

Кафедра «Теплоенергетики та технологій машинобудування»

«Допущений до захисту»
Завідувач кафедри

« 8 » червня 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»

на тему: Розробка системи тепlopостачання чотириповерхового коледжу загальною площею 3800 м² в м. Миколаєві

Виконав: студент групи 47-ТЕ-22

 **Танасюк Є.В.**
(підпис)

Керівник роботи:

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

 **Шостак О.В.**
(підпис)

м. Первомайськ – 2026 р.

Кафедра «Теплоенергетики та технологій машинобудування»

Спеціальність 144 «Теплоенергетика»

Освітня програма «Теплоенергетика»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Гарант освітньої програми

«13» 01 2026 р.

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

Студенту **Танасюку Євгенію Валерійовичу**

(Прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Розробка системи теплопостачання чотириповерхового коледжу загальною площею 3800 м^2 в м. Миколаєві

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

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

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

3. Вихідні дані по роботі: креслення і характеристика чотириповерхової будівлі коледжу площею 3800 м^2 .

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

1. Характеристика об'єкта, для якого розробляється система теплопостачання.
2. Розробка системи водяного опалення. Визначення теплових втрат через огороження приміщень та на підігрів інфільтраційного повітря і матеріалу. Визначення питомої витрати теплоти на опалення. Вибір та обґрунтування типу системи опалення та опалювальних приладів. Розрахунок площі поверхонь опалювальних приладів. Гідравлічний розрахунок системи опалення.
3. Розробка котельні. Розробка і опис теплової схеми котельні. Розрахунок теплових навантажень котельні, вибір типів і кількості котлів. Підбір обладнання та його розташування в котельні. Вибір та розрахунок димової труби.
4. Розробка розширювального бака.
5. Розробка заходів з охорони праці.

5. Перелік презентаційних матеріалів

1. План будівлі
2. Аксонометрична схема опалення будівлі
3. Розміщення обладнання котельні
4. Теплова схема котельні
5. Конструкція мембраного розширювального бака.

1. Консультанти розділів роботи

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

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

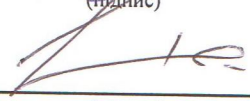
Номер	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Характеристика об'єкта, для якого розробляється система теплопостачання		
2	Розробка системи водяного опалення		
3	Розробка котельні		
4	Розробка розширювального бака		
5	Розробка заходів з охорони праці		
6	Графічна частина		

Студент


(підпис)

Танасюк Є.В.

Керівник роботи


(підпис)

Шостак О.В.

АНОТАЦІЯ

В кваліфікаційній роботі розроблена система теплопостачання чотириповерхового коледжу.

Проаналізовані можливі варіанти джерел автономного теплопостачання коледжу та розроблена газова котельня. Котельня призначена для теплозабезпечення приміщень навчального закладу протягом опалювального періоду року. Вся потужність системи теплопостачання розрахована тільки на опалення приміщень та на власні потреби котельної, оскільки система гарячого водопостачання не передбачена. Котельня забезпечена сучасним обладнанням для якісної та безпечної експлуатації.

Проведений перерахунок теплових втрат приміщень коледжу, визначено теплове навантаження котельні, виконаний гідравлічний розрахунок системи опалення, підібрані сучасні зразки нагрівальних приладів.

Приведена розробка розширювального бака, призначеного для компенсації температурного розширення теплоносія в системі опалення.

В роботі розглянуті питання з охорони праці у котельні.

Ключові слова: система опалення, газова котельня, розширювальний бак.

ABSTRACT

In the qualification work, a heat supply system for a four-story college was developed.

Possible options for sources of autonomous heat supply for the college were analyzed and a gas boiler house was developed. The boiler house is intended for heat supply of the premises of the educational institution during the heating period of the year. The entire capacity of the heat supply system is designed only for heating the premises and for the boiler house's own needs, since the hot water supply system is not provided. The boiler house is equipped with modern equipment for high-quality and safe operation.

The heat losses of the college premises were recalculated, the heat load of the boiler house was determined, the hydraulic calculation of the heating system was performed, and modern samples of heating devices were selected.

An expansion tank designed to compensate for the thermal expansion of the coolant in the heating system was developed.

The work considers issues of labor protection in the boiler house.

