режим у холодний період року з урахуванням кліматичних умов регіону.

Будівля гімназії, розташована в селі Мигія Миколаївської області, належить до об'єктів соціальної інфраструктури, для яких питання енергоефективності, надійності та економічності систем теплопостачання мають першочергове значення. З огляду на підвищення вартості енергоносіїв, посилення вимог до теплозахисту огорожувальних конструкцій та необхідність зменшення теплових втрат, проєктування системи водяного опалення повинно базуватися на детальному теплотехнічному аналізі будівлі та сучасних підходах до організації теплопостачання.

У процесі проєктування системи опалення важливим є врахування конструктивних особливостей огорожувальних елементів, їх опору теплопередачі, площі світлопрозорих конструкцій, а також втрат теплоти на інфільтрацію повітря. Сукупність цих чинників визначає величину теплового навантаження та впливає на вибір типу системи, параметрів теплоносія і схеми розводки трубопроводів. Раціонально спроектована система водяного опалення дозволяє забезпечити рівномірний розподіл теплоти в приміщеннях, знизити експлуатаційні витрати та підвищити енергоефективність будівлі в цілому.

Метою даної дипломної роботи є проєктування ефективної системи водяного опалення для двоповерхової будівлі гімназії з урахуванням теплотехнічних характеристик огорожувальних конструкцій, кліматичних умов району

					ВКР.144.4241.03.ПЗ.00	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

будівництва та вимог нормативної документації. Для досягнення поставленої мети необхідно виконати аналіз об'єкта теплопостачання, розрахувати теплові втрати через огорожувальні конструкції та на підігрів інфільтраційного повітря, визначити теплове навантаження та обґрунтувати вибір схеми і параметрів системи опалення.

Актуальність теми полягає у впровадженні енергоефективних рішень при проектуванні інженерних систем навчальних закладів, що сприяє зменшенню витрат теплової енергії, підвищенню комфорту перебування людей та покращенню техніко-економічних показників експлуатації будівлі. Реалізація запропонованих рішень дозволить забезпечити нормативний температурний режим у приміщеннях гімназії впродовж опалювального періоду та підвищити загальну ефективність системи теплопостачання.

Мета роботи : Метою дипломної роботи є розробка та обґрунтування параметрів енергоефективної системи водяного опалення для двоповерхової будівлі гімназії на основі теплотехнічних розрахунків огорожувальних конструкцій, визначення теплових втрат і підбору оптимальних технічних рішень, що забезпечують нормативні умови мікроклімату приміщень у холодний період року.

Завдання : Для досягнення поставленої мети в дипломній роботі необхідно вирішити такі завдання:

1. Проаналізувати конструктивні та планувальні особливості двоповерхової будівлі гімназії, а також її інженерне забезпечення.
2. Визначити розрахункові параметри внутрішнього та зовнішнього повітря відповідно до чинних нормативних вимог.
3. Дослідити теплотехнічні характеристики огорожувальних конструкцій будівлі.
4. Виконати розрахунок опору теплопередачі стін, вікон, перекриттів і покриття.
5. Розрахувати теплові втрати через зовнішні огорожувальні конструкції.

					ВКР.144.4241.03.ПЗ.00	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

6. Визначити втрати теплоти на підігрів інфільтраційного повітря.
7. Встановити загальне теплове навантаження будівлі.
8. Обґрунтувати вибір типу системи водяного опалення.
9. Виконати підбір основних елементів системи опалення та визначити її параметри.
10. Розробити технічні рішення, спрямовані на підвищення енергоефективності та надійності роботи системи.
11. Передбачити заходи щодо раціонального використання теплової енергії під час експлуатації.
12. Забезпечити відповідність проєктних рішень санітарно-гігієнічним та енергетичним вимогам.

Об'єкт розробки : Об'єктом розробки в дипломній роботі є система водяного опалення двоповерхової будівлі гімназії, розташованої в Миколаївській області. Будівля призначена для навчального процесу та має значну площу огорожувальних конструкцій, що зумовлює необхідність забезпечення ефективного та надійного теплопостачання у холодний період року.

У межах роботи розглядаються конструктивні особливості будівлі, теплотехнічні характеристики її огорожень та параметри мікроклімату приміщень, які впливають на вибір і розрахунок системи опалення. Основна увага приділяється розробці енергоефективної двотрубною системи водяного опалення з насосною циркуляцією теплоносія, здатної забезпечити нормативні умови температурного режиму в навчальних і допоміжних приміщеннях гімназії.

Предмет розробки : Предметом розробки в дипломній роботі є теплотехнічні розрахунки та інженерні рішення, пов'язані з проєктуванням енергоефективної системи водяного опалення для двоповерхової будівлі гімназії. У межах предмета розглядаються процеси теплопередачі через огорожувальні конструкції, визначення теплових втрат будівлі, розрахунок теплового навантаження та обґрунтування параметрів двотрубною системи опалення з насосною циркуляцією теплоносія.

					ВКР.144.4241.03.ПЗ.00	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Особлива увага приділяється вибору оптимальних технічних рішень, що забезпечують підтримання нормативного температурного режиму в приміщеннях, зменшення теплових втрат та підвищення загальної енергоефективності будівлі.

Методи розробки : Для розв'язання поставлених завдань використано комплекс теоретичних, розрахункових та аналітичних методів.

Застосовано аналітичний метод для вивчення конструктивних особливостей будівлі, її огорожувальних конструкцій та інженерного забезпечення. На основі нормативних документів і довідкових даних визначено розрахункові параметри внутрішнього та зовнішнього повітря, необхідні для виконання теплотехнічних розрахунків.

Розрахунковий метод використано для визначення опору теплопередачі огорожувальних конструкцій, розрахунку теплових втрат через стіни, вікна, перекриття та покриття, а також втрат теплоти на підігрів інфільтраційного повітря. На основі отриманих результатів встановлено загальне теплове навантаження будівлі.

Метод інженерного підбору застосовано для обґрунтування вибору типу системи водяного опалення, визначення її параметрів та підбору основних елементів системи. Під час розробки технічних рішень враховано вимоги енергоефективності, надійності та зручності експлуатації.

Також використано метод порівняльного аналізу для вибору оптимальних технічних рішень з урахуванням сучасних енергозберігаючих технологій і матеріалів.

Одержані результати : У процесі виконання дипломної роботи отримано результати, що дозволили обґрунтувати вибір ефективної системи водяного опалення для двоповерхової будівлі гімназії.

Проведено аналіз конструктивних особливостей будівлі та визначено розрахункові параметри внутрішнього і зовнішнього повітря для умов холодного періоду року. Визначено теплотехнічні характеристики огорожувальних

конструкцій і виконано розрахунок їх опору теплопередачі відповідно до нормативних вимог.

Розраховано теплові втрати через стіни, вікна, перекриття та покриття, а також втрати теплоти на підігрів інфільтраційного повітря. На основі отриманих даних встановлено загальне теплове навантаження будівлі, що стало основою для подальшого проєктування системи опалення.

Обґрунтовано вибір двотрубної системи водяного опалення з насосною циркуляцією теплоносія, що забезпечує рівномірний розподіл теплоти в приміщеннях і стабільність температурного режиму. Виконано підбір основних елементів системи опалення та визначено її розрахункові параметри.

Запропоновано технічні рішення, спрямовані на зниження теплових втрат і підвищення енергоефективності будівлі. Отримані результати забезпечують відповідність проєктних рішень санітарно-гігієнічним вимогам та створюють умови для надійної і економічної експлуатації системи опалення.

Практичне значення роботи : Практичне значення дипломної роботи полягає у розробці технічно обґрунтованого проєкту системи водяного опалення для двоповерхової будівлі гімназії, який може бути безпосередньо використаний під час проєктування, модернізації або реконструкції систем теплопостачання закладів освіти та інших громадських будівель.

Отримані в роботі результати теплотехнічних розрахунків дозволяють об'єктивно оцінити теплові втрати будівлі та визначити необхідне теплове навантаження для забезпечення нормативного температурного режиму приміщень. Це дає можливість правильно підібрати тип системи опалення, її параметри та основне обладнання з урахуванням вимог енергоефективності.

Запропоновані технічні рішення сприяють зменшенню витрат теплової енергії, підвищенню надійності роботи системи та зниженню експлуатаційних витрат. Результати роботи можуть бути використані як практичні рекомендації для інженерів-проєктувальників під час розробки аналогічних систем опалення, а

також у навчальному процесі під час підготовки фахівців з теплопостачання та енергоефективності будівель.

					ВКР.144.4241.03.ПЗ.00	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1. Характеристика об'єкта, для якого розробляється система

теплопостачання. Вибір та обґрунтування розрахункових параметрів.

Загальна характеристика об'єкту

Проект систем теплопостачання розробляється для двоповерхової будівлі гімназії, яка розташована в Миколаївській області.

Вздовж вулиці прокладені опалювальні мережі. Магістрально-опалювальні мережі розміщено з правої сторони будівлі на відстані 7 м.

Будівля двоповерхова, з підвалом, загальною площею 2800 м².

В проєкті гімназії закладено система водяного опалення. Будівля збудована з підвалом для господарських потреб, а також для прокладення комунікацій.

Будівля оснащена санітарними вузлами, їдальнею, посудомийною кімнатою, кімнатами для господарських потреб, гардеробом та іншими приміщеннями.

Вентиляція – механічна припливно-витяжна, забезпечує необхідні повітрообміни в приміщеннях. Приток в приміщення свіжого, підігрітого в зимовий період зовнішнього повітря здійснюється малогабаритними підвісними припливними установками. Витяжка з учбових приміщень – природна, з приміщення санвузлів, гардеробних, спортивної зали – механічна, здійснюється каналними вентиляторами відповідно ДСТУ-Н Б В.2.5-73:2013.

Розрахункова температура у приміщеннях +20°C, оскільки в приміщеннях знаходяться діти; на сходах, +18°C, так як це місце нетривалого перебування дітей. Розрахункова зовнішня температура повітря приймається мінус 19°C. Теплоносій – гаряча вода з розрахунковими параметрами $T_1=95^\circ\text{C}$, $T_2=70^\circ\text{C}$. [2, 3, 4]

Система опалення двотрубна з насосною циркуляцією.

Зовнішні стіни – ракушняк ($\delta=0,4\text{м}$, $\lambda=0,45\text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$), пінополістирол ($\delta=0,05\text{м}$, $\lambda=0,041\text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$), облицьовані штукатуркою ($\delta=0,05\text{ м}$, $\lambda=0,56\text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$). Покрівля виконана із залізобетонних плит ($\delta=0,2\text{м}$, $\lambda=1,55\text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$), плити з гіпсу ($\delta=0,1\text{м}$, $\lambda=0,23\text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$). Підлога бетонна, застелена лінолеумом та плиткою. Перекриття між поверхами 0,3 м, висота першого і

					ВКР.144.4241.03.ПЗ.01	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

другого поверху 2,8 м. Двері та вікна виконані з металопластика. Вхідні двері 2,3×1,7 м, вікна 1,5 × 1,8 м. [5]

В роботі використовувалися новітні енергозберігаючі технології, а також матеріали, які дозволяють економити споживання тепла. Стіни, стеля, вікна та двері підібрані таким чином, щоб втрати тепла були якомога меншими.

					ВКР.144.4241.03.ПЗ.01	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2. Проектування системи водяного опалення

2.1 Визначення величин опору теплопередачі огорожень приміщень

2.1 Визначення теплових втрат через огороження приміщень, на підігрів ін-фільтраційного повітря ,матеріалу та інші втрати теплоти

Теплові втрати через зовнішні конструкції огорожень знаходимо як суму втрат через окремі огорожувальні конструкції згідно наведеної формули [5]:

$$Q_{ог} = \sum_{s=1}^m k_i F_i (t_{вн} - t_{пз}) \cdot (1 + \sum \beta_i) \cdot n_i ,$$

де k_i – коефіцієнт теплопередачі зовнішніх конструкцій, Вт/(м²К);

F_i – площа поверхні окремих зовнішніх конструкцій, м²;

$t_{вн}$ – температура всередині приміщення, °С;

$t_{пз} = t_{н}^Б$ – розрахункова температура зовнішнього повітря, °С;

n_i – коефіцієнт, за допомогою якого урахуємо зниження різниці температур, яка залежить від положення зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції.

У якості прикладу розраховуємо приміщення 1:

Зовнішня стіна з 3 вікнами.

Висота стіни приймається як сума висоти приміщень і перекриття

$$h_1 + \delta_{пер} = 2,8 + 0,3 = 3,1 \text{ м}$$

ширина $a_1 = a_2 + \delta_1 = 10,2 + 0,5 = 10,7 \text{ м};$

площа стіни $F_{1cc} = h_1 \cdot a_1 = 3,1 \cdot 10,7 = 33,17 \text{ м}^2;$

площа вікон $F_{вік} = n \cdot h_{вік} \cdot c_1 = 3 \cdot 1,5 \cdot 1,8 = 8,1 \text{ м}^2;$

площа стіни з урахуванням площі застління

$$F_1 = 33,17 - 8,1 = 25,07 \text{ м}^2$$

Аналогічно розрахунки будуть для всіх приміщень, результати цих розрахунків заносимо у таблицю 2.1.

					ВКР.144.4241.03.ПЗ.02	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Для зовнішніх стін тепловий потік послідовно долає опір теплообміну на внутрішній поверхні стіни R_b , матеріалів шарів огороження R_i та опір зовнішньої поверхні R_n , тому опір теплопередачі цегляних стін визначаємо за формулою:

$$R_{0\text{ст}} = R_b + \sum R_i + R_n, (\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт},$$

$$\text{де } R_b = \frac{1}{\alpha_b} = \frac{1}{8,7} = 0,115, (\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт};$$

$$\sum R_i = \frac{0,4}{0,49} + \frac{0,05}{0,041} + \frac{0,05}{0,56} = 2,21 (\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт};$$

$$R_n = \frac{1}{\alpha_n} = \frac{1}{23,3} = 0,043, (\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт};$$

α_b – коефіцієнт теплопередачі матеріалу $\alpha_b = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ (тепловий потік від внутрішнього повітря до внутрішньої поверхні стіни);

α_n – коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні огороження до зовнішнього повітря $\alpha_n = 23,3 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$. [6]

Коефіцієнт тепловіддачі для стін, $k_{0\text{ст}} = 0,42 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; коефіцієнт тепловіддачі для метало пластикових вікон $k_{\text{вік}} = 2,63, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; для дверей $k_{\text{дв}} = 2,33, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

$$Q_{\text{ог}} = \sum_{s=1}^m k_i F_i (t_{\text{вн}} - t_{\text{пз}}) \cdot (1 + \sum \beta_i) \cdot n_i = 1560 \text{ Вт}$$

Загальні результати зведені в таблицю 2.1.

2.2 Визначення надходжень теплоти у приміщення

Теплові втрати на підігрів повітря, що інфільтрується у приміщення, визначаємо за методикою, наведеною у ДБН В.2.5-67:2013 за однією з формулхбї:

$$Q_{\text{інф}} = 0,28 \sum G_{\text{інф}} c (t_{\text{вн}} - t_{\text{н}}^{\text{б}}) \cdot k \quad \text{чи} \quad Q_{\text{інф}} = 0,28 \sum L \rho_{\text{інф}} c (t_{\text{вн}} - t_{\text{н}}^{\text{б}}) \cdot k$$

					ВКР.144.4241.03.ПЗ.02	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

де $\sum G_{\text{інф}}$ – витрати повітря, що інфільтрується через огорожувальні конструкції, кг/с;

c – теплоємність повітря, приймається $c = 1 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$;

k – коефіцієнт, приймаємо значення $0,7 \dots 1,0$ залежно від умов проходження теплового потоку у приміщенні;

L – витрати повітря, що видаляється з приміщення та не компенсується припливним повітрям, яке підігрівається, кг/с.

Можна визначати $Q_{\text{інф}}$ приблизно $Q_{\text{інф}} = (0,05 \dots 0,15) Q_{\text{ог}}$, в залежності від призначення приміщення. Більша доля втрат теплоти відноситься до конструкцій з вікнами та зовнішніми дверима, менші значення – для урахування втрат теплоти повітря, що інфільтрується через вікна.

Розраховуємо втрати теплоти на нагрів повітря, що інфільтрується через зовнішні огорожувальні поверхні за формулою:

$$\sum G_{\text{інф}} = \frac{0,21 \sum \Delta p_1^{0,67} A_1}{R_1}.$$

де Δp – різниця тиску повітря на зовнішніх та на внутрішніх огорожувальних поверхнях відповідно вікон – Δp_1 ;

A_1 та R_1 – відповідно площа вікон, м^2 та опір проникненню повітря через них (R_1), $\text{м}^2 \cdot \text{год}/\text{кг}$.

Втрати теплоти $Q_{\text{інф}} = 1550 \text{ Вт}$

$$Q_{\text{втр}} = 10380 + 1550 = 11930 \text{ Вт}$$

Результати розрахунку заносимо в таблицю 2.2.

2.3 Визначення надходжень теплоти у приміщення, складання рівняння теплового балансу об'єкту і визначення теплової потужності системи опалення.

Надходження теплоти у приміщення визначається за наведеною формулою:

					ВКР.144.4241.03.ПЗ.02	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

$$Q_{\text{над}} = Q_{\text{пп}} + Q_{\text{елос}} + Q_{\text{елоб}} + Q_{\text{проб}} + Q_{\text{л}} + Q_{\text{м}} + Q_{\text{ср}}$$

Теплота надходжень у приміщення від електричного освітлення:

$$Q_{\text{елос}} = N_{\text{елос}} k,$$

де $N_{\text{елос}} = \sum N_{i\text{елос}} n_i$ – загальна потужність освітлювальних приладів, кВт;

$N_{i\text{елос}}$ – потужність одного освітлювального приладу, кВт;

n_i – кількість приладів у приміщенні однієї потужності, шт.;

k – коефіцієнт, що враховує кількість переданої теплоти від освітлювальних приладів у приміщення.[7]

Теплота надходжень у приміщення від людини:

$$Q_{\text{л}} = \sum Q_{\text{ли}} n_i = \sum \beta_i \beta_{\text{од}} (2,5 + 10,3 \sqrt{V_{\text{п}}}) \cdot (35 - t_{\text{вн}}) \cdot n_i$$

де $\beta_i, \beta_{\text{од}}$ – коефіцієнти, що враховують інтенсивність праці та захисні якості

одягу людини відповідно;

$V_{\text{п}}$ – рухомість повітря в приміщенні, м/с;

$t_{\text{вн}}$ – температура у приміщенні, °С;

n_i – кількість людей у приміщенні.

Приймаємо: $\beta_{\text{р}} = 1$; $\beta_{\text{од}} = 0,65$; $v_{\text{в}} = 0,1$ м/с; $t_{\text{вн}} = 18$ °С; $k = 0,95$ і $n_i = 5$.

$$Q_{\text{л}} = \sum Q_{\text{ли}} n_i = \sum \beta_i \beta_{\text{од}} (2,5 + 10,3 \sqrt{V_{\text{п}}}) \cdot (35 - t_{\text{вн}}) \cdot n_i = 630 \text{ Вт} \quad \text{– від людей,}$$

$$Q_{\text{осел}} = 680 \text{ Вт}$$

$$Q_{\text{над}} = 680 + 630 = 1310 \text{ Вт}$$

Недостача теплоти, яку треба вносити в приміщення системою опалення, вона визначається як теплова потужність системи опалення

$$Q_{\text{со}} = Q_{\text{втр}} - Q_{\text{над}} = 11930 - 1310 = 10620 \text{ Вт}$$

					ВКР.144.4241.03.ПЗ.02	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Результат розрахунку балансу теплоти одного приміщення заносимо у таблицю 2.2

Система гарячого водопостачання призначена для подачі гарячої води в житлові будівлі, для господарських потреб, побутових потреб і проведення технологічних процесів.

В будівлі школи гаряча вода необхідна для потреб кухні, гігієнічних та санітарних прибирань. Тому вираховуємо необхідну кількість тепла у відсотках від загальної кількості тепла, яке треба внести в приміщення, приблизно 20%, тобто $79230 \cdot 0,20 = 15850 \text{ Вт}$.

Теплова потужність джерела теплопостачання визначається за формулою

$$Q_{\text{джер}} = k_{\text{зап}} (Q_{\text{со}} + Q_{\text{вент}} + Q_{\text{ГВП}} + Q_{\text{вироб}}),$$

де $k_{\text{зап}}$ – коефіцієнт запасу теплової потужності, дорівнює 1,1;

$Q_{\text{со}}$, $Q_{\text{вент}}$, $Q_{\text{ГВП}}$, $Q_{\text{вироб}}$ – теплові потужності систем опалення, вентиляції, гарячого водопостачання, виробництва відповідно, які залежать від призначення об'єкту теплопостачання, кВт. Чисельні значення складових теплової потужності прийняті у відсотках від $Q_{\text{со}}$. [8]

На вентиляцію необхідно 25% від $Q_{\text{со}}$, тобто $79230 \cdot 0,25 = 19800 \text{ Вт}$

В сумі

$$Q_{\text{джер}} = k_{\text{зап}} (Q_{\text{со}} + Q_{\text{вент}} + Q_{\text{ГВП}} + Q_{\text{вироб}}) = 1,1(79230 + 15850) = 104580 \text{ Вт} = 105 \text{ кВт}$$

У якості джерела тепла пропонується індивідуальна котельня, яка буде забезпечувати будівлю необхідною кількістю тепла та гарячої води.

2.4 Перевірка значення питомих витрат теплоти на опалення будівлі

Питомі витрати теплоти на опалення споруд визначаємо за формулою для одного приміщення

$$q = k_q \frac{Q_{\text{со}}}{V_{\text{зов}} (t_{\text{вн}} - t_{\text{н}}^{\text{в}})}$$

					ВКР.144.4241.03.ПЗ.02	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

де $V_{\text{зов}}$ – зовнішній об’єм будівлі, м^3 ;

$t_{\text{вн}}$ – середня температура у приміщеннях, $^{\circ}\text{C}$;

k_q – коефіцієнт що враховує місце розташування приміщення по поверхам та сторонам світу.

Для розрахункового прикладу приміщення 1 питома витрата теплоти одного приміщення з урахуванням коефіцієнту k_q складає:

$$q = 1,6 \cdot 10620 / 1160 (20 - (-19)) = 0,375 \text{ Вт/м}^3$$

Це значення порівнюємо зі значенням $q_{\text{пит}}$ для адміністративних споруд $q_{\text{пит}} = 0,49$ за нормами, що задовольняє вимогам $q < q_{\text{пит}}$. [5,9] Результати занесені в таблицю 2.2

2.5. Розрахунок площі поверхонь опалювальних приладів для усіх приміщень . Вибір типу і кількості опалювальних приладів .

У даній системі опалення використаємо чавунні секційні радіатори МС-140М-500-0,9. Для чавунних радіаторів поверхня теплообміну забезпечується декількома секціями. Розміщення приладів вказано на аксонометричній схемі системи водяного опалення.

Система опалення двотрубна з горизонтальним нижнім розведенням, температура гарячої води $t_r = 95^{\circ}\text{C}$, зворотної $t_o = 70^{\circ}\text{C}$. Температура води в приміщенні $t_{\text{вн}} = 20^{\circ}\text{C}$. Розміщення приладів вказано на аксонометричній проекції системи водяного опалення.

2.6. Розрахунок площі поверхонь опалювальних приладів для усіх приміщень . Вибір типу і кількості опалювальних приладів .

Проведемо розрахунок поверхні теплообміну одного приміщення. Для інших приміщень розрахунок зводимо у таблицю 2.3. Розраховуємо поверхню нагріву і

					ВКР.144.4241.03.ПЗ.02	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

визначаємо кількість секцій нагрівального приладу з чавунних радіаторів МС-140М-500-0,9. Радіатори встановлені біля світлового отвору з нішею під підвіконням на відстані від верху приладу до низу підвіконної дошки 80 мм. Теплове навантаження на приміщення 10620 Вт.

Відкрито прокладені: стояки зовнішнім діаметром $d_{\text{зовн}} = 17$ мм, підводки зовнішнім діаметром $d_{\text{зовн}} = 17$ мм.

У подавальній частині системи, де $\Delta t = t_{\text{г}} - t_{\text{в}} = 95 - 20 = 75$ °С, для вертикальних труб $d_{\text{зовн}} = 21,3$ мм - $q_{\text{в}} = 65$ Вт/м, для горизонтальних труб $d_{\text{зовн}} = 21,3$ мм - $q_{\text{г}} = 84$ Вт/м (табл. 7.1 додаток 7)[5, 10].

У зворотній частині системи, де $\Delta t = t_{\text{о}} - t_{\text{в}} = 70 - 20 = 50$ °С, для вертикальних труб з $d_{\text{зовн}} = 21,3$ мм - $q_{\text{в}} = 37$ Вт/м, для горизонтальних труб з $d_{\text{зовн}} = 21,3$ мм - $q_{\text{г}} = 50$ Вт/м (табл. 7.1 додаток 7) [5].

$$Q_{\text{тр}} = (q_{\text{в}} l_{\text{в}} + q_{\text{г}} l_{\text{г}}) \Delta t = 77^{\circ}\text{C} + (q_{\text{в}} l_{\text{в}} + q_{\text{г}} l_{\text{г}}) \Delta t = 52^{\circ}\text{C} = 9118 \text{ Вт.}$$

На три опалювальні прилади теплове навантаження складає

$$Q_{\Sigma\text{пр}} = 10620 - 0,9 \cdot 9118 = 2413 \text{ Вт}$$

Вважаємо, що навантаження на всі 3 прилади однакове, тоді

$$Q_{\text{пр}} = Q_{\Sigma\text{пр}}/3 = 2413/3 = 268,2 \text{ Вт}$$

Розрахункову густину теплового потоку нагрівального приладу визначаємо:

$$q_{\text{пр}} = q_{\text{ном}} \left(\frac{\Delta t_{\text{ср}}}{70} \right)^{1+n} \left(\frac{G_{\text{пр}}}{0,1} \right)^p c_{\text{пр}} = \approx 585,1 \text{ Вт/м}^2,$$

де $q_{\text{ном}} = 656$ Вт/м² – номінальна густина теплового потоку приладу при стандартних умовах; $n = 0,3$; $p = 0,02$; $c_{\text{пр}} = 1,039$.

$$\Delta t_{\text{ср}} = (0,5 (t_{\text{г}} + t_{\text{о}}) - t_{\text{в}}) = 0,5 (95 + 70) - 20 = 62,5^{\circ}\text{C}$$

Дійсна витрата води в нагрівальному приладі

$$G_{\text{пр}} = \frac{Q_{\text{пр}}}{c(t_{\text{г}} - t_{\text{о}})} = \frac{268,2}{4187 \cdot (95 - 70)} = 0,0025 \text{ кг/с} = 9,2 \text{ кг/год.}$$

					ВКР.144.4241.03.ПЗ.02	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Розрахункова поверхня нагріву безпосередньо нагрівального приладу

$$F_p = \frac{Q_{\text{пр}}}{q_{\text{пр}}} \beta_1 \beta_2 = 0,477 \text{ м}^2,$$

де β_1, β_2 – коефіцієнти, що враховуємо додатковий тепловий потік нагрівальних приладів за рахунок округлення розрахункових величин та додаткові втрати теплоти приладами біля зовнішніх огорожень, $\beta_1 = 1,06, \beta_2 = 1,02$.

Розрахункова кількість секцій чавунних радіаторів

$$N_p = \frac{F_p \beta_4}{f_1 \beta_3} = 2,241$$

де f_1 – площа поверхні нагріву однієї секції. Для радіатору типу МС-140М-500-0,9 $f_1 = 0,2 \text{ м}^2$;

β_3 – коефіцієнт, що враховує кількість секцій в одному радіаторі, для радіатора типу МС-140-108 $\beta_3 = 0,97 + \frac{0,06}{F_{\text{пр}}} = 1,096$ і $\beta_4 = 1,03$ – коефіцієнт, що враховує спосіб установки радіатора в приміщенні.

Кількість секцій округляємо до більшого цілого. Приймаємо $N_{\text{уст}} = 3$ секцій. Результат вписуємо в таблицю 2.3.

2.7 Розробка аксонометричної схеми системи опалення з нанесенням на неї опалювальних приладів, стояків, магістральних теплопроводів та інших елементів системи

Для систем опалення і внутрішнього теплопостачання в якості теплоносія слід застосовувати, як правило, воду, інші теплоносії допускається використовувати при відповідному техніко-економічному обґрунтуванні. В системах водяного опалення вода послідовно проходить магістральні трубопроводи, що подають стояки, опалювальні прилади, зворотні стояки і повертається до джерела теплоти.

					ВКР.144.4241.03.ПЗ.02	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Для даної школи приймається закрита система опалення, двохтрубна вертикальна. Аксонометричну схему опалення наведено на кресленні.

Аксонометричні схеми та робочі креслення вузлів технологічних трубопроводів, як правило, розробляються для об'єктів, що мають велику кількість трубопроводів і складну технологію розведення.

Аксонометричні схеми дають наочне уявлення про розташування трубопроводів водопостачання в будівлях, про діаметри труб і напрямлення їх ухилів, про місцезнаходження прохідних трійників, кранів та іншої арматури на трубопроводах, а також про місця спусків води з систем водопостачання.

За аксонометричною схемою розподільну мережу розбивають на розрахункові ділянки з визначенням їх довжин.

При розробці проєкту водяного опалення виконуємо аксонометричну схему нижньої розводки.

2.8 Розрахунок головного циркуляційного кільця. Підбір циркуляційного насоса за типом та параметрами

Температура води в подавальній тепловій мережі $t_1 = 130\text{ }^{\circ}\text{C}$, в зворотній – $t_0 = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$. Температура води, що подається в систему опалення, $t_r = 95\text{ }^{\circ}\text{C}$, на виході (охолодженої) – $t_o = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Гідравлічний розрахунок проводимо за методикою по питомим втратам тиску. Метою розрахунку є визначення діаметрів труб у системі та перевірка працездатності системи по співвідношенню розрахункового циркуляційного тиску води і сумарним втратам тиску при русі води від тертя та здолання місцевих опорів.

Вибираємо головне циркуляційне кільце (ГЦК), що проходить через найвищий і найвіддаленіший опалювальний прилад, як найбільш навантажений

Кількість води, що проходить по кожній ділянці циркуляційного кільця, визначаємо за формулою:

$$G_{\text{дїл}} = \frac{3,6Q_{\text{дїл}}}{c(t_r - t_o)} \beta_1 \beta_2 = \frac{3,6 \cdot 49290}{4,19 (95 - 70)} \cdot 1,02 \cdot 1,02 = 1762 \text{ кг/год}$$

де $Q_{\text{дїл}}$ – теплове навантаження ділянки, Вт;

$c = 4,19 \text{ кДж/(кг}\cdot^{\circ}\text{C)}$ – теплоємність води;

					ВКР.144.4241.03.ПЗ.02	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

$\beta_1 = 1,02$ і $\beta_2 = 1,02$ – коефіцієнти врахування додаткових теплових потоків від округлення та розрахункових величин і від способу установки нагрівальних приладів відповідно.

$$p_d = \frac{w^2}{2} \rho - \text{динамічний тиск води на даній ділянці теплопроводу, Па.}$$

Втрати тиску на здолаття місцевих опорів Z , Па визначають за формулою:

$$Z = \sum \zeta \cdot \frac{w^2}{2} \rho = \sum \zeta p_d = \frac{9 \cdot 0,222}{2} \cdot 961,22 = 209 \text{ Па,}$$

де $\sum \zeta$ – сума коефіцієнта місцевих опорів на даній ділянці теплопроводу.

Результати розрахунків по всіх ділянках записуємо у таблицю 2.4 за прийнятою формою.

За результатами розрахунку робимо висновок, що необхідно встановити насос, розрахований на тиск на 10% більше, ніж тиск необхідний системі. Насоси призначені для забезпечення подачі необхідної кількості теплоносія до опалювальних приладів.

Обираємо насос TOP-S 30/10 1- PN 10. Потужність насоса 420 Вт, число обертів 2600 об/хв, ККД 76%. Матеріали, які застосовувалися при виробництві: чавунний гідравлічний корпус, технічний полімер для робочого колеса, вал і захисна роторна оболонка з нержавіючої сталі.

2.9 Розрахунок ємності розширювального баку

Якщо система теплопостачання потребує простоти в експлуатації, то використовуються відкриті баки, які встановлюються на даху будинку або у найвищій точці системи.

На даний момент найчастіше використовуються закриті розширювальні баки або мембранні. Перевага закритого баку в тому, що в ньому не має доступу повітря.

Робочий об'єм відкритого розширювального баку $V_{p.б}$ визначається за формулою

					ВКР.144.4241.03.ПЗ.02	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

$$V_{p.б.} = 0,05 \cdot V_{c.o.},$$

де $V_{c.o.}$ – розрахунковий об’єм води в системі опалення $V_{c.o.} = 1850$ л,
тоді $V_{p.б.} = 0,05 \cdot 1850 = 92,5$ л.

Встановлюємо бак на 100 літрів, розміри бака 800х400 мм. [8]

					ВКР.144.4241.03.ПЗ.02	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА СИСТЕМИ ВЕНТИЛЯЦІЇ

3.1 Обґрунтування вибору систем вентиляції згідно з приміщеннями

У будівлі гімназії передбачається влаштування п'яти припливних та дев'яти витяжних систем.[11]

Система П1 призначена для вентиляції для обідньої зали. Вона включається лише на періоди роботи залу, коли вона заповнена людьми, тобто періодично. У системі П1 передбачається передбачити пристрої регулювання витрати зовнішнього повітря зниження його у разі, якщо зал заповнений людьми лише частково. Система запроектована на витрати повітря для зимового режиму. У літній період додаткова кількість повітря подаватиметься неорганізовано через віконні отвори.

Система П2 призначена для вентиляції тамбуру, коридорів, холу. тобто тих приміщень, які працюють лише у ранковий та денний час. Усі припливні системи оснащені пристроями для очищення та підігріву припливного повітря, а також відповідною автоматикою для керування системами.

Для спортивного залу передбачається механічна система витяжної вентиляції. Також механічна витяжка призначена для приміщень санвузлів.

Система В1 обслуговує обідню залу. Вона включається лише під час перебування людей і працює разом із припливною системою П1. Система запроектована на витрату повітря у холодну пору року. У літній період працюватимуть додаткові витяжні пристрої, розташовані на стелі.

Система В3 обслуговує приміщення класів.

Система П3 обслуговує приміщення класів

Система П4 забезпечує приплив у приміщення спортзалу.

Система П5 обслуговує приміщення чоловічої та жіночої роздягальні, спорядну, тренерську та тамбуру.

Система В4 обслуговує приміщення спортзалу.

Система В5 обслуговує приміщення коридорів на першому поверсі частини будівлі а також приміщень (кабінет завуча, вчительська, тамбур, кабінет психолога, приміщення охорони).

					ВКР.144.4241.03.ПЗ.03	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Система В7 видаляє повітря із санвузлів, розташованих у лівій частині будівлі.

Система В8 видаляє повітря із санвузлів, розташованих у правій частині будівлі.

Система В6 видаляє повітря із санвузлів побутового персоналу.

Система В10 обслуговує гардероб.

Викид здійснюється на позначці на 1,5 м вище за покрівлю.