Keywords: heating system, gas boiler house, expansion tank.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА, ДЛЯ ЯКОГО РОЗРОБЛЯЄТЬСЯ СИСТЕМА ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ.	10
1.1. Характеристика об'єкта, для якого розробляється система теплопостачання	10
1.2. Плани об'єкту та ескізи приміщень	11
1.3. Вимоги ДБН України до систем	17
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА СИСТЕМИ ВОДЯНОГО ОПАЛЕННЯ.....	20
2.1. Вибір початкових розрахункових параметрів, режимів роботи ...	20
2.2. Визначення теплових втрат через огороження приміщень та на підігрів інфільтраційного повітря і матеріалу.....	21
2.3. Визначення питомої витрати теплоти на опалення	26
2.4. Вибір та обґрунтування типу системи опалення та опалювальних приладів	26
2.5. Розрахунок площі поверхонь опалювальних приладів	28
2.6. Гідравлічний розрахунок системи опалення	29
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА КОТЕЛЬНОЇ.....	39
3.1. Розробка і опис теплової схеми котельні.....	39
3.2. Розрахунок теплових навантажень котельні, вибір типів і кількості котлів.....	39
3.3. Підбір обладнання та його розташування в котельні.....	43
3.4. Вибір та розрахунок димової труби.....	46
3.5. Вибір типу установки для очищення котлової води.....	48
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА РОЗШИРЮВАЛЬНОГО БАКА	52
4.1. Вихідні данні для розрахунку розширювального бака.....	53
4.2. Визначення об'єму розширювального бака з діафрагмовою мембраною	53
4.3. Визначення об'єму розширювального бака без мембрани	56

РОЗДІЛ 5. РОЗРОБКА ЗАХОДІВ З ОХОРОНИ ПРАЦІ.....	61
5.1. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях при експлуатації котельні.....	61
ВИСНОВКИ.....	64
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	65

ВСТУП

Питання енергоефективності та енергозбереження в теплоенергетиці завжди були актуальними на фоні постійного росту тарифів на енергоресурси та їх дефіциту. Внаслідок складного політичного стану України значно постраждала її економіка і, зокрема, енергетичний сектор. Ще з 2014 року країна стала залежною від імпорту всіх видів енергоресурсів, оскільки до імпорту природного газу і нафтопродуктів до дався імпорт вугілля та електричної енергії. Майже 50% теплових мереж, які знаходяться в експлуатації, повністю відпрацювали свій ресурс та багато знаходяться в аварійному стані і потребують заміни.

У зв'язку з постійним ростом споживачів не вистачає теплової потужності ТЕЦ, щоб в повній мірі забезпечити їх теплом. Тому застосування автономних котельних має ряд переваг над вже застарілим централізованим опаленням. Основна перевага автономного опалення полягає у відсутності тепловтрат і витоків теплоносія на шляху до споживача. Крім того, опалення від автономних джерел дає можливість швидко змінювати температурний режим в приміщеннях та забезпечувати комфортну температуру при змінах температури зовнішнього повітря.

Централізована система теплопостачання, від якої опалюється будівля коледжу, не здатна забезпечити комфортні умови перебування викладачів та учнів, незважаючи на усі прийняті заходи по зменшенню тепловтрат через зовнішні огороження. Нова система теплопостачання передбачає повну заміну системи опалення та розробку водогрійної газової котельні, яка буде використовуватись в якості автономного джерела теплопостачання.

Мета роботи: Розробка системи теплопостачання чотириповерхового коледжу загальною площею 3800 м² в м. Миколаєві.

Завдання роботи: Розробка високоекономічної системи теплопостачання будівлі коледжу.

Розробити теплову схему, розрахувати та підібрати обладнання для котельні, яка буде джерелом теплозабезпечення будівлі навчального закладу;

Обрати обладнання, що відповідає сучасним вимогам та забезпечує зменшення споживання енергоресурсів.

Розробити систему теплопостачання, яка приведе до покращення умов перебування у коледжі за рахунок регулювання температури та зменшення витрат на енергоресурси в опалювальний період порівняно з використанням централізованого опалення.

Об'єкт розробки: чотириповерхова будівля коледжу загальною площею 3800 м², розташована в м. Миколаєві.

Предмет розробки: процес технічного переоснащення системи теплозабезпечення будівлі коледжу, розробка автономної газової котельні та модернізація внутрішньобудинкової мережі опалення.