Таблиця 3.1 - Надходження шкідливостей в залу для школярів.[3,4]

Найменування приміщення	Розрахунковий період року	Кількість людей і категорія		Теплонадходження, Вт				Вологовиділення, г/год		Надходження CO ₂ , л/год	
				Від однієї людини		Усього		Від 1-го чол.	Усього	Від 1-го чол.	Усього
				Явн.	повні	Явн.	повні.				
Обідня зала	Х.П. (t = 23°C)	15	чоловік.	72	105	1080	1575	46	690	23	345
		15	жен.	54	78,8	810	1182	34,5	517,5	17,3	259,5
		10	діти	36	52,5	360	525	23	2300	11,5	115
		40	Усього	-	-	225	3282	-	1437,5	-	719,5
	П.П. (t = 23°C)	15	чоловік.	72	105	1080	1575	46	690	23	345
		15	жен.	54	78,8	810	1182	34,5	517,5	17,3	259,5
		10	діти	36	52,5	360	525	23	230	11,5	115
		40	Усього	-	-	2250	3282	-	1437,5	-	719,5
	Т.П. (t = 28°C)	15	чоловік.	48	95	720	1425	65	975	23	345
		15	жен.	36	71,3	540	1070	48,8	732	17,3	259,5
		10	діти.	24	47,5	240	475	32,5	325	11,5	115

		40	Усього	-	-	1500	2970	-	2032	-	719,5
			о								

Повітряний режим розрахункового приміщення.

Температуру припливного повітря за наявності теплових надлишків повітря в приміщенні, приймають на кілька градусів нижче за розрахункову температуру внутрішнього повітря

Для холодного періоду: $t_{пр} = 16\text{ }^{\circ}\text{C}$

Для перехідного періоду: $t_{пр} = 16\text{ }^{\circ}\text{C}$

Для теплого періоду: $t_{пр} = 26.2 + 0.5 = 26.7\text{ }^{\circ}\text{C}$

Температура повітря, що видаляється, визначається з використанням поняття градієнта температури в приміщенні — зміни температури на 1 метр висоти вище робочої зони.

$$t_y = t_v + \text{grad } t (H_{\text{прим}} - 1.5),$$

де $H_{\text{прим}}$ — висота приміщення, м.

Величину градієнта температури рекомендується визначати, виходячи з теплонапруженості приміщення:

$$q = Q_{\text{над.я.}} / V_{\text{прим}}$$

де $Q_{\text{над.я.}}$ - розрахункові надлишки явного тепла у приміщенні, Вт;

$V_{\text{прим}}$ - обсяг приміщення, м^3 .

Для холодного періоду:

$$q = 4.6\text{ Вт/м}^3, \text{ що менше } 11.6\text{ прим. grad } t = 0.3\text{ }^{\circ}\text{C/м}$$

$$t_y = 23 + 0.3 \times (5.8 - 1.5) = 24.1\text{ }^{\circ}\text{C}$$

Для перехідного періоду:

$$q = 9.8\text{ Вт/м}^3, \text{ що менше } 11.6\text{ прим. grad } t = 0.4\text{ }^{\circ}\text{C/м}$$

$$t_y = 23 + 0.4 \times (5.8 - 1.5) = 24.7\text{ }^{\circ}\text{C}$$

Для теплого періоду:

$$q = 8.7\text{ Вт/м}^3 \text{ що менше } 11.6, \text{ прим. grad } t = 0.38\text{ }^{\circ}\text{C/м}$$

					ВКР.144.4241.03.ПЗ.03		Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата			

$$t_y = 28 + 0,38 \times (5,8 - 1,5) = 29,6^\circ\text{C}$$

Визначення кутового коефіцієнта променя процесу у приміщенні

Кутовий коефіцієнт променя процесу у приміщенні визначають за формулою:

$$\varepsilon = 3600 Q_{\text{надл.повн}} / M_w ,$$

де $Q_{\text{надл.повн}}$ - надлишки повного тепла в приміщенні, Вт;

M_w - надлишки вологи (влагонадходження) у приміщенні, г/год.

Кутовий коефіцієнт дозволяє визначити напрямок променя процесу на Id діаграмі під час випуску повітря у приміщенні.

Для холодного періоду:

$$\varepsilon = 3600 \times 20798 / 14375 = 5209$$

Для перехідного періоду:

$$\varepsilon = 3600 \times 31178 / 14375 = 7808$$

Для теплого періоду:

$$\varepsilon = 3600 \times 32028 / 20320 = 5674$$

Побудова схеми прямооточного вентиляційного процесу на Id діаграмі.

Схеми вентиляційних процесів будують на три періоди року. Порядок побудови для кожного періоду наступний:

1) За температурою зовнішнього повітря t_z та його ентальпії I_z будують точку Н зовнішнього повітря.

2) З точки Н по лінії $d = \text{const}$ проводять лінію процесу нагріву повітря в калорифері та вентиляторі Н-П до лінії прийнятої температури припливу t_n і на перетині ставлять точку П.

3) З точки П проводять лінію з кутовим коефіцієнтом ε , і на перетині її з лініями температур внутрішнього і повітря, що видається, ставлять відповідно точки В і У.

Для теплого періоду виробляти нагрівання повітря в калорифері безглуздо, тому побудова процесу проводиться так само, як для холодного періоду, тільки лінія нагріву Н-П відображає нагрівання повітря на $0,5 - 1^\circ\text{C}$ тільки у вентиляторі.

					ВКР.144.4241.03.ПЗ.03	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Таблиця 3.2 – Зміна параметрів повітря для холодного періоду року[12]

Точка	T	φ	d	I
Н	-31	84	0,2	-30,8
П	16	2	0,2	16,7
В	23	16	2,9	30,5
У	24,1	18	3,4	33

Таблиця 3.3 – Зміна параметрів повітря для перехідного періоду року[12]

Точка	T	φ	d	I
Н	10	84	6,5	26,5
П	16	57	6,5	32,6
В	23	43	7,6	42,5
У	24,7	40	7,8	44,8

Таблиця 3.4 – Зміна параметрів повітря для теплого періоду року[12]

Точка	t	φ	d	I
Н	26,2	49	11,2	54,9
П	26,7	48	11,2	55,5
В	28,2	46	11,8	58,5
У	29,6	43	12	60,5

Визначення необхідних повітрообмінів за шкідливістю та за санітарною нормою

Загальна кількість повітря, що проходить через приміщення, називається повітрообміном. Для закладу освіти за відсутності місцевих відсмоктувачів і місцевого припливу зазвичай має місце рівність загального повітрообміну, припливного і повітря, що видаляється.

Повітрообмін за явним теплом розраховується за формулою для кожного з періодів: $G_o = 3,6 Q_{зб.я} / c (t_y - t_n)$

Повітрообмін по повному теплу розраховується за формулою для кожного з періодів: $G_o = 3,6 Q_{зб.п} / (I_y - I_n)$

Повітрообмін по вологовиділенням розраховується за формулою для кожного з періодів: $G_o = M_w / (d_y - d_n)$

Повітрообмін за виділеннями CO₂ розраховується за формулою для кожного з періодів: $G_o = VCO_2 / (C_y / \rho_y - C_n / \rho_n)$

Результати розрахунку зведені у таблиці 3.5 та 3.6.

Таблиця 3.5 - Розрахункова частина повітряного балансу приміщення

Найменування приміщення	Період року	внутр. температура	Повітрообміни за шкідливістю, кг/год						Розрахунковий		Кратність, К
			По яв-ному теплу	По пов-ному теплу	За вологою	За CO ₂	Нормований				
							G, кг/год	L, м ³ /год	G, кг/год	L, м ³ /год	
Обідня зала	Т. П.	28,2	24372	24284	24471	8208	9371	8000	24471	20427	9,6
	П. П.	23	11319	11230	11636	8291	9536	8000	11636	9762	4,6
	Х. П.	23	7078	7193	7111	8291	9536	8000	9633	8082	3,8

Таблиця 3.6 - Організаційно-конструкторська частина повітряного балансу приміщення

Приплив				Усього	Витяжка				Усього, кг/год
Загальнообмінний					Загальнообмінний				
Механічний					Механічна				
G, кг/год	L, м³/год	t	г		G, кг/год	L, м³/год	t	г	
24 047	20 427	26,7	1,18	24 047	24 047	20 624	29,6	1,17	24 047
11 918	9762	16,0	1,22	11 918	11 918	10 056	24,7	1,19	11 918
9 866	8082	16,0	1,22	9 866	9 866	8 308	24,1	1,19	9 866

Розрахунок рециркуляції [9]

Передбачається одновентиляторна схема рециркуляції повітря до калориферу. Враховуючи, що повітря на рециркуляцію забирається з верхньої зони приміщення, температура рециркуляційного повітря прийнята рівною температурі повітря, що видаляється: $t_p = t_y$. Температура закінчення підігріву в калорифері

прийнята на 1°C нижче за температуру припливу з урахуванням підігріву повітря в припливному вентиляторі.

Витрата повітря на рециркуляцію $G_{\text{рец}}$ визначається за формулою:

$$G_{\text{рец}} = G_0 - G_{\text{Н}},$$

де: G_0 - розрахункова витрата повітря у холодний період, кг/год;

$G_{\text{Н}} (\text{min})$ - мінімальна нормативна витрата припливного повітря, кг/год;

$$G_{\text{рец}} = 24471 - 9536 = 14935 \text{ кг / год}$$

Параметри точки суміші:

$$t_{\text{см}} = \frac{-31^\circ \cdot 9536 + 24,1^\circ \cdot 14935}{14935} = 4,3^\circ\text{C}$$

Вологовміст повітря, що видаляється, розраховується за формулою:

$$d_y = d_{\text{н}} + M_w / G_{\text{Н}};$$

$$d_y = 0,2 + 14375/14938 = 1,16 \text{ г/кг}$$

Будуємо вентиляційний процес з рециркуляцією на Id діаграмі:

Лінія процесу не перетинає $\phi=100\%$. Робимо висновок, що рециркуляція до підігріву можна здійснити.

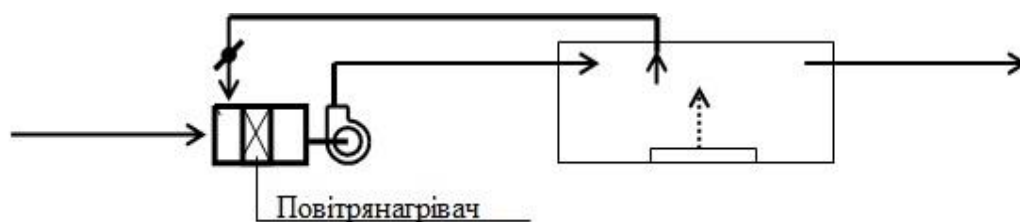


Рис. 3.1 – Схема рециркуляції

Повітрообміни нерозрахункових приміщень

Методика розрахунку повітрообмінів за нормативною кратністю застосовується для другорядних допоміжних приміщень. Нормативною кратністю називається питомий повітрообмін на одиницю обсягу приміщення чи одну одиницю устаткування, одного відвідувача, одну порцію гарячої їжі, один санітарний прилад тощо. Значення нормативних кратностей повітрообміну встановлюються окремо по припливу та витяжці та наводяться у відповідних розділах ДСТУ та у довідковій літературі.[4,11]

Розрахунок, таким чином, виконується за формулами:

$$L_{\text{пр}} = K_{\text{норм.п}} V_{\text{прім}};$$

$$L_{\text{вит}} = K_{\text{норм.вит}} V_{\text{прім}};$$

або

$$L_{\text{пр}} = K_{\text{норм.п}} N_{\text{од}};$$

$$L_{\text{вит}} = K_{\text{норм.вит}} N_{\text{од}},$$

де $V_{\text{прім}}$ - обсяг приміщення, м^3 ;

$N_{\text{од}}$ - Число одиниць чогось, стосовно чого в довідковій літературі зазначена нормативна кратність.

Результати розрахунку зведено до Додатку Б таблиці 3.7.

3.2. Аеродинамічний розрахунок систем вентиляції.[12]

Мета аеродинамічного розрахунку полягає у розподілі розрахункових витрат повітря по всіх напрямках, при цьому підбираються розміри перерізу повітроводів та діаметри та обчислюються втрати тиску на ділянках систем. Розрахунок місцевих опорів на ділянках наведено у таблиці додатку Б 3.7 та 3.9. Розрахункова витрата L визначена раніше. Довжина ділянок визначається за планом. Еквівалентний діаметр $d_{\text{ек}}$ визначається за такою формулою:

$$d_{\text{эк}} = \frac{2AB}{A+B}$$

Фактична швидкість повітря визначається за такою формулою:

$$v = \frac{L}{3600 \cdot F}$$

Втрата тиску на тертя визначається за формулою:

$$R = \frac{\lambda}{d_{\text{эк}}}, \text{ де}$$

$$\lambda = 0.11 \cdot \left(\frac{68}{\text{Re}} + \frac{k_z}{d_{\text{эк}}} \right)^{0.25}$$

Число Рейнольдса Re визначається за такою формулою:

$$\text{Re} = \frac{v \cdot d_{\text{эк}}}{\nu},$$

					ВКР.144.4241.03.ПЗ.03	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

де ν - В'язкість.

Втрати тиску за довжиною:

$$\Delta P = R \cdot l \cdot \beta_w,$$

де β_w - Коефіцієнт шорсткості, для сталі дорівнює 1.

Втрати тиску на тертя:

$$Z = P_{дин} \cdot \sum \xi,$$

де $P_{дин}$ - динамічний тиск, Па;

$\sum \xi$ - сума коефіцієнтів місцевих опорів ділянки.

Повні втрати тиску на ділянці складаються із втрат за довжиною та втрат на тертя.

Аеродинамічний розрахунок двох систем: припливної П1 (наведено в додатку Б, таблиці 3.9) та витяжної механічної В1 (наведено в додатку Б, таблиці 3.11).

Розділ 4. Розробка теплообмінного апарату

4.1. Призначення, принцип дії, визначення початкових параметрів.

Теплообмінник - апарат, призначений для підводу тепла до одного із теплоносіїв (теплосприятливого) за рахунок його відведення від іншого теплоносія (тепловіддаючого).[13]

Теплоносіями в теплообмінниках можуть бути: водяна пара, гаряча вода, повітря, різні гази, продукти згоряння палива, мастила, різні сольові розчини та суміші рідин, рідкі метали, звішені в потоці частинки та інш.

Найбільше розповсюдження в якості теплоносіїв отримали повітря, водяна пара, гаряча вода та продукти згоряння палива.

Загальні відомості про кожухотрубні теплообмінники

Кожухотрубні теплообмінники є найрасповсюдженішим типом теплообмінних апаратів. Використовуються у промисловій та муніципальній енергетиці, тепlopостачанні, хімічній, харчовій та інш. промисловостях в якості підігрівачів (води, мастила, палива та інш.), охолоджувачів, конденсаторів, випарників та інш.

Кожухотрубні теплообмінники (рис.3) виготовляються жорсткої, напівжорсткої і нежорсткої конструкцій; одно- і багатоходовими; прямоточними, протиточними і з перехресною течією; горизонтальними і

вертикальними. Вони прості по конструкції і мають невисоку вартість.

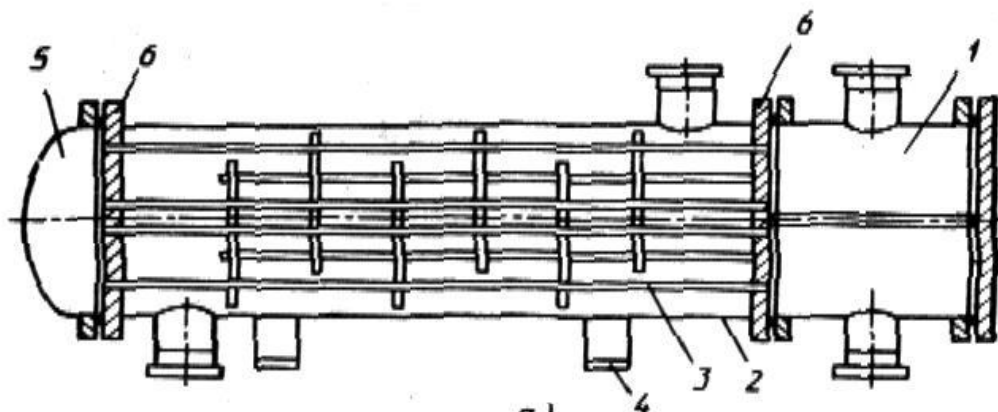


Рисунок 4. Принципова конструкція кожухотрубного теплообмінного апарату

1,5– кришка; 2 – корпус; 3 –трубний пучок; 4 – опора; 6 – труба дошка

					ВКР.144.4241.03.ПЗ.04	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Кожухотрубні теплообмінники складаються з пучка труб 3, жорстко закріплених у трубних дошках (гратах), кожуха 2, кришок 5 із фланцями, які утворюють розподільні камери, опор 4 та перегородок, які розміщуються в міжтрубному просторі. На кожусі та кришці встановлені технологічні штуцери. У залежності від призначення апарату конструкція основних вузлів та матеріали можуть значно відрізнятись.

Кожух (корпус) кожухотрубчасті теплообмінника являє собою трубу, зварену з одного або декількох сталевих листів. Кожухи розрізняються головним чином способом з'єднання з трубною дошкою і кришками. Товщина стінки кожуха визначається тиском робочого середовища і діаметром кожуха, але приймається не менше 4 мм. До циліндричним крайках кожуха приварюють фланці для з'єднання з кришками або днищами. На зовнішній поверхні кожуха прикріплюють опори апарату.