Методи розробки: в роботі використано інженерні методи теплотехнічного та гідравлічного розрахунків, порівняльний аналіз варіантів джерел теплопостачання та нормативно-аналітичний метод на основі чинних державних будівельних норм (ДБН) та стандартів (ДСТУ).

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

1.1. Характеристика об'єкта, для якого розробляється система тепlopостачання

В роботі вирішується питання тепlopостачання у холодний період року будівлі коледжу в м. Миколаєві.

На даний час теплогенеруючим джерелом для навчального закладу є міська ТЕЦ, яка розташована на відстані приблизно 10 км, що обумовлює значні тепловтрати теплоносія.

Основними недоліками центрального тепlopостачання від ТЕЦ є:

- залежність комфортних умов в будівлі коледжу від якості води, яка подається в систему опалення. Зниження температури теплоносія призводить до зниження температури в приміщеннях та як наслідок зменшення працездатності та збільшення ризику захворювань викладачів, навчально-допоміжного персоналу та учнів;

- незалежно від якості теплоносія, що подається, тариф на тепlopостачання від ТЕЦ залишається сталим, в прогнозі на майбутнє можливо його подальше збільшення.

Враховуючи незадовільний стан тепломереж, а також те, що сама технологія теплогенерування технічно застаріла за майже 50-тирічний термін експлуатації, стає актуальним питання про перехід від централізованого тепlopостачання до автономного.

Стабільність роботи системи автономного тепlopостачання забезпечує комфортні умови для учнів та викладачів, які впродовж робочого дня знаходяться в будівлі коледжу, збільшує їх працездатність і зменшує ризик захворювань через переохолодження.

Затрати енергоресурсів на виробництво тепла сучасними автономними котельнями більш ніж на 10% менше, а з урахуванням майже відсутніх втрат

тепла при його транспортуванні і якісного регулювання параметрів в системі опалення загальна економія енергоресурсів складає 20...25% порівняно з централізованими системами теплопостачання.

Розглянемо декілька варіантів автономного теплопостачання з використанням газових котлів, електричних бойлерів, теплових насосів тощо.

1. Газові котли. Позитивним моментом у використанні газового котла для забезпечення теплопостачання будівлі навчального закладу є його економічність і плавне регулювання температури теплоносія, що подається, в порівнянні з ТЕЦ.

2. Електричні бойлери. На сьогодні на ринку України представлена величезна кількість електричних бойлерів, що дозволяє підібрати оптимальний варіант установки теплопостачання. Але їх основним недоліком є значна кількість споживаної електроенергії. Тарифи на електроенергію великі і прогнозується їх збільшення, тому застосування таких установок економічно недоцільно.

3. Теплові насоси. Технічна можливість і енергетична ефективність застосування теплових насосів в якості джерела теплопостачання вже давно доведена. Проте практичне використання потребує подальших розробок та дослідження діапазону продуктивності теплового насосу для автономного теплозабезпечення.

Після аналізу можливих варіантів джерел автономного теплопостачання модернізація систем теплопостачання будівлі коледжу передбачає повну заміну системи опалення та розробку газової котельні, яка буде використовуватись в якості автономного джерела теплопостачання.

На території коледжу є місце для розміщення котельної та димової труби та розглянуто питання трасування від магістральних трубопроводів. План розташування систем газо-, водопостачання та каналізації відносно будівлі коледжу та приміщення котельної наведений в графічній частині.

1.2. Плани об'єкту та ескізи приміщень

Будівля коледжу має чотири поверхи та підвал, кам'яна, Г-подібної форми, введена в експлуатацію у 1956 році.

Загальний об'єм будівлі	16020 м ³
Загальна площа будівлі	10000 м ²
Загальна площа приміщень	3800 м ²
Корисна площа приміщень	2780 м ²

Габаритні розміри (довжина х ширина х висота): 90х11х18,5м

Інженерне обладнання об'єкту:

Водопровідна лінія -	200 м
Каналізаційна лінія -	250 м
Центральне опалення -	1215 м
Лінія електроосвітлення -	2120 м

Будівля коледжу опалюється від ТЕЦ.

На рис. 1.1-1.5 приведений план будівлі коледжу по поверхам.

У зв'язку зі значними тепловтратами було проведене утеплення фасадних стін будівлі та замінені дерев'яні вікна сучасними метало-пластиковими.