У кожухотрубні теплообмінниках прохідний перетин міжтрубному простору в 2-3 рази більше прохідного перетину всередині труб. Тому при рівних витратах теплоносіїв з однаковим фазовим станом коефіцієнти тепловіддачі на поверхні міжтрубному простору невисокі, що знижує загальний коефіцієнт теплопередачі в апараті. Пристрій перегородок в міжтрубному просторі кожухотрубні теплообмінника сприяє збільшенню швидкості теплоносія та підвищенню ефективності теплообміну.

Організація руху рідини в міжтрубному просторі та запобігання протікань теплоносія

У середині кожуха встановлюють поперечні перегородки для кріплення труб із метою запобігання їх прогинів, а також для організації поперечного обтікання труб у міжтрубному просторі та одержання більш високих швидкостей. При поперечному обтіканні теплоносієм труб також досягається більш ефективна тепловіддача ніж при подовжньому.

					ВКР.144.4241.03.ПЗ.04	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Найбільше поширення одержали сегментні перегородки, типу диск-кільце і двосторонні сегментні перегородки. Застосовують також перегородки, що перекривають трубний пучок, сегментні перегородки потрійного розташування та ін. Двосторонні сегментні перегородки і перегородки потрійного розташування застосовують з метою зменшення втрат тиску, при цьому втрати тиску можуть бути знижені на 60...100%.

Отвори у поперечних перегородках розташовані точно так само, як у трубних дошках. Діаметр отворів у перегородках повинен бути більше зовнішнього діаметра труб або ребер на 0,3...0,5 мм, а зовнішній діаметр перегородок – менше внутрішнього діаметра кожуха на 1,5...3,0 мм. Зазор між кожухом і крайніми трубами пучка в зібраному апараті визначається за умовами міцності трубних дошок і становить близько $(0,65...0,7)d$, де d – зовнішній діаметр гладких труб або несучий діаметр оребрених труб.

Якщо не вжити заходів по ущільненню зазорів в апараті, то при обтіканні пучка теплоносій у першу чергу буде потрапляти у зазорі, так як у цьому місті гідрравлічний опір менше, ніж при поперечному обтіканні труб. Таким чином, з'являються протікання теплоносія, у зв'язку з наявністю яких інтенсивність тепловіддачі може знизитись на 30...45%.

Для запобігання шкідливих протікань крізь радіальні зазори, які можуть значно знизити перепад температур, роблять ущільнення трубного пучка.

По периферії перегородок найбільш часто встановлюють ущільнювальні сегменти з пружнодеформуємого матеріалу (наприклад, з мастилобензостійкого пластику). При зборці ТОО в процесі натягування кожуха на трубний пучок краї ущільнювального листа відгинаються відповідно до форми кожуха й ущільнюють зазор. У випадку застосування такого ущільнення зазор між корпусом та перегородкою можна збільшити до 5 мм, що полегшує збірку ТОО.

Для підвищення жорсткості трубного пучка і потрібного дистанціювання поперечних перегородок використовують систему стяжних стрижнів і розпірок. Стрижні одним кінцем угвинчуються в трубну дошку, а іншим закріплюються в

					ВКР.144.4241.03.ПЗ.04	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

останній перегородці за допомогою контргайок. Між перегородками встановлюють розпірки.[13,14]

4.2 Тепловий розрахунок теплообмінного апарату

Розрахунки апарату

Вихідні дані:

холодний теплоносій (індекс 1) – вода;

гарячий теплоносій (індекс 2) – вода;

рух теплоносіїв - багаторазова перехресна течія із загальним протитоком;

тип поверхні теплообміну - круглі гладкі труби;

шахове розташування труб;

гарячий теплоносій тече по трубах - 1 хід;

вода, що охолоджує, тече в міжтрубному просторі - 4 ходів.

Параметри теплоносіїв

Міжтрубний простір

$T_{2\text{ВИХ}} = 70^{\circ}\text{C}$ -температура гарячої води на виході в підігрівач

$T_{2\text{ВХ}} = 95^{\circ}\text{C}$ - температура гарячої води на вході в підігрівач

$z_1 = 4$ -кількість ходів

Внутрітрубний простір

$T_{1\text{ВХ}} = 5^{\circ}\text{C}$ -температура холодної води на вході

$T_{1\text{ВИХ}} = 55^{\circ}\text{C}$ - температура холодної води на виході

$z_2 = 1$ -кількість ходів

$G_1 = 1000 \text{ кг/год}$

$G_1 := \frac{1000}{3600} = 0.278 \text{ кг/с}$

$p_2=0.11 \text{ МПа}$ тиск гарячої на вході

4.3. Тепловий розрахунок. Визначення основних геометричних розмірів

1) Властивості теплоносіїв

1.1) Холодна вода

					ВКР.144.4241.03.ПЗ.04	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Властивості води та розчину розраховуються за апроксимаційними формулами або беруться з таблиць :

- Середня температура $T_1 = \frac{T_{1\text{ВХ}} + T_{1\text{ВИХ}}}{2} = \frac{278 + 328}{2} = 303\text{K}$
- Питома теплоємність $c_1 = 4,174 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$
- Густина води $\rho_1 = 995,7 \text{ кг}/\text{м}^3$
- Коеф. теплопровідності $\lambda_1 = 0,618 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{K}}$
- Коеф. кінетичної в'язкості $\nu_1 = 0,805 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$

1.2) Гаряча вода

- Середня температура $T_2 = \frac{T_{2\text{ВХ}} + T_{2\text{ВИХ}}}{2} = \frac{368 + 343}{2} = 355,5 \text{ K}$
- Питома теплоємність $c_2 = 4,195 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$
- Густина води $\rho_2 = 971,8 \text{ кг}/\text{м}^3$
- Коеф. теплопровідності $\lambda_2 = 0,674 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{K}}$
- Коеф. кінетичної в'язкості $\nu_2 = 0,365 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$

1.3) Температура стінки (приблизно)

$$T_{\text{ст}} = \frac{T_1 + T_2}{2} = \frac{303 + 355,5}{2} = 329,25 \text{ K}$$

1.4) Трубки

Обраний матеріал трубок ЛА77-2

$$\lambda_{\text{тр}} = 113 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{K}}$$

2) Параметри поверхні теплообміну

В якості поверхні теплообміну використовується пучок гладких трубок. Діаметр труб і товщину стінок вибирають по рекомендаціях [13, 14, 15].

Зовнішній діаметр $d_3 = 0,006 \text{ м}$;

Товщина стінки $\delta_{\text{ст}} = 0,5 \text{ мм}$;

					ВКР.144.4241.03.ПЗ.04	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Внутрішній діаметр $d_{\text{вн}}=0,005$ м;

Середній діаметр $d_{\text{ср}}=5,5$ мм.

За даними [13, 14, 17] обирається тип закріплення труб у трубних дошках і кроки між трубами в пучку (повздовжній s_1 і поперечний s_2).

Нехай повздовжній і поперечний кроки рівні між собою ($s_1 = s_2 = s_t$).

Тоді приймаємо

$$S_t = 1.5d_3 = 1,5 \cdot 6 = 9 \text{ мм.}$$

3) Тепловий потік через поверхню теплообміну

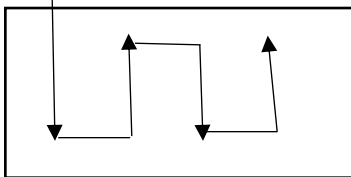
$$Q_{\text{т.о.}} = G_1 C_1 (T_{1\text{вих}} - T_{1\text{вх}}) = 0,278 \cdot 4,174 \cdot (55 - 5) \cdot 1000 = 5,802 \cdot 10^4 \text{ Вт}$$

4) Витрата холодної води

$$G_2 = \frac{Q_{\text{т.о.}}}{c_2 \cdot (T_{2\text{вх}} - T_{2\text{вих}})}$$

$$G_2 := \frac{5,802 \times 10^4}{4,195 \cdot 10^3 \cdot (95 - 70)} = 0,553 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

5) Визначення середнього температурного перепаду між теплоносієм



Розрахунок по залежностях

Водяні еквіваленти для теплоносіїв:

$$W_1 = G_1 C_1$$

$$W_1 := 0,278 \cdot 4,174 \cdot 10^3 = 1,16 \times 10^3 \text{ Вт/К}$$

$$W_2 = G_2 C_2$$

$$W_2 := 0,553 \cdot 4,195 \cdot 10^3 = 2,32 \times 10^3 \text{ Вт/К}$$

Максимальний і мінімальний водяні еквіваленти

$$W_{\text{min}} = W_2; W_{\text{max}} = W_1.$$

Зміна температур теплоносіїв

$$\Delta T_1 = T_{1\text{вих}} - T_{1\text{вх}} = 50 \text{ К}; \Delta T_2 = T_{2\text{вх}} - T_{2\text{вих}} = 25 \text{ К}$$

Максимальна зміна температур $\Delta T_{\text{max}} = 50 \text{ К}$

					ВКР.144.4241.03.ПЗ.04	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Допоміжні функції

$$A = \frac{W_{max}}{W_{min}} \approx 2; R = \frac{W_{min}}{W_{max}} \approx 0,5; P = \frac{\Delta T_{max}}{T_{2ВХ} - T_{1ВХ}} = \frac{50}{95 - 5} = 0,556$$

$$\underline{A} := \frac{2,32 \times 10^3}{1,16 \times 10^3} = 2; \quad \underline{R} := \frac{1,16 \times 10^3}{2,32 \times 10^3} = 0,5; \quad P := \frac{50}{95 - 5} = 0,556$$

$$P_e = 0,981$$

$$z_t = \sqrt{(A + 1)^2 - 4 \cdot p_e \cdot A} = 1,073$$

$$\underline{z}_t := \sqrt{(2 + 1)^2 - 4 \cdot 0,981 \cdot 2} = 1,073$$

Розраховуємо середній температурний перепад:

$$\Delta t_{cp} = \frac{z_t P R (T_{2ВІХ} - T_{1ВІХ})}{\ln\left(\frac{2 - P R ((A + 1) - z_t)}{2 - P R ((A + 1) + z_t)}\right)} = 34,203 \text{ K}$$

$$\Delta t_{cp} := \frac{1,073 \cdot 0,556 \cdot 2 \cdot (70 - 55)}{\ln\left[\frac{2 - 0,556 \cdot 0,5[(2 + 1) - 1,073]}{2 - 0,556 \cdot 0,5[(2 + 1) + 1,073]}\right]} = 34,203$$

6) По рекомендаціях [13,15,16] приймаємо швидкість гарячого теплоносія

$$W_2 = 0,8 \text{ K}$$

7) Визначаємо основні конструктивні розміри теплообмінника

7.1) К-ть трубок у пучку для проходу гарячого теплоносія

$$n_{1x} = \frac{G_1}{\rho_2 W_2 \pi \frac{d_{ВН}^2}{4}}$$

$$\underline{n}_{1x} := \frac{0,278}{971,8 \cdot 0,8 \cdot 3,14 \cdot \frac{0,005^2}{4}} = 18,221$$

К-ть трубок у теплообміннику

$$n_{тр} = z_2 \cdot n_{1x}$$

$$\underline{n} := 1 \cdot 18,221 = 18,221$$

Приймаємо 18 трубок

					ВКР.144.4241.03.ПЗ.04	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

К-ть трубок в одному ряді (прийнято, що к-ть труб у ряді дорівнює к-ті рядів)

$$n_{1p} := 3$$

$$n_p := 6$$

К-ть отворів у трубній дошці $n_o = n_{1p} n_p$

$$n_o := 3 \cdot 6 = 18$$

Уточнюємо к-ть трубок у ТО (з урахуванням того, що один отвір у центрі трубної дошки буде використовуватись під стяжний стрижень, на якому будуть кріпитись перегородки)

$$n_{тр} = n_o - 1 = 17$$

$$n := 18 - 1 = 17$$

Уточнюємо швидкість гарячої води в трубах

$$W_2 = \frac{G_2}{\rho_2 n_{тр} \pi \frac{d_{BH}^2}{4}}$$

$$W_2 := \frac{0.278}{971.8 \cdot 17 \cdot 3.14 \cdot \frac{0.005^2}{4}} = 0.857 \quad \frac{м}{с}$$

7.2) Визначаємо діаметр корпусу

Приймаємо коеф. заповнення трубної дошки $\eta = 0,9$

Діаметр гнізда трубок $D = 1.05 s_t \sqrt{\frac{n_o}{\eta_{тр}}}$

$$D := 1.05 \cdot 9 \cdot \sqrt{\frac{18}{0.9}} = 42.262 \quad мм$$

Внутрішній діаметр корпусу повинен бути більше величини $D + d_3 = 44,548 + 6 = 50,548 мм$ на величину конструктивного зазору (60...180 мм)

Виходячи з цього, в якості кожуха можна прийняти трубу з умовним діаметром 76 мм [13,18]:

Зовнішній діаметр кожуха $D_3 = 76 мм$;

Товщина стінки кожуха $\delta_{ст} = 3,5 мм$;

					ВКР.144.4241.03.ПЗ.04	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Внутрішній діаметр кожуха $D_o=70$ мм.

8) Визначення коеф. тепловіддачі розчину, що тече всередині трубок [13,14,16,19,21,22]

$$8.1) \text{ Число Рейнольдса } Re_2 = \frac{d_{BH} W_2}{\nu_2}$$

$$Re_2 := \frac{0.005 \cdot 0.857}{0.365 \cdot 10^{-6}} = 1.174 \times 10^4$$

Оскільки $Re \geq 10000$, то режим течії гарячого теплоносія турбулентний.

8.2) Число Прандтля при температурі теплоносія $Pr_2=5.42$.

8.3) Число Нуссельта для турбулентного режиму

$$Nu_2 = 0.021 \cdot Re_2^{0.8} Pr_2^{0.43} = 80,818$$

$$Nu_2 := 0.021 \cdot 1.174 \cdot 10^4 \cdot 5.42^{0.43} = 80.818$$

$$8.4) \text{ Коеф. тепловіддачі } \alpha_2 = \frac{Nu_2 \lambda_2}{d_{BH}}$$

$$\alpha_2 := \frac{80.818 \cdot 0.674}{0.005} = 1.089 \times 10^4 \frac{\text{Вт}}{\text{мК}}$$

9) Приймаємо швидкість води, що охолоджує у між трубному просторі при поперечному обтіканні трубок $W_1=1$ м/с.

10) Коеф. тепловіддачі води, що обтікає трубки

$$10.1) \text{ Число Рейнольдса } Re_1 = \frac{d_3 W_1}{\nu_1}$$

$$Re_1 := \frac{0.006 \cdot 1}{0.805 \cdot 10^{-6}} = 7.453 \times 10^3$$

10.2) Число Прандтля при температурі теплоносія $Pr_1=3.26$

Число Прандтля при температурі теплоносія рівній температурі стінки $Pr_{ст.}=3,81$.

10.3) Поправочний коеф., що залежить від кроку пучка

$$\varepsilon_s = \left(\frac{s_1}{s_2} \right)^{0.166} = 1,07$$

$$\varepsilon_s := \left(\frac{9}{6} \right)^{0.166} = 1.07$$

					ВКР.144.4241.03.ПЗ.04	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

10.4) Коеф., що враховує турбулізацію потоку перед і-м рядом труб
для першого ряду $\varepsilon_{n1} = 0.6$

для другого ряду $\varepsilon_{n2} = 0.7$

для третього і наступних $\varepsilon_{ni} = 1$

10.5) Коеф. для критеріального рівняння тепловіддачі $s=0.41$, $n=0.6$.

10.6) Значення числа Нуссельта для кожного ряду

$$Nu = 0.41 Re_1^{0.6} Pr_1^{0.33} \left(\frac{Pr_1}{Pr_{ct}} \right)^{0.25} (\varepsilon_s \cdot \varepsilon_n)$$

$$Nu_1 := 0.41 \cdot 7.453 \times 10^3 \cdot 0.6 \cdot 3.26^{0.33} \cdot \left(\frac{3.26}{3.81} \right)^{0.25} \cdot (1.07 \cdot 1) = 293.045$$

для першого ряду $Nu_{11}=620$

для другого ряду $Nu_{12}=723.3$

для третього і наступних $Nu_{13}=1033.3$

10.7) Коеф. тепловіддачі при поперечному обтіканні пучка труб

$$\alpha_1 = \frac{Nu_1 \lambda_1}{d_3}$$

$$\alpha_1 := \frac{293.045 \cdot 0.618}{0.006} = 3.018 \times 10^4$$

для першого ряду $\alpha_{11}=20,8 \cdot 10^3 \text{ Вт/м}^2\text{К}$

для другого ряду $\alpha_{12}=24,3 \cdot 10^3 \text{ Вт/м}^2\text{К}$

для третього і наступних $\alpha_{13}=34,7 \cdot 10^3 \text{ Вт/м}^2\text{К}$

10.8) Середній коеф. тепловіддачі $\alpha_{cp} = \frac{\sum \alpha_i}{n_p} = 1,33 \cdot 10^4 \text{ Вт/м}^2\text{К}$

$$\alpha_{cp} = \frac{\alpha_{11} + \alpha_{12} + \alpha_{13}}{3} = 1,33 \cdot 10^4 \text{ Вт/м}^2\text{К}$$

11) Коеф. теплопередачі, віднесений до внутрішнього діаметру

$$k_{to} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_2} + \frac{d_{BH}}{2\lambda_{ct}} \cdot \ln \left(\frac{d_3}{d_{BH}} \right) + \frac{d_{BH}}{\alpha_{cp} d_3}} = 4,729 \cdot 10^3 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}$$

					ВКР.144.4241.03.ПЗ.04	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

$$K := \frac{1}{\frac{1}{1.089 \times 10^4} + \frac{0.005}{2.8} \cdot \ln\left(\frac{0.006}{0.005}\right) + \frac{0.005}{1.33 \times 10^4 \cdot 0.006}} = 4.729 \times 10^3 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{К}}$$

12) Необхідна поверхня теплообміну $F_{\text{то}} = \frac{Q_{\text{то}}}{k_{\text{то}} \Delta t_{\text{ср}}} = 0,359 \text{ м}^2$.

13) Поверхня теплообміну, що приходить на одну трубу

$$F_{\text{то1}} = \frac{F_{\text{то}}}{n_{\text{тр}}} = 0,021 \text{ м}^2$$

$$F_{\text{м}} := \frac{0.359}{17} = 0.021 \text{ м}^2$$

14) Довжина трубки $L_{\text{тр}} = \frac{F_{\text{то1}}}{\pi d_{\text{вн}}} = 1,337 \text{ м}$

$$L := \frac{0.021}{\pi \cdot 0.005} = 1.337 \text{ м}$$

15) Перевірка швидкості води при обтіканні трубного пучка.

Площа перетину для проходу води між трубами 0,34

$$S_1 = L(S_t - d_3)(n_{1p} - 1) = 0,012 \text{ м}$$

$$S_{\text{м}} := 1.337 \cdot (0.009 - 0.006) \cdot (4 - 1) = 0.012 \text{ м}$$

Уточнення швидкості води $W_{1\text{пр}} = \frac{G_2}{S_1 \rho_1} = 0.046 \text{ м/с}$.

$$W_{1\text{пр}} = \frac{0,553}{0,012 \cdot 995,7} = 0.046 \text{ м/с}$$

16) Температури стінки

$$T_{\text{ст}} = \frac{d_{\text{вн}} \alpha_2 T_2 + d_3 \alpha_{1\text{ср}} T_1}{d_{\text{вн}} \alpha_2 + d_3 \alpha_{1\text{ср}}} = 324,293 \text{ К}$$

$$T_3 := \frac{0.005 \cdot 1.089 \times 10^4 \cdot 355.5 + 0.006 \cdot 1.33 \times 10^4 \cdot 303}{0.005 \cdot 1.089 \times 10^4 + 0.006 \cdot 1.33 \times 10^4} = 324.293 \text{ К}$$

17) Патрубки для підводу та відводу гарячого теплоносія[13,22]

$W_{2\text{п}} = 2 \text{ м/с}$ – швидкість розчину в патрубку.

$$\text{Діаметр патрубку } d_{2\text{п}} = \sqrt{\frac{G_2}{W_{2\text{п}} \rho_2 \frac{\pi}{4}}} = 3,623 \cdot 10^{-4} \text{ м}$$

M

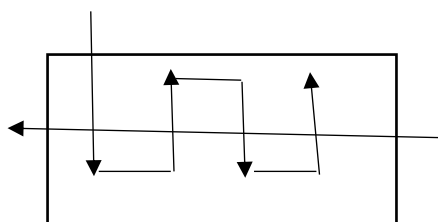
18) Патрубки для холодної води $W_{1п}=1$ м/с

$$\text{Діаметр патрубку } d_{1\text{п}} = \sqrt{\frac{G_1}{W_{1\text{п}} \rho_1 \frac{\pi}{4}}} = 3,555 \cdot 10^{-4} \text{ м}$$

M

4.4. Гідравлічний розрахунок

Розрахункова схема для визначення втрат тиску у теплообмінному апараті



Визначення втрат напору гарячого теплоносія (рух у трубах)

1) Втрати на тертя при русі теплоносія у трубах (т.3) [16,22]

Коеф. опору тертю при русі розчину в трубах

$$\xi_{\text{Tp-2}} = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{Re_2}} = 0,03$$

$$\xi_2 := \frac{0.3164}{\sqrt[4]{1.174 \times 10^4}} = 0.03$$

Втрати на тертя при русі розчину в трубах

$$\Delta p_{\text{Tp-2}} = \xi_{\text{Tp-2}} \frac{L_{\text{Tp}}}{d_{\text{BH}}} \frac{\rho_2 W_2^2}{2} = 2,863 \cdot 10^3 \text{Па}$$

$$\Delta P_2 := 0.03 \frac{1.337}{0.005} \cdot \frac{971.8 \cdot 0.857^2}{2} = 2.863 \times 10^3 \text{ Pa}$$

2)Втрати при вході і виході теплоносія з труб (т.2,4)

$\xi_{\text{вх2}}=1$ – коеф. опору при вході і виході теплоносія з труб

$$\Delta p_{\text{вх2}} = \xi_{\text{вх2}} \frac{\rho_2 W_2^2}{2} = 356,869 \text{ Па} = \Delta P_{\text{вих2}}$$

$$\Delta P_3 := 1 \cdot \frac{971.8 \cdot 0.857^2}{2} = 356.869 \text{ Па}$$

3)Втрати при русі теплоносія в патрубках і в середині кришок (т.1,5)

$\xi_{\text{пт2}}=1,5$ – коеф. опору в патрубках входу і виходу розчину

$$\Delta p_{\text{пт2}} = \xi_{\text{пт2}} \frac{\rho_2 W_2^2}{2} = 535,303 \text{ Па}$$

$$\Delta P_4 := 1.5 \cdot \frac{971.8 \cdot 0.857^2}{2} = 535.303 \text{ Па}$$

4)Сумарні втрати тиску при русі теплоносія

$$\Delta P_{\Sigma 2} = z_2 (\Delta P_{\text{вх2}} + \Delta P_{\text{вих2}} + \Delta P_{\text{тр2}}) + \Delta P_{\text{пт2}} = 5,147 \cdot 10^4 \text{ Па}$$

$$\Delta P_{\Sigma 2} := 1 \cdot (356.869 + 356.869 + 3.898 \times 10^3) + 535.303 = 5.147 \times 10^3 \text{ Па}$$

$$\text{Відносні втрати тиску} \frac{\Delta P_{\Sigma 2}}{P_2} 100 = 4,679 \cdot 10^8 \%$$

$$\frac{5.147 \times 10^3}{0.11} \cdot 100 = 4.679 \times 10^8 \%$$

Визначення втрат напору холодної води (рух у між трубному просторі)

5)Втрата напору на вході в між трубний простір і вихід з нього

$\xi_{1\text{вх}}=1,5$ – коеф. опору при вході в пучок (т.7)

$$\Delta p_{1\text{вх}} = \xi_{1\text{вх}} \frac{\rho_1 W_1^2}{2} = 746,775 \text{ Па}$$

$$\Delta P_5 := 1.5 \cdot \frac{995.7 \cdot 1^2}{2} = 746.775 \text{ Па}$$

$\xi_{1\text{вих}}=1$ – коеф. опору при виході з пучка (т.10)

$$\Delta p_{1\text{вих}} = \xi_{1\text{вих}} \frac{\rho_1 W_1^2}{2} = 497,85 \text{ Па}$$

					ВКР.144.4241.03.ПЗ.04	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

$$\Delta P_6 := 1 \cdot \frac{995.7 \cdot 1^2}{2} = 497.85 \text{ Па}$$

6) Витрата напору при русі в між трубному просторі (т.8)

Втрата напору в пучку

$$\xi_{1\text{тр-т}} = (4 + 6,6n_{1\text{p}})Re_1^{-0.28} = 25,639 \text{ Па}$$

$$\xi_3 := (4 + 6,6 \cdot 3) \cdot 7.453 \cdot 10^{3 \cdot (-0.28)} = 25.639 \text{ Па}$$

$$\Delta p_{1\text{тр-т}} = \xi_{1\text{тр-т}} \frac{\rho_1 W_1^2}{2} = 1,276 \cdot 10^4$$

$$\Delta P_7 := 25.639 \cdot \frac{995.7 \cdot 1^2}{2} = 1.276 \times 10^4$$

Місцевий опір

$$\xi_{1\text{тр-м}} = 3n_{1\text{p}}Re_1^{-0.2} = 16,849 \text{ Па}$$

$$\xi_4 := 3 \cdot 3 \cdot 7.453 \cdot 10^{3 \cdot (-0.2)} = 16.849 \text{ Па}$$

$$\Delta p_{1\text{тр-м}} = \xi_{1\text{тр-м}} \frac{\rho_1 W_1^2}{2} = 8,388 \cdot 10^3 \text{ Па}$$

$$\Delta P_8 := 16.849 \cdot \frac{995.7 \cdot 1^2}{2} = 8.388 \times 10^3 \text{ Па}$$

7) Втрата напору при обтіканні перегородок (т.9)

Висота вікна в перегородці

$$b_{\text{пер}} = \frac{D_o - n_p s_t - d_3}{2} = 0,014 \text{ м}$$

$$b_1 := \frac{0.07 - 4 \cdot 0.009 - 0.006}{2} = 0.014 \text{ м}$$

Центральний кут сегмента в перегородці

$$\psi_{\text{пер}} = 2 \cos\left(\frac{\frac{D_o}{2} - b_{\text{пер}}}{\frac{D_o}{2}}\right)^{-1} = 2,157^\circ$$

					ВКР.144.4241.03.ПЗ.04	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

$$\psi_1 := 2 \cdot \arccos \left(\frac{\left(\frac{0.07}{2} - 0.014 \right)}{\frac{0.07}{2}} \right)^{-1} = 2.157 \quad \circ$$

Площа вікна в перегородці (площа сегменту)

$$F_{\text{пер}} = \frac{\left(\frac{D_o}{2}\right)^2}{2} (\psi_{\text{пер}} - \sin(\psi_{\text{пер}})) = 8,109 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

$$F_4 := \frac{\left(\frac{0.07}{2}\right)^2}{2} \cdot (2.157 - \sin(2.157)) = 8.109 \times 10^{-4} \text{ м}^2$$

Швидкість води при огинанні перегородок

$$W_{1p} = \frac{G_2}{\rho_1 F_{\text{пер}}} = 0,685 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$W_{1p} := \frac{0.553}{995.7 \cdot 8.109 \times 10^{-4}} = 0.685 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Коеф. опору $\xi_{1\text{пр}}=1,5$

$$\Delta p_{1\text{пр}} = \xi_{1\text{пр}} \frac{\rho_1 W_1^2}{2} (z_1 - 1) = 2,24 \cdot 10^4 \text{ кПа}$$

$$\Delta P_9 := 1.5 \cdot \frac{995.7 \cdot 1^2}{2} \cdot (4 - 1) = 2.24 \times 10^3 \text{ кПа}$$

8) Втрати при русі води в патрубках, вхідній, вихідній камерах (т. 6,11)

$\xi_{1\text{пт}}=1,5$ – коеф. опору в патрубках входу і виходу води

$$\Delta p_{1\text{пт}} = \xi_{1\text{пт}} \frac{\rho_1 W_{1\text{п}}^2}{2} = 746,775 \text{ Па}$$

$$\Delta P_{10} := 1.5 \cdot \frac{995.7 \cdot 1^2}{2} = 746.775 \text{ Па}$$

					ВКР.144.4241.03.ПЗ.04	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

9) Сумарні втрати при русі води в між трубному просторі

$$\Delta P_{\Sigma 1} = \Delta P_{1\text{вх}} + \Delta P_{1\text{вих}} + 2\Delta P_{\text{пт1}} + (\Delta P_{1\text{тр-м}} + \Delta P_{1\text{тр-т}})z_1 + \Delta P_{1\text{пр}} = 8,957 \cdot 10^4 \text{ Па}$$

$$\Delta P_{\Sigma 1} := 746.775 + 497.85 + 2 \cdot 746.775 + (8.388 \times 10^3 + 1.276 \times 10^4) \cdot 4 + 2.24 \times 10^3 = 8.957 \times 10^4 \text{ Па}$$

Приймаємо $P_1 = 90000 \text{ Па}$

$$\text{Відносні втрати тиску } \frac{\Delta P_{\Sigma 1}}{P_1} = \frac{8,957 \cdot 10^4}{9 \cdot 10^4} = 1\%$$

4.5. Розрахунок корпусу на міцність

Розрахунок корпусу. В розрахунку прийнято, що корпус навантажений тільки внутрішнім тиском теплоносія.

1) Визначення припустимої напруги

Матеріал корпусу ЛА77-2, $\sigma_B = 370 \text{ МПа}$, $k=2$

Припустиме напруження $\sigma_{\text{доп}} = \frac{\sigma_B}{k} = 185 \text{ МПа}$

$$\sigma_1 := \frac{370}{2} = 185 \text{ МПа}$$

Поправочний коефіцієнт $\eta_k = 1$,

Припустиме напруження $\sigma_{\text{доп-к}} = \sigma_{\text{доп}} \eta_k = 185 \text{ МПа}$

$$\sigma_2 := 185 \cdot 1 = 185$$

2) Визначення збільшення товщини корпусу

Оскільки корпус виготовлений з труби, то величини збільшення $s=1 \text{ мм}$

При найбільшому мінусовому допуску 10%, $A=0,11$

$$C = A(\delta_k - s) = 0,11(8 - 1) = 0,77 \text{ мм}$$

3) Визначення розрахункового коефіцієнта міцності

Коеф. міцності зварних з'єднань $\phi_{зв} = 1$;

Коеф. міцності поперечного зварного з'єднання при вигині $\phi_n = 0,6$

$$\phi = \phi_{\min} = 0,6$$

4) Максимальний тиск, що може витримати корпус

					ВКР.144.4241.03.ПЗ.04	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

$$P_{max} = \frac{2(\delta_k - c)\phi\sigma_{доп.к}}{D_o + (\sigma_k - c)} = \frac{2(0.008 - 0.001)0.6 \cdot 185}{0.07 + (0.008 - 0.001)} = 20,182 \text{ МПа}$$

Максимальний тиск більше робочого тиску, товщину корпусу збільшувати не потрібно.

5) Визначення найбільшого припустимого діаметру неукріпленого отвору в корпусі

$$\phi_o = \frac{P_1(D_o + (\delta_k - c))}{2\phi\sigma_{доп.к}(\delta_k - c)} = 0,074$$

$$\phi_o := \frac{1.5 \cdot [0.07 + (0.008 - 0.001)]}{2 \cdot 0.6 \cdot 185 \cdot (0.008 - 0.001)} = 0.074$$

$$d_{max} = 2 \left(\frac{1}{\phi_o} - 1 \right) \sqrt{(D_o + \delta_k)(\delta_k - c)} = 0,023 \text{ м}$$

$$d_4 := 2 \cdot \left(\frac{1}{0.667} - 1 \right) \cdot \sqrt{(0.07 + 0.008) \cdot (0.008 - 0.001)} = 0.023 \text{ м}$$

Діаметри отворів менші за найбільший допустимий діаметр, отже отвори в корпусі можна не укріплювати.

					ВКР.144.4241.03.ПЗ.04	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Розділ 5. Розробка заходів з охорони праці

5.1 Небезпечні та шкідливі фактори

Під час експлуатації кожухотрубчастого теплообмінного апарата, який використовується для теплообміну між потоками гарячої та холодної води, на обслуговуючий персонал можуть впливати небезпечні та шкідливі виробничі фактори.[23]

Фізичні фактори

- підвищена температура теплоносія (гаряча вода до 55 °С), що може спричинити термічні опіки при витіканні або розгерметизації системи;
- підвищений тиск у трубному просторі (до 0,11 МПа), що створює ризик гідравлічного удару або аварійного розриву елементів системи;
- нагріті поверхні теплообмінника, що можуть викликати опіки при контакті;
- шум і вібрації від роботи насосного обладнання;
- недостатня освітленість у місцях розташування апарата;
- можливість ураження електричним струмом при роботі допоміжного обладнання (насоси, автоматика).

Механічні фактори

- ризик травмування при обслуговуванні фланцевих з'єднань і арматури;
- можливість падіння інструментів під час ремонтних робіт;
- небезпека защемлення при роботі з запірною арматурою;
- наявність гострих кромek труб, кріпильних елементів та металоконструкцій.

Хімічні фактори

- можливі витіки мастильних матеріалів у насосному обладнанні;
- використання мийних та антикорозійних реагентів при обслуговуванні системи;
- продукти корозії в теплоносії при тривалій експлуатації.

					ВКР.144.4241.03.ПЗ.05	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Психофізіологічні фактори

- підвищене фізичне навантаження при виконанні ремонтних та оглядових робіт;
- нервово-емоційне напруження під час роботи з обладнанням під тиском;
- монотонність операцій при періодичному контролі параметрів системи.

5.2 - Розробка заходів з охорони праці при монтажі систем кожухотрубного теплообмінного апарату

Монтаж кожухотрубного теплообмінного апарата включає слюсарно-складальні, зварювальні та підйимально-транспортні роботи, під час яких існує ризик травмування персоналу, ураження електричним струмом, опіків та падіння елементів конструкції. Організація безпечного виконання робіт повинна відповідати вимогам НПАОП 0.00-1.81-18 та термінології й підходам з безпеки праці за ДСТУ 2293:2014.

Організаційні заходи

- допуск до монтажу лише працівників, що пройшли інструктаж з охорони праці та мають відповідну кваліфікацію;
- розробка технологічної карти монтажу із зазначенням послідовності операцій;
- огороження та позначення небезпечної зони виконання робіт;
- перевірка справності інструменту, вантажопідіймальних пристроїв і такелажу перед початком робіт;
- призначення відповідального за безпечне проведення монтажу.

Заходи безпеки при підйимально-транспортних роботах

- застосування справних талей, тельферів, стропів із перевіреним маркуванням вантажопідйомності;
- правильне стропування кожуха та трубного пучка без перекосів;

					ВКР.144.4241.03.ПЗ.05	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

- заборона перебування людей під піднятим вантажем;
- плавне переміщення елементів апарата без ривків;
- встановлення апарата на опори лише після повної зупинки вантажу.

Заходи безпеки при слюсарно-складальних роботах

- використання справного ручного інструменту;
- зачищення гострих кромek деталей перед складанням;
- надійна фіксація трубного пучка перед насуванням кожуха;
- дотримання послідовності складання фланцевих з'єднань.

Заходи безпеки при зварювальних роботах

- видалення легкозаймистих матеріалів із зони зварювання;
- забезпечення вентиляції робочого місця;
- використання зварювальних екранів для захисту від випромінювання;
- обов'язкова наявність вогнегасника;
- застосування зварювальної маски, рукавиць та спецодягу.

Електробезпека

- використання електроінструменту із справною ізоляцією;
- обов'язкове заземлення обладнання;
- заборона роботи у вологих рукавицях або на мокрій підлозі;
- застосування переносних світильників напругою не вище 36 В.

Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ)

- захисна каска, окуляри, рукавиці;
- спецодяг та спецвзуття з неслизькою підошвою;
- зварювальна маска та щиток під час зварювання.

Дотримання наведених заходів забезпечує безпечне виконання монтажних робіт та мінімізує ризик виробничого травматизму.[24]

Окрім загальних вимог безпеки під час монтажу, необхідно врахувати специфічні ризики, пов'язані з точністю складання трубного пучка, герметизацією

					ВКР.144.4241.03.ПЗ.05	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

з'єднань та підготовкою апарата до введення в експлуатацію. Додаткові заходи мають відповідати вимогам НПАОП 0.00-1.81-18 і спрямовані на попередження прихованих дефектів, що можуть призвести до аварійних ситуацій у подальшій роботі.

Контроль точності складання

- перевірка співвісності трубних дощок і кожуха перед остаточним збиранням;
- контроль правильності встановлення сегментних перегородок і стяжних стрижнів;
- недопущення перекосів труб під час їх закріплення в трубних дошках;
- перевірка кроку між трубами відповідно до проєктних значень.

Безпека при герметизації фланцевих з'єднань

- використання прокладок відповідного типу та розміру;
- рівномірне затягування болтів «хрест-навхрест» для уникнення перекосів;
- заборона використання подовжувачів ключів, що можуть призвести до зриву різьби;
- повторна перевірка затягування після попереднього складання.

Підготовка до гідравлічних випробувань

- встановлення заглушок на патрубки перед опресуванням;
- відведення сторонніх осіб із зони випробувань;
- плавне підвищення тиску під час гідровипробувань;
- візуальний контроль з'єднань на наявність протікань.

Організація робочого місця

- розміщення інструменту у визначених місцях для запобігання спотиканню;
- своєчасне прибирання металевої стружки, обрізків прокладок, електродів;

					ВКР.144.4241.03.ПЗ.05	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

- підтримання вільних проходів навколо апарата.

Маркування та попереджувальні написи

- нанесення позначень напрямку руху теплоносіїв на патрубках;
- встановлення табличок із зазначенням робочого тиску та температури;
- позначення місць можливого нагрівання поверхні.

Перевірка перед введенням в експлуатацію

- контроль надійності кріплення апарата на опорах;
- перевірка наявності заземлення;
- огляд зварних швів і фланцевих з'єднань;
- оформлення акту готовності апарата до роботи.

Запровадження наведених додаткових заходів дозволяє підвищити безпеку монтажу, запобігти дефектам складання та забезпечити надійну подальшу експлуатацію теплообмінного апарата.

5.3 Основні протипожежні заходи

Під час монтажу та обслуговування кожухотрубного теплообмінного апарата пожежна небезпека пов'язана насамперед із виконанням зварювальних робіт, використанням електроінструменту, наявністю мастильних матеріалів, фарб і розчинників. Організація протипожежного захисту повинна відповідати вимогам Правил пожежної безпеки в Україні (НАПБ А.01.001-2014) та загальним положенням безпеки праці за ДСТУ 2293:2014.

Організаційні заходи

- проведення протипожежного інструктажу перед початком робіт;
- призначення відповідального за пожежну безпеку на робочій ділянці;
- заборона паління та використання відкритого вогню в зоні монтажу;
- забезпечення вільного доступу до евакуаційних виходів і проходів.

					ВКР.144.4241.03.ПЗ.05	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Технічні заходи

- перевірка справності електропроводки та електроінструменту;
- використання переносного освітлення без пошкодженої ізоляції;
- зберігання мастил, фарб, розчинників у щільно закритій металевій тарі;
- своєчасне прибирання горючих відходів (ганчір'я, упаковки, електродів).

Заходи під час зварювальних робіт

- очищення місця зварювання від легкозаймистих матеріалів;
- використання зварювальних екранів;
- постійний нагляд за місцем зварювання після завершення робіт;
- наявність первинних засобів пожежогасіння безпосередньо біля місця робіт.

Первинні засоби пожежогасіння

- оснащення робочої зони порошковими або вуглекислотними вогнегасниками;
- наявність ящика з піском та лопати;
- доступ до джерела води.

Дії у разі виникнення пожежі

- негайне припинення робіт і знеструмлення обладнання;
- повідомлення пожежної служби;
- евакуація людей із небезпечної зони;
- гасіння пожежі первинними засобами до прибуття пожежних підрозділів.

Дотримання наведених протипожежних заходів дозволяє мінімізувати ризик виникнення пожежі під час монтажу та обслуговування теплообмінного апарата.[25]

					ВКР.144.4241.03.ПЗ.05	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Висновок

У дипломній роботі виконано комплексне опрацювання питань проєктування системи водяного опалення для двоповерхової будівлі гімназії, розташованої в Миколаївській області. У процесі виконання роботи було проаналізовано конструктивні особливості будівлі, інженерне оснащення та умови експлуатації приміщень у холодний період року. Визначено розрахункові параметри внутрішнього мікроклімату відповідно до чинних нормативних вимог, а також прийнято кліматичні показники зовнішнього повітря для заданого регіону будівництва.

На основі аналізу огорожувальних конструкцій проведено розрахунок їх опору теплопередачі, що дозволило оцінити рівень теплозахисних властивостей стін, перекриттів, підлоги та світлопрозорих елементів. Встановлено, що застосування сучасних теплоізоляційних матеріалів значно знижує теплові втрати через зовнішні огороження та сприяє підвищенню загальної енергоефективності будівлі. Окрему увагу приділено розрахунку тепловтрат на підігрів інфільтраційного повітря, які мають істотний вплив на сумарне теплове навантаження системи опалення.

Отримані результати теплотехнічних розрахунків стали основою для визначення необхідної теплової потужності системи опалення. З урахуванням теплового балансу приміщень було обґрунтовано вибір двотрубною системи водяного опалення з насосною циркуляцією теплоносія, яка забезпечує рівномірний розподіл теплоти по всіх приміщеннях будівлі. Така система відзначається надійністю, простотою регулювання та високою ефективністю роботи в умовах змінних теплових навантажень.

У ході проєктування враховано принципи енергозбереження та раціонального використання теплової енергії. Передбачено використання теплоізоляції трубопроводів, оптимальне розміщення нагрівальних приладів, а також можливість регулювання тепловіддачі залежно від температурного режиму

					ВКР.144.4241.03.ПЗ.00	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

в приміщеннях. Це дозволяє зменшити експлуатаційні витрати та підвищити економічність системи в цілому.

Запропоновані технічні рішення забезпечують дотримання нормативних санітарно-гігієнічних умов перебування людей у навчальних приміщеннях, створюють комфортний мікроклімат та сприяють підвищенню енергоефективності будівлі. Таким чином, поставлені у дипломній роботі завдання виконано повністю, а отримані результати можуть бути використані при практичному проектуванні систем опалення аналогічних громадських будівель.

					ВКР.144.4241.03.ПЗ.00	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Шаповалов, Ю. О., Семенов М. М. Методичні вказівки до виконання випускної кваліфікаційної роботи зі спеціальності 144 «Теплоенергетика» освітнього ступеня «бакалавр» : метод. вказівки. Миколаїв : НУК, 2025. 44 с.
2. ДСТУ-Н Б В 1.1-27:2010 Будівельна кліматологія [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://finance.smr.gov.ua/files/Енергозбереження/dstu-n-b-v11-27-2010-budivelnaklimatologiya.pdf>.
3. ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування.
4. ДБН В.2.2-3:2018. Будинки і споруди. Заклади освіти. – Київ : Мін-регіон України, 2018. – 63 с.
5. Слаутіна Т. Г., Кузнецова С. А. Проектування систем водяного опалення: навч. посіб. Миколаїв: Вид-во НУК, 2011. 68с.
6. Джерела та системи теплопостачання і основи їх проектування [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів спеціальності 144 «Теплоенергетика» освітньо-професійної програми «Теплоенергетика» кваліфікаційного рівня «бакалавр» / укладач Кузнецова С.А.: НУК. – Електронні текстові дані (1 файл: 2.3 Мбайт). Миколаїв : НУК, 2022. 105 с.
7. Зайцев О.М., Любарець О.П. Проектування систем опалення. Відень, 2008. 201 с.
8. Глушко Ю. Ю. Опалення : навч. посіб. 2019. Автор-упорядник: Глушко Ю.Ю., над навч. посіб. також працювали: Безпалько Н.О., Боброва Т.Б., Високос С.М., Гусев П.С., Заседателев І.В., Лебедев С.О., Сашко В.О., Семироз М.В., Терещенко Т.М., Черниш В.В. [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

					ВКР.144.4241.03.ПЗ.00	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

9. Боженко М. Ф. Системи опалення, вентиляції і кондиціонування повітря будівель : навчальний посібник для студентів спеціальності 144 «Теплоенергетика» / М.Ф. Боженко; КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 380 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: file:///C:/Users/ADMIN/Downloads/2019BozhenkoMF_NavchPosib.pdf
- 10.Шейко С.Б. Теплотехнічні розрахунки огорожувальних конструкцій: навч. посіб. – Київ: КНУБА, 2016. – 148 с.
- 11.Міщенко А.П. Системи вентиляції та кондиціонування повітря: навч. посіб. – Київ: Ліра-К, 2015. – 224 с.
- 12.Довгалюк В. Б. Аеродинаміка вентиляції: Навчальний посібник / В. Б. Довгалюк. – Київ: ІВНВКП «Укреліотех», 2015. – 368 с.
- 13.Шаповалов Ю. О., Соломонюк Д. М. Проектування теплообмінних апаратів теплотехнологічних установок : метод. вказ. Миколаїв: Видавництво НУК, 2009. 72с.
- 14.Теплообмінні апарати навчальний посібник для студентів спеціальності 144 "Теплоенергетика"./Анастасенко С.М., ЖигулінаВ.В., Семенов М.М., Соломонюк Д.М.,Шаповалов Ю.О.Швець І.А., Шостак О.В. - Первомайськ: НУК, - Львів, Видавництво ПП «Новий світ 2020»,2023,- 216 с.
15. Шаповалов Ю.О., Соломонюк Д.М. Індивідуальний комплект навчально-методичних матеріалів з дисципліни "Теплотехнологічні процеси та установки (теплообмінні апарати)": Методичні вказівки; ІЗДО НУК, 2018. – 67 с.
16. А.І Погорєлов. Тепломасообмін. Основи теорії і розрахунку. Навчальний посіб-ник. Львів. "Новий Світ-2000" – 2004. – 144 с.

- 17.Теплотехнологічні процеси та установки на залізничному транспорті
[Текст]: навчальний посібник / Є. В. Христян, І. В. Титаренко; Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2015. – 269 с.
18. ДСТУ EN 247:2003 Теплообмінники. Термінологія (EN 247:1997, IDT) [Текст] / пер. і наук.-техн. ред. С. Дубовський [та ін.]. - Офіц. вид. - Чинний від 01.07.2005. - К.: Держспоживстандарт України, 2005. - VII, 14 с. - (Національний стандарт України)
- 19.ДСТУ 3-071-2004. Апарати кожухотрубчасті теплообмінні та повітряногооохолодження. Кріплення труб в трубних решітках. К.: Державний комітет промислової політики України, 2004.–60 с.
- 20.ДСТУ EN 247–1997. Теплообмінники. Терміни та визначення понять. Київ – Держспоживстандарт України – 1997 р.
21. Методичні рекомендації до практичних занять, контрольних і самостійних робіт із дисципліни «Теплотехнологічні процеси і установки» (Тема «Теплові конструктивні розрахунки теплообмінних апаратів») для студентів напряму підготовки 6.050601«Теплоенергетика»денної та заочної форм навчання / В.В. Середа, В.В. Куба-Рівне:НУВГП, 2014р.-24с.
- 22.Розрахунок кожухотрубного теплообмінника : методичні рекомендації до виконання курсового проекту/Уклад.: В.І.Глибін – К.: НАУ, 2014–92 с.
- 23.Бедрій Я. І. Охорона праці: навч. посібник. Київ : ЦУЛ, 2002. 322 с.
- 24.НПАОП 40.1-1.04-72. Правила техніки безпеки при експлуатації тепловикористовуючих установок і теплових мереж. – Київ : Держгіртехнагляд України, 1972. – 67 с.
25. ДСТУ EN 305-2001 Теплообмінники [Текст] ; Визначання експлуатаційних характеристик теплообмінників та загальна методика випробовування для встановлення експлуатаційних характеристик усіх

теплообмінників (EN 305:1997, IDT) / пер. і наук.-техн. ред. С. Дуовський [та ін.] ; . - Офіц. вид. - Чинний від 01.07.2003. - К. : Держспоживстандарт України, 2003. - IV, 16 с.: рис. - (Національний стандарт України)

					ВКР.144.4241.03.ПЗ.00	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Таблиця 2.1 Результати розрахунків теплових втрат через огороження

№ прим.	Зовнішня конструкція	Сторона світу	Розміри огорожень	Площа конструкцій	Розрах. різниця t°С	k, Вт/(м²К)	Осн. тепло втрати, Q _{осн.втр} , Вт	Додаткові втрати у частках від основних				Повні теплові втрати Q _{втр} , Вт
								β1	β2	β3	β4	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
101	Зов.ст.з3вікнами	пн	10,7×3,1	33,17								
	Вікна		3×1,5×1,8	8,10	39	2,63	830	0,1	0,15			1040
	Стіна		33,17-8,1	25,07	39	0,42	415	0,1	0,15			520
	З.ст.з4вік2дв	зх	22,85×3,1	70,80								
	двері		2×2,3×1,7	7,82	39	2,33	710	0,05	0,15			850
	Вікна		4×1,5×1,8	10,80	39	2,63	1107	0,05	0,15			1330
	Стіна		70,8-7,82-10,8	52,18	39	0,42	855	0,05	0,15			1030
	Зов.ст.з7вікнами	сх	32,58×3,1	101,01								
	Вікна		7×1,5×1,8	18,90	39	2,63	1938	0,1	0,15			2430
	Стіна		101-18,9	82,10	39	0,42	1344	0,1	0,15			1680
	Зов.ст.з3вікнами	пд	10,7×3,1	33,417								
	Вікна		3×1,5×1,8	8,10	39	2,63	830	0,05	0,15			1000
	Стіна		33,48-8,1	25,307	39	0,42	415	0,05	0,15			500
	Всього											10380
2	Зов.ст.з5вікнами	пн	21×3,1	65,10								
	Вікна		5×1,5×1,8	13,50	39	2,63	1385	0,1	0,15			1730
	Стіна		65,1-13,5	51,60	39	0,42	845	0,1	0,15			1060
	З.ст.з6вік1дв	пд	21×3,1	65,10								
	двері		1×2,3×1,7	3,91	39	2,33	355	0,05	0,15			430
	Вікна		6×1,5×1,8	16,20	39	2,63	1660	0,05	0,15			1990
	Стіна		65,1-3,91-16,2	44,99	39	0,42	740	0,05	0,15			880
	Всього											6090
3	Зов.ст.з3вікнами	пн	10,7×3,1	33,17								
	Вікна		3×1,5×1,8	8,10	39	2,63	830	0,1	0,15			1040
	Стіна		33,48-8,1	25,07	39	0,42	415	0,1	0,15			520
	Зов.ст.з3вікнами	пд	10,7×3,1	33,17								
	Вікна		3×1,5×1,8	8,10	39	2,63	830	0,05	0,15			1000
	Стіна		33,48-8,1	25,307	39	0,42	415	0,05	0,15			500
	Зовн. ст. з 5вікн.	зх	13,8×3,1	42,78								

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
4	Вікна		5×1,5×1,8	13,50	39	2,63	1380	0,05	0,15			1660
	Стіна		42,78-13,5	29,28	39	0,42	480	0,05	0,15			580
	Зов.ст.34вікнами	сх	22,85×3,1	70,84								
	Вікна		4×1,5×1,8	10,80	39	2,63	1110	0,1	0,15			1380
	Стіна		70,8-10,8	60,00	39	0,42	982	0,1	0,15			1230
	Всього											7910
	Зов.ст.34вікнами	зх	14,1×3,1	43,71								
	Вікна		4×1,5×1,8	10,80	39	2,63	1110	0,05	0,15			1330
	Стіна		43,71-10,8	32,91	39	0,42	540	0,05	0,15			650
	Зов.ст.33вікнами	пд	13,5×3,1	41,85								
	Вікна		3×1,5×1,8	8,10	39	2,63	830	0,05	0,15			1000
	Стіна		41,85-8,1	33,75	39	0,42	550	0,05	0,15			660
	З.ст.32вік1дв	пд	13,5×3,1	41,85								
	двері		1×2,3×1,7	3,91	39	2,33	355	0,1	0,15			450
	Вікна		2×1,5×1,8	5,40	39	2,63	554	0,1	0,15			690
	Стіна		41,85-3,91-5,4	32,54	39	0,42	533	0,1	0,15			670
	Всього											5450
	З.ст.32вік1дв	сх	7,15×6,2	44,33								
	двері		1×2,3×1,7	3,91	37	2,33	337	0,1	0,15			420
	Вікна		2×1,5×1,8	5,40	37	2,63	525	0,1	0,15			660
	Стіна		44,33-3,91-5,4	35,02	37	0,42	550	0,1	0,15			680
	Стеля		3,17×6,65	21,08	37	0,43	340					340
	Всього											2100
5	З.ст.31вік1дв	сх	4,07×6,2	25,23								
	двері		1×2,3×1,7	3,91	37	2,33	337	0,1	0,15			420
	Вікна		1×1,5×1,8	2,70	37	2,63	263	0,1	0,15			330
	Стіна		25,23-3,91-2,7	18,62	37	0,42	290	0,1	0,15			360
	Стеля		7,1×3,57	25,34	37	0,43	400					400
	Всього											1510
7	Зов.ст.33вікнами	пн	10,7×3,1	33,48								

8	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	Вікна		3×1,5×1,8	8,10	39	2,63	830	0,1	0,15			1040
	Стіна		33,48-8,1	25,38	39	0,42	415	0,1	0,15			520
	З.ст.з5вікн	зх	22,85×3,1	70,84								
	Вікна		5×1,5×1,8	13,50	39	2,63	1384	0,05	0,15			1660
	Стіна		70,8-13,5	57,30	39	0,42	940	0,05	0,15			1130
	Зов.ст.з7вікнами	сх	32,58×3,1	101,84								
	Вікна		7×1,5×1,8	18,90	39	2,63	1938	0,1	0,15			2430
	Стіна		101-18,9	82,10	39	0,42	1344	0,1	0,15			1680
	Зов.ст.з3вікнами	пд	10,7×3,1	33,48								
	Вікна		3×1,5×1,8	8,10	39	2,63	830	0,05	0,15			1000
	Стіна		33,48-8,1	25,38	39	0,42	415	0,05	0,15			500
	Стеля		32,08×9,8	314,4	39	0,43	5000					5000
	Всього											14960
	Зов.ст.з5вікнами	пн	21×3,1	65,10								
	Вікна		5×1,5×1,8	13,50	39	2,63	1385	0,1	0,15			1730
	Стіна		65,1-13,5	51,60	39	0,42	845	0,1	0,15			1060
	З.ст.з7вікн	пд	21×3,1	65,10								
	Вікна		7×1,5×1,8	18,90	39	2,63	1940	0,05	0,15			2330
	Стіна		65,1-18,9	46,20	39	0,42	760	0,05	0,15			910
	Стеля		20,5×13,3	272,6	39	0,43	4570					4570
	Всього											10600
	Зов.ст.з3вікнами	пн	10,7×3,1	33,48								
9	Вікна		3×1,5×1,8	8,10	39	2,63	830	0,1	0,15			1040
	Стіна		33,48-8,1	25,38	39	0,42	415	0,1	0,15			520
	Зов.ст.з3вікнами	пд	10,7×3,1	33,48								
	Вікна		3×1,5×1,8	8,10	39	2,63	830	0,05	0,15			1000
	Стіна		33,48-8,1	25,38	39	0,42	415	0,05	0,15			500
	Зовн. ст. з 5вікн.	зх	13,8×3,1	42,78								
	Вікна		5×1,5×1,8	13,5	39	2,63	1380	0,05	0,15			1660
	Стіна		42,78-13,5	29,28	39	0,42	480	0,05	0,15			580
	Зов.ст.з4вікнами	сх	22,85×3,1	70,8								
	Вікна		4×1,5×1,8	10,8	39	2,63	1110	0,1	0,15			1380
	Стіна		70,8-10,8	60,00	39	0,42	982	0,1	0,15			1230

[illegible]

Таблиця 2.3 Розрахунок опалювальних приладів

№ приміщення	Теплова потужність $Q_{с.о}, Вт$	Темпер. повітря в приміщенні $t_{вн}, ^\circ C$	Темпер. теплоносія на вході $t_{вх}, ^\circ C$	Темпер. теплоносія на виході $t_{вих}, ^\circ C$	Температурний напір $\Delta t_{ср}, ^\circ C$	Витрата теплоносія $G_{пр}, кг/год$	Розрахункова густина теплового потоку приладу $q_{пр}, Вт/м^2$	Поправковий коефіцієнт		Тепловіддача теплопроводів $Q_{тр}, Вт$	$Q_{пр} = Q_{с.о} - 0,9 Q_{тр}$ (для одного приладу)	Розрахункова площа приладу $F_{пр}, м^2$	Поправковий коефіцієнт		Розрахункова кількість секцій, $N_{р}$	Установлена кількість секцій, $N_{уст}$
								$\beta 1$	$\beta 2$				$\beta 3$	$\beta 4$		
1	10620	20	95	70	62,5	9,2	585,1	1,06	1,02	9118	268	0,477	1,096	1.03	2,241	3
2	6370	20	95	70	62,5	4,6	577,0	1,06	1,02	6336	133	0,241	1,219	1.03	1,117	2
3	8300	20	95	70	62,5	8,74	584,4	1,06	1,02	7810	254	0,452	1,103	1.03	2,113	3
4	5660	20	95	70	62,5	9,15	585,0	1,06	1,02	3924	266	0,473	1,097	1.03	2,212	3
5	1870	18	95	70	64,5	9	597,8	1,06	1,02	1496	262	0,456	1,102	1.03	2,13	3
6	1280	18	95	70	64,5	11,7	601,1	1,06	1,02	662	342	0,592	1,071	1.03	2,846	3
7	14320	20	95	70	62,5	12,37	588,5	1,06	1,02	9118	359	0,636	1,064	1.03	3,106	4
8	10520	20	95	70	62,5	12,48	588,6	1,06	1,02	7676	361	0,638	1,064	1.03	3,101	4
9	12860	20	95	70	62,5	14,32	590,3	1,06	1,02	7810	416	0,734	1,052	1.03	3,595	4
10	7430	20	95	70	62,5	13,8	589,8	1,06	1,02	5130	402	0,709	1,055	1.03	3,461	4

Таблиця 2.4 Результати гідравлічного розрахунку теплопроводів системи водяного опалення

За схемою теплопроводів			За попереднім розрахунком								За остаточним розрахунком						
№	Q _{діл} , Вт	l _{діл} , м	G _{діл} , кг/год	d, мм	w, м/с	R, Па/м	RI, м	Σ ζ	Z, Па	(RI+Z), Па	G _{діл} , кг/год	d, мм	w, м/с	R, Па/м	RI, м	Σ ζ	Z, Па
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Розрахунок головного циркуляційного кільця																	
1	49 290	2	1762	50	0,22	14,8	29,6	9	209	239							
2	29 525	3,3	1055	40	0,222	20	66	1,2	28	94,0							
3	18 160	12	649	40	0,139	8,2	98,4	1,2	11	118,4							
4	15 140	3	541	32	0,151	12,6	37,8	0,9	9,8	47,6							
5	13 850	3	495	32	0,138	10,4	31,2	1	9	40,2							
6	12 560	8	449	32	0,124	8,5	68	1,3	9,6	78,6							
7	11 280	5	403	32	0,111	7	35	1	5,9	40,9							
8	9 990	5	357	25	0,174	23	115	1	14,5	129,5							
9	8 700	8	311	25	0,151	18,3	146,4	1,3	14,2	160,6							
10	7 640	3	273	25	0,138	14,6	43,8	1	9,1	52,9							
11	6 580	3	235	20	0,183	32	96	1	16	112							
12	5 520	7	197	20	0,152	25	175	1,3	14,4	189,4							
13	4 160	4	148	20	0,114	13,8	55,2	1	6,2	61,4							
14	2 800	9	100	20	0,078	5,8	52,2	1,3	3,8	56,0							
15	1 060	5	38	15	0,054	4,6	23	1	1,4	24,4							
16	1 060	5	38	15	0,054	4,6	23	1	1,4	24,4							
17	2 800	9	100	20	0,078	5,8	52,2	1,3	3,8	56,0							
18	4 160	4	148	20	0,114	13,8	55,2	1	6,2	61,4							
19	5 520	7	197	20	0,152	25	175	1,3	14,4	189,4							
20	6 580	3	235	20	0,183	32	96	1	16	112							
21	7 640	3	273	25	0,138	14,6	43,8	1	9,1	52,9							
22	8 700	8	311	25	0,151	18,3	146,4	1,3	14,2	160,6							
23	9 990	5	357	25	0,174	23	115	1	14,5	129,5							
24	11 280	5	403	32	0,111	7	35	1	5,9	40,9							
25	12 560	8	449	32	0,124	8,5	68	1,3	9,6	78,6							
26	13 850	3	495	32	0,138	10,4	31,2	1	9	40,2							
27	15 140	3	541	32	0,151	12,6	37,8	0,9	9,8	47,6							

За схемою теплопроводів			За попереднім розрахунком								За остаточним розрахунком						
№	Q _{діл} , Вт	l _{діл} , м	G _{діл} , кг/год	d, мм	w, м/с	R, Па/м	Rl, м	Σ ζ	Z, Па	(Rl+Z), Па	G _{діл} , кг/год	d, мм	w, м/с	R, Па/м	Rl, м	Σ ζ	Z, Па
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
28	18 160	12	649	40	0,139	8,2	98,4	1,2	11	118,4							
29	29 525	3,3	1055	40	0,222	20	66	1,2	28	94,0							
30	49 290	2	1762	50	0,22	14,8	29,6	9	209	239							
										Σ 2890							

ДОДАТКИ

Додаток Б

Таблиця 3.1 - Надходження шкідливостей в залу для школярів.

Найменування приміщення	Розрахунковий період року	Кількість людей і категорія		Теплонадходження, Вт				Вологовиділення, г/год		Надходження CO ₂ , л/год	
				Від однієї людини		Усього		Від 1-го чол.	Усього	Від 1-го чол.	Усього
				Явн.	повні	Явн.	повні				
Обідня зала	Х.П. (t = 23°C)	15	чоловік	72	105	1080	1575	46	690	23	345
		15	жен.	54	78,8	810	1182	34,5	517,5	17,3	259,5
		10	діти	36	52,5	360	525	23	2300	11,5	115
		40	Усього	-	-	225	3282	-	1437,5	-	719,5
	П.П. (t = 23°C)	15	чоловік	72	105	1080	1575	46	690	23	345
		15	жен.	54	78,8	810	1182	34,5	517,5	17,3	259,5
		10	діти	36	52,5	360	525	23	230	11,5	115
		40	Усього	-	-	2250	3282	-	1437,5	-	719,5
	Т.П. (t = 28°C)	15	чоловік	48	95	720	1425	65	975	23	345
		15	жен.	36	71,3	540	1070	48,8	732	17,3	259,5
		10	діти.	24	47,5	240	475	32,5	325	11,5	115
		40	Усього	-	-	1500	2970	-	2032	-	719,5

Таблиця 3.2 – Зміна параметрів повітря для холодного періоду року

Точка	T	φ	d	I
Н	-31	84	0,2	-30,8
П	16	2	0,2	16,7
В	23	16	2,9	30,5
У	24,1	18	3,4	33

Таблиця 3.3 – Зміна параметрів повітря для перехідного періоду року

Точка	T	φ	d	I
Н	10	84	6,5	26,5
П	16	57	6,5	32,6
В	23	43	7,6	42,5
У	24,7	40	7,8	44,8

Таблиця 3.4 – Зміна параметрів повітря для теплого періоду року

Точка	t	φ	d	I
Н	26,2	49	11,2	54,9
П	26,7	48	11,2	55,5
В	28,2	46	11,8	58,5

У	29,6	43	12	60,5
---	------	----	----	------

Таблиця 3.5 - Розрахункова частина повітряного балансу приміщення

Найменування приміщення	Період року	внутр. температура	Повітрообміни за шкідливістю, кг/год						Розрахунковий		Кратність, К
			По явном у теплу	По повному теплу	За вологою	За CO ₂	Нормований				
							G, кг/год	L, м³/год	G, кг/год	L, м³/год	
Обідня зала	Т. П.	28,2	24372	24284	24471	8208	9371	8000	24471	20 427	9,6
	П. П.	23	11319	11230	11636	8 291	9536	8000	11636	9762	4,6
	Х. П.	23	7078	7193	7111	8 291	9536	8000	9633	8082	3,8

Таблиця 3.6 - Організаційно-конструкторська частина повітряного балансу приміщення

Приплив				Усього	Витяжка				Усього, кг/год
Загальнообмінний					Загальнообмінний				
Механічний					Механічна				
G, кг/год	L, м³/год	t	r		G, кг/год	L, м³/год	t	r	
24 047	20 427	26,7	1,18	24 047	24 047	20 624	29,6	1,17	24 047
11 918	9762	16,0	1,22	11 918	11 918	10 056	24,7	1,19	11 918
9 866	8082	16,0	1,22	9 866	9 866	8 308	24,1	1,19	9 866

Таблиця 3.7 - Розрахунок повітрообмінів за кратністю (Розділ 3)

Приміщення	t_v	Кратність		Об'єм	Приплив	Витяжка
		Приплив	Витяжка			
2	3	4	5	7	8	9
Тамбур	16	2	0	144	288	0
Кладова	16	0	2	88	0	176
Обідня зала	16	2	0	692	1384	0
Роздавальна	16	0	1	113	0	113
Приміщення для підігріву їжі	20	2	3	47	94	141
Посудомийка	20	2	3	47	94	141
Комора	16	0	1	47	0	47
Санвузол	16	0	200	47	0	150
Санвузол	16	0	200	47	0	150
Коридор з гардероб.	16	2	2	112	224	224
Вчительська	18	2	1,5	89	178	134
Тамбур	16	0	1	52	0	52
Охорона	18	2	1,5	52	104	78
Кабінет психолога	18	2	1,5	47	94	71
Мед. кабінет	18	1,5	1,5	43	65	65
Службове приміщення	18	1,5	1,5	52	78	78
Коридор	16	2	2	27	55	55
Коридор	16	0	1	12	0	12
Санвузол	16	0	50	5	0	50

Санвузол	16	0	50	5	0	50
Санвузол жіночий	16	0	100	12	0	100
Санвузол чоловічий	16	0	100	12	0	100
Класна кімната	18	2	1,5	22	44	33
Класна кімната	18	2	1,5	52	104	78
Венткамера	16	0	1	114	0	114
Класна кімната	18	2	3	94	188	282
Класна кімната	18	2	3	143	286	429
Класна кімната	18	2	3	43	86	129
Метод.кабінет	18	1	0	43	43	0
Бібліотека (чит. зал)	18	3	2	145	435	290
Спортивна зала	16	2	0	690	1380	0
Клас розвиваючого навчання	18	3	2	145	435	290
Класна кімната	18	2	1,5	89	178	133
Класна кімната	18	2	1,5	52	104	78
Класна кімната	18	2	1,5	97	194	146
Класна кімната	18	2	1,5	46	92	69
Класна кімната	18	2	1,5	46	92	69
Класна кімната	18	2	1,5	42	84	63
Класна кімната	18	2	1,5	42	84	63
Коридор	18	2	2	26	52	52
Коридор	18	2	2	26	52	52
Коридор	18	2	2	26	52	52
Санвузол	16	0	200	47	0	150

Санвузол	16	0	200	47	0	150
Роздягальні	18	2	2	49	98	98
Снарядна	16	0	1	25	0	25
Тренерська	16	0	1	25	0	25
Тамбур	16	0	1	52	0	52

Таблиця 3.9 - Визначення КМО для П1

Ділянка	КМО	Умови вибору	ξ	Кількість	$\sum \xi$
1	2	3	4	5	6
4АПР	Грати 4АПР	P=15Па		1	
1	Коліно 90о		1,2	1	1,2
	Трійник на відгалуження		0.78	1	0.78
					1.98
2	Коліно 90°		1,27	1	1,27
					1.97
3	Коліно 90°		1,2	1	1,2
	Трійник на прохід		3.1	1	3.1
					4.3
4	Трійник на відгалуження		0.85	1	0.85
5	Коліно 90°		1.302	1	1.302
	Раптове розширення		0,25	1	0,5
					1,802
6	Грати АМР				
	Трійник на прохід		1	1	1

Таблиця 3.10 Аеродинамічний розрахунок припливної П1

№	L, м/год	Довжина а l, м	Розмір перерізу		F, м	d _{скв} , мм	v, м/с	$\Delta P_{тр}$, Па	$\Sigma \xi$	P _{дин} , Па	Z, Па	$\Delta P_{діл}$, Па	$\Sigma P_{діл}$, Па
			А, мм	Б, мм									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Основний напрямок системи П1													
4АПР	2553		675	675	0,456	675	1,6	—	—		—	15	15
0-1	2553	5,81	800	400	0,320	533	2,2	1	1,98	3	6	8	23
1-2	6118	4,9	1200	500	0,600	706	2,8	2	3,1	5	15	17	40
2-3	9177	4,9	1400	600	0,840	840	3,0	2	3,1	6	17	26	66
3-4	12236	3,91	1400	800	1,120	1018	3,0	1	1,27	6	7	8	74
4-5	20424	14,4	1400	800	1,120	1018	5,1	0	2,54	15	39	39	113
Додаткові ділянки системи П1													
Наявний тиск $\Delta P_{діл}$. 0,1 = 17 Па													
4АПР	2553		675	675	0,456	675	1,6					15	15
6-1	2553	1	800	400	0,320	533	2,2	0	1,302	3	4	4	19
												Нев'язка	16,96
							Діафрагма 275x675						2,77
4АПР	2553		675	675	0,456	675	1,6	0	0	1	0	15	32
7-2	2553	1	800	400	0,320	533	2,2	0	1,302	3	4	4	36
												нев'язка	10,50
							Діафрагма 177x577						3,90
4АПР	2553		675	675	0,456	675	1,6	0	0	1	0	15	26
8-3	2553	1	800	400	0,320	533	2,2	0	1,302	3	4	4	29
												нев'язка	55,54
							Діафрагма 177x577						3,30

Таблиця 3.10 - Визначення КМО для В1

Номер ділянки	Найменування опору	Кількість	Умови вибору	КМО	Сума КМО
1	2	3	4	5	6
В1					
0	4АПР	1	15 Па		
1-2	Трійник на прохід	1	$L_o/L_c=0,5; F_{п}/F_c=0,62$	0,2	0,2
				$\Sigma \xi$	0,2
2-3	Трійник на відгалуження	1	$F_{п}+F_0>F_c; V_0 = 2,29; V_c = 4,69; V_0/V_c=0,5$	0,1	0,1
					0,1
3-4					0
Додаткові ділянки системи В1					
2-7	4АПН	1		1,4	1,4
	Трійник на відгалуження	1	$F_{п}+F_0>F_c; V_0 = 2,29; V_c = 4,69; V_0/V_c=0,5$	0,1	0,1
				$\square \square$	1,5

Таблиця 3.11 - Аеродинамічний розрахунок системи В1

№	L, м/год	Довжи на l, м	d мм	F, м	d _{екв} , мм	v, м/с	Re		$\Delta P_{тр}$, Па	$\Sigma \xi$	R _{дін} , Па	Z, Па	$\Delta P_{діл}$, Па	$\Sigma R_{діл}$, Па
Основного напрямку системи В1														
4АПР	2553	0	0	0,000	0	0,0	0	0,000	0	0,0	0	0	15	15
0-1	2553	1,5	630	0,312	630	2,3	94902	0,019	0	0,5	3	2	2	17
1-2	5106	3,5	800	0,502	800	2,8	149470	0,017	0	2	5	10	10	27
2-3	10212	3,5	1120	0,985	1120	2,9	213529	0,016	0	0,6	5	3	3	30
3-4	20427	0,6	1250	1,227	1250	4,6	382700	0,014	0	0	13	0	0	30
Додаткові ділянки системи В1														
4АПР	2253	0		0,000	0								15	15
1-5	2253	1,5	630	0,312	630	2,0	83750	0,019	0,1	0,53	2	1	1	16
													Нев'язка	1,79
4АПР	2253	0		0,000	0								15	15
2-6	2253	1,5	630	0,312	630	2,0	83750	0,019	0,1	1,50	2	4	4	19
													Нев'язка	####
							Діафрагма d420			5				2,257
4АПР	2253	0		0,000	0								15	15
7-2	2253	1,5	630	0,312	630	2,0	83750	0,019	0,1	1,50	2	4	4	19
													Нев'язка	####
							Діафрагма d426			5				2,21

Таблиця 2.1

Результати розрахунків теплових втрат через огороження

№ прим.	Зовнішня конструкція	Сторона світу	Розміри огорожень	Площа конструкцій	Розрах. різниця t°C	k, Вт/(м²K)	Осн. тепло втрати, Qосн.втр, Вт	Додаткові втрати у частках від основних				Повні теплові втрати Qвтр,Вт
								β1	β2	β3	β4	
1	Зов.ст.з3вікнами	пн	10,7×3,1	33,48								
	Вікна		3×1,5×1,8	8,1	39	2,63	830	0,1	0,15			1040
	Стіна		33,48-8,1	25,38	39	0,42	415	0,1	0,15			520
	Зовн.ст.з4вік2дв	зх	22,85×3,1	70,8								
	двері		2×2,3×1,7	7,82	39	2,33	710	0,05	0,15			850
	Вікна		4×1,5×1,8	10,8	39	2,63	1107	0,05	0,15			1330
	Стіна		70,8-7,82-10,8	52,18	39	0,42	855	0,05	0,15			1030
	Зов.ст.з7вікнами	сх	32,58×3,1	101								
	Вікна		7×1,5×1,8	18,9	39	2,63	1938	0,1	0,15			2430
	Стіна		101-18,9	82,1	39	0,42	1344	0,1	0,15			1680
	Зов.ст.з3вікнами	пд	10,7×3,1	33,48								
	Вікна		3×1,5×1,8	8,1	39	2,63	830	0,05	0,15			1000
	Стіна		33,48-8,1	25,38	39	0,42	415	0,05	0,15			500
	Всього											10380
2	Зов.ст.з5вікнами	пн	21×3,1	65,1								
	Вікна		5×1,5×1,8	13,5	39	2,63	1385	0,1	0,15			1730
	Стіна		65,1-13,5	51,6	39	0,42	845	0,1	0,15			1060
	З.ст.з6вік1дв	пд	21×3,1	65,1								
	двері		1×2,3×1,7	3,91	39	2,33	355	0,05	0,15			430
	Вікна		6×1,5×1,8	16,2	39	2,63	1660	0,05	0,15			1990
	Стіна		65,1-3,91-16,2	44,99	39	0,42	740	0,05	0,15			880
	Всього											6090
	Зов.ст.з3вікнами	пн	10,7×3,1	33,48								
	Вікна		3×1,5×1,8	8,1	39	2,63	830	0,1	0,15			1040
3	Стіна		33,48-8,1	25,38	39	0,42	415	0,1	0,15			520
	Зов.ст.з3вікнами	пд	10,7×3,1	33,48								
	Вікна		3×1,5×1,8	8,1	39	2,63	830	0,05	0,15			1000
	Стіна		33,48-8,1	25,38	39	0,42	415	0,05	0,15			500
	Зовн. ст. з 5вікн.	зх	13,8×3,1	42,78								

№ при м.	Зовнішня конструкція	Сторона світу	Розміри огорожень	Площа конструкцій	Розрах. різниця t°C	k, Вт/(м²K)	Осн.тепло втрати, Qосн.втр, Вт	Додаткові втрати у частках від основних				Повні теплові втрати Qвтр,Вт
								β1	β1	β1	β1	
4	Вікна		5×1,5×1,8	13,5	39	2,63	1380	0,05	0,15			1660
	Стіна		42,78-13,5	29,28	39	0,42	480	0,05	0,15			580
	Зов.ст.34вікнами	сх	22,85×3,1	70,8								
	Вікна		4×1,5×1,8	10,8	39	2,63	1110	0,1	0,15			1380
	Стіна		70,8-10,8	60	39	0,42	982	0,1	0,15			1230
	Всього											7910
	Зов.ст.34вікнами	зх	14,1×3,1	43,71								
	Вікна		4×1,5×1,8	10,8	39	2,63	1110	0,05	0,15			1330
	Стіна		43,71-10,8	32,91	39	0,42	540	0,05	0,15			650
	Зов.ст.33вікнами	пд	13,5×3,1	41,85								
	Вікна		3×1,5×1,8	8,1	39	2,63	830	0,05	0,15			1000
	Стіна		41,85-8,1	33,75	39	0,42	550	0,05	0,15			660
	Зовн.ст.32вік1дв	пд	13,5×3,1	41,85								
	двері		1×2,3×1,7	3,91	39	2,33	355	0,1	0,15			450
	Вікна		2×1,5×1,8	5,4	39	2,63	554	0,1	0,15			690
	Стіна		41,85-3,91-5,4	32,54	39	0,42	533	0,1	0,15			670
5	Всього											5450
	Зовн.ст.32вік1дв	сх	7,15×6,2	44,33								
	двері		1×2,3×1,7	3,91	37	2,33	337	0,1	0,15			420
	Вікна		2×1,5×1,8	5,4	37	2,63	525	0,1	0,15			660
	Стіна		44,33-3,91-5,4	35	37	0,42	550	0,1	0,15			680
	Стеля		3,17×6,65	21	37	0,43	340					340
	Всього											2100
	Зовн.ст.31вік1дв	сх	4,07×6,2	25,23								
6	двері		1×2,3×1,7	3,91	37	2,33	337	0,1	0,15			420
	Вікна		1×1,5×1,8	2,7	37	2,63	263	0,1	0,15			330
	Стіна		25,23-3,91-2,7	18,62	37	0,42	290	0,1	0,15			360
	Стеля		7,1×3,57	25,3	37	0,43	400					400
	Всього											1510
	Зов.ст.33вікнами	пн	10,7×3,1	33,48								
7	Вікна		3×1,5×1,8	8,1	39	2,63	830	0,1	0,15			1040

8	Стіна		33,48-8,1	25,38	39	0,42	415	0,1	0,15			520
	Зовн.ст.35вікн	зх	22,85×3,1	70,8								
	Вікна		5×1,5×1,8	13,5	39	2,63	1384	0,05	0,15			1660
	Стіна		70,8-13,5	57,3	39	0,42	940	0,05	0,15			1130
	Зов.ст.37вікнами	сх	32,58×3,1	101								
	Вікна		7×1,5×1,8	18,9	39	2,63	1938	0,1	0,15			2430
	Стіна		101-18,9	82,1	39	0,42	1344	0,1	0,15			1680
	Зов.ст.33вікнами	пд	10,7×3,1	33,48								
	Вікна		3×1,5×1,8	8,1	39	2,63	830	0,05	0,15			1000
	Стіна		33,48-8,1	25,38	39	0,42	415	0,05	0,15			500
	Стеля		32,08×9,8	314,4	39	0,43	5000					5000
	Всього											14960
	Зов.ст.35вікнами	пн	21×3,1	65,1								
	Вікна		5×1,5×1,8	13,5	39	2,63	1385	0,1	0,15			1730
	Стіна		65,1-13,5	51,6	39	0,42	845	0,1	0,15			1060
	9	Зовн.ст.37вікн	пд	21×3,1	65,1							
Вікна			7×1,5×1,8	18,9	39	2,63	1940	0,05	0,15			2330
Стіна			65,1-18,9	46,2	39	0,42	760	0,05	0,15			910
Стеля			20,5×13,3	272,6	39	0,43	4570					4570
Всього												10600
Зов.ст.33вікнами		пн	10,7×3,1	33,48								
Вікна			3×1,5×1,8	8,1	39	2,63	830	0,1	0,15			1040
Стіна			33,48-8,1	25,38	39	0,42	415	0,1	0,15			520
Зов.ст.33вікнами		пд	10,7×3,1	33,48								
Вікна			3×1,5×1,8	8,1	39	2,63	830	0,05	0,15			1000
Стіна			33,48-8,1	25,38	39	0,42	415	0,05	0,15			500
Зовн. ст. з 5вікн.		зх	13,8×3,1	42,78								
Вікна			5×1,5×1,8	13,5	39	2,63	1380	0,05	0,15			1660
Стіна			42,78-13,5	29,28	39	0,42	480	0,05	0,15			580
Зов.ст.34вікнами		сх	22,85×3,1	70,8								
10		Вікна		4×1,5×1,8	10,8	39	2,63	1110	0,1	0,15		
	Стіна		70,8-10,8	60	39	0,42	982	0,1	0,15			1230
	Стеля		32,08×9,8	314,4	39	0,43	5000					5000
	Всього											12910
	Зов.ст.34вікнами	зх	14,1×3,1	43,71								
	Вікна		4×1,5×1,8	10,8	39	2,63	1110	0,05	0,15			1330
	Стіна		43,71-10,8	32,91	39	0,42	540	0,05	0,15			650

	Зов.ст.з3вікнами	пд	13,5×3,1	41,85								
	Вікна		3×1,5×1,8	8,1	39	2,63	830	0,05	0,15			1000
	Стіна		41,85-8,1	33,75	39	0,42	550	0,05	0,15			660
	Зовн.ст.з4вікн	пд	13,5×3,1	41,85								
	Вікна		4×1,5×1,8	10,8	39	2,63	1110	0,1	0,15			1380
	Стіна		41,85-10,8	31,05	39	0,42	510	0,1	0,15			640
	Стеля		13×13,6	176,8	39	0,43	2960					2960
	Всього											8620

Таблиця 2.2

Баланс теплоти системи опалення будівлі

№ приміщення	Втрати				Надходження					Qс.о	q
	Qог	Qінф	Qін	QΣвтр	Qп.п	Qел.ос	Qл	Qін	QΣнад		
1	10380	1550		11930		680	630		1310	10620	0,375
2	6090	910		7000		285	345		630	6370	0,295
3	7910	1120		9030		355	375		730	8300	0,285
4	5450	690		6140		220	260		480	5660	0,396
5	2100	130		2230		165	195		360	1870	0,49
6	1510	110		1620		155	185		340	1280	0,301
7	14960	1240		16200		885	995		1880	14320	0,49
8	10600	1080		11680		520	640		1160	10520	0,481
9	12910	1290		14200		630	710		1340	12860	0,442

10	8620	500		9220		530	610	650	1790	7430	0,49
Всього										79 230	

Таблиця 2.3

Розрахунок опалювальних приладів

№ приміщення	Теплова потужність $Q_{с.о}, \text{Вт}$	Темпер. повітря в приміщенні $t_{вн}, ^\circ\text{C}$	Темпер. теплоносія на вході $t_{вх}, ^\circ\text{C}$	Темпер. теплоносія на виході $t_{вих}, ^\circ\text{C}$	Температурний напір $\Delta t_{ср}, ^\circ\text{C}$	Витрата теплоносія $G_{пр}, \text{кг/год}$	Розрахункова густина теплового потоку $q_{пл}, \text{Вт/м}^2$	Поправковий коефіцієнт		Тепловідача теплопроводів $Q_{тр}, \text{Вт}$	$Q_{пр} = Q_{с.о} - 0,9 Q_{тр}$ (для одного приладу)	Розрахункова площа приладу $F_p, \text{м}^2$	Поправковий коефіцієнт		Розрахункова кількість секцій N_p	Установлена кількість секцій $N_{уст}$
								β_1	β_2				β_3	β_4		
1	10620	20	95	70	62,5	9,2	585,1	1,06	1,02	9118	268	0,477	1,096	1,03	2,241	3
2	6370	20	95	70	62,5	4,6	577,0	1,06	1,02	6336	133	0,241	1,219	1,03	1,117	2
3	8300	20	95	70	62,5	8,74	584,4	1,06	1,02	7810	254	0,452	1,103	1,03	2,113	3
4	5660	20	95	70	62,5	9,15	585,0	1,06	1,02	3924	266	0,473	1,097	1,03	2,212	3
5	1870	18	95	70	64,5	9	597,8	1,06	1,02	1496	262	0,456	1,102	1,03	2,130	3
6	1280	18	95	70	64,5	11,7	601,1	1,06	1,02	662	342	0,592	1,071	1,03	2,846	3
7	14320	20	95	70	62,5	12,37	588,5	1,06	1,02	9118	359	0,636	1,064	1,03	3,106	4
8	10520	20	95	70	62,5	12,48	588,6	1,06	1,02	7676	361	0,638	1,064	1,03	3,101	4
9	12860	20	95	70	62,5	14,32	590,3	1,06	1,02	7810	416	0,734	1,052	1,03	3,595	4
10	7430	20	95	70	62,5	13,8	589,8	1,06	1,02	5130	402	0,709	1,055	1,03	3,461	4

Таблиця 2.4

Результати гідравлічного розрахунку теплопроводів системи водяного опалення

За схемою теплопроводів			За попереднім розрахунком								За остаточним розрахунком						
№	Q _{діл} , Вт	l _{діл} , м	G _{діл} , кг/год	d, мм	w, м/с	R, Па/м	RI, м	Σ ζ	Z, Па	(RI+Z), Па	G _{діл} , кг/год	d, мм	w, м/с	R, Па/м	RI, м	Σ ζ	Z, Па
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Розрахунок головного циркуляційного кільця																	
1	49 290	2	1762	50	0,22	14,8	29,6	9	209	239							
2	29 525	3,3	1055	40	0,222	20	66	1,2	28,0	94,0							
3	18 160	12	649	40	0,139	8,2	98,4	1,2	11,0	118,4							
4	15 140	3	541	32	0,151	12,6	37,8	0,9	9,8	47,6							
5	13 850	3	495	32	0,138	10,4	31,2	1,0	9,0	40,2							
6	12 560	8	449	32	0,124	8,5	68,0	1,3	9,6	78,6							
7	11 280	5	403	32	0,111	7,0	35,0	1,0	5,9	40,9							
8	9 990	5	357	25	0,174	23	115	1,0	14,5	129,5							
9	8 700	8	311	25	0,151	18,3	146,4	1,3	14,2	160,6							
10	7 640	3	273	25	0,138	14,6	43,8	1,0	9,1	52,9							
11	6 580	3	235	20	0,183	32	96	1,0	16,0	112							
12	5 520	7	197	20	0,152	25	175	1,3	14,4	189,4							
13	4 160	4	148	20	0,114	13,8	55,2	1,0	6,2	61,4							
14	2 800	9	100	20	0,078	5,8	52,2	1,3	3,8	56,0							
15	1 060	5	38	15	0,054	4,6	23,0	1,0	1,4	24,4							
16	1 060	5	38	15	0,054	4,6	23,0	1,0	1,4	24,4							
17	2 800	9	100	20	0,078	5,8	52,2	1,3	3,8	56,0							
18	4 160	4	148	20	0,114	13,8	55,2	1,0	6,2	61,4							
19	5 520	7	197	20	0,152	25	175	1,3	14,4	189,4							
20	6 580	3	235	20	0,183	32	96	1,0	16,0	112							
21	7 640	3	273	25	0,138	14,6	43,8	1,0	9,1	52,9							
22	8 700	8	311	25	0,151	18,3	146,4	1,3	14,2	160,6							
23	9 990	5	357	25	0,174	23	115	1,0	14,5	129,5							
24	11 280	5	403	32	0,111	7,0	35	1,0	5,9	40,9							
25	12 560	8	449	32	0,124	8,5	68	1,3	9,6	78,6							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18

26	13 850	3	495	32	0,138	10,4	31,2	1,0	9	40,2							
27	15 140	3	541	32	0,151	12,6	37,8	0,9	9,8	47,6							
28	18 160	12	649	40	0,139	8,2	98,4	1,2	11	118,4							
29	29 525	3,3	1055	40	0,222	20,0	66	1,2	28	94,0							
30	49 290	2	1762	50	0,22	14,8	29,6	9,0	209	239							
										Σ 2889,8							