Був проведений перерахунок теплових втрат приміщень з урахуванням прийнятих заходів, в ході якого виявилось, що цього недостатньо для підтримання необхідної температури повітря у приміщеннях протягом опалювального періоду. Для компенсації усіх тепловтрат проектується газова водогрійна котельня, яка повинна в повній мірі забезпечити теплом усі приміщення коледжу.

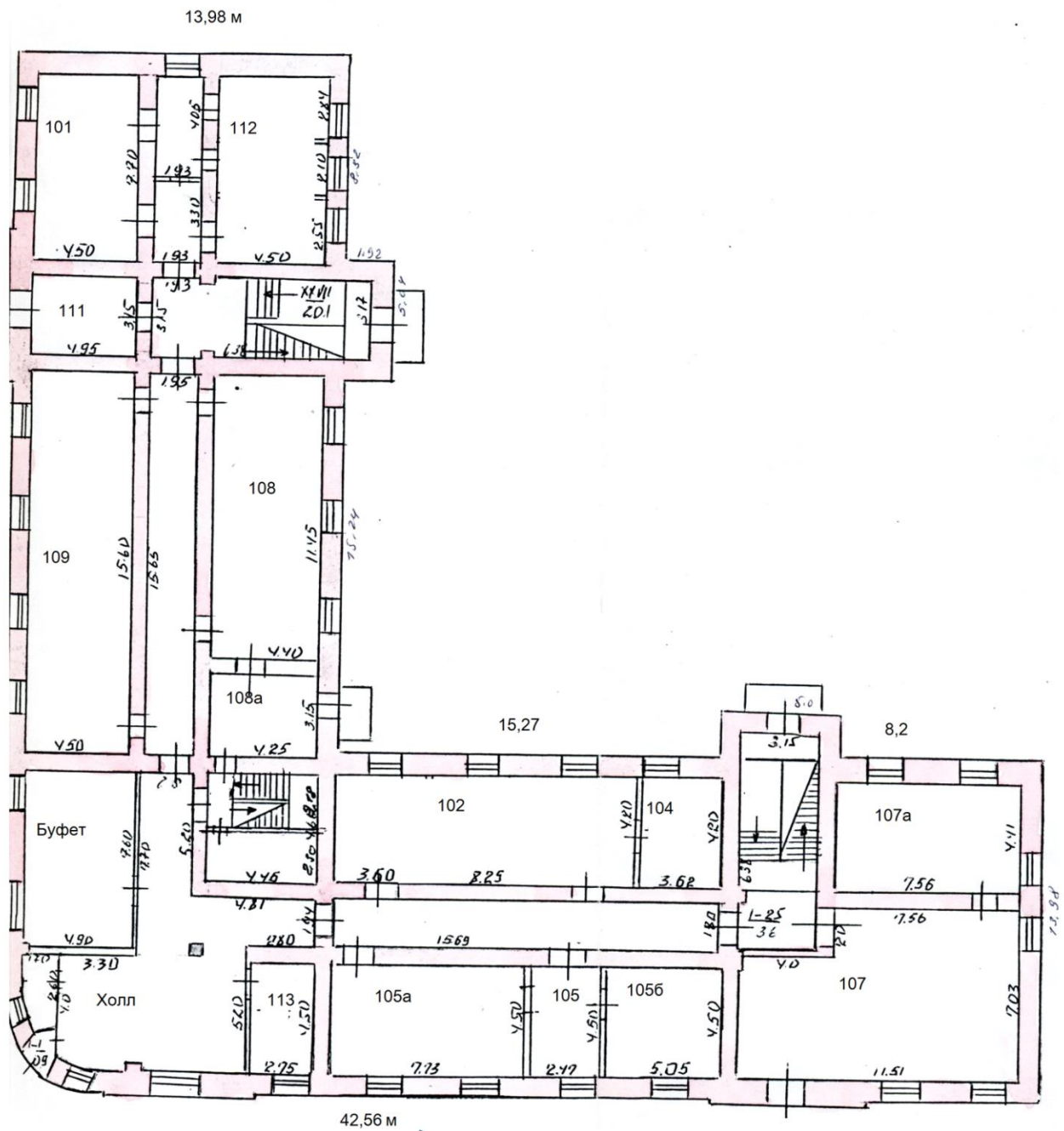


Рис. 1.1. План 1-го поверху будівлі коледжу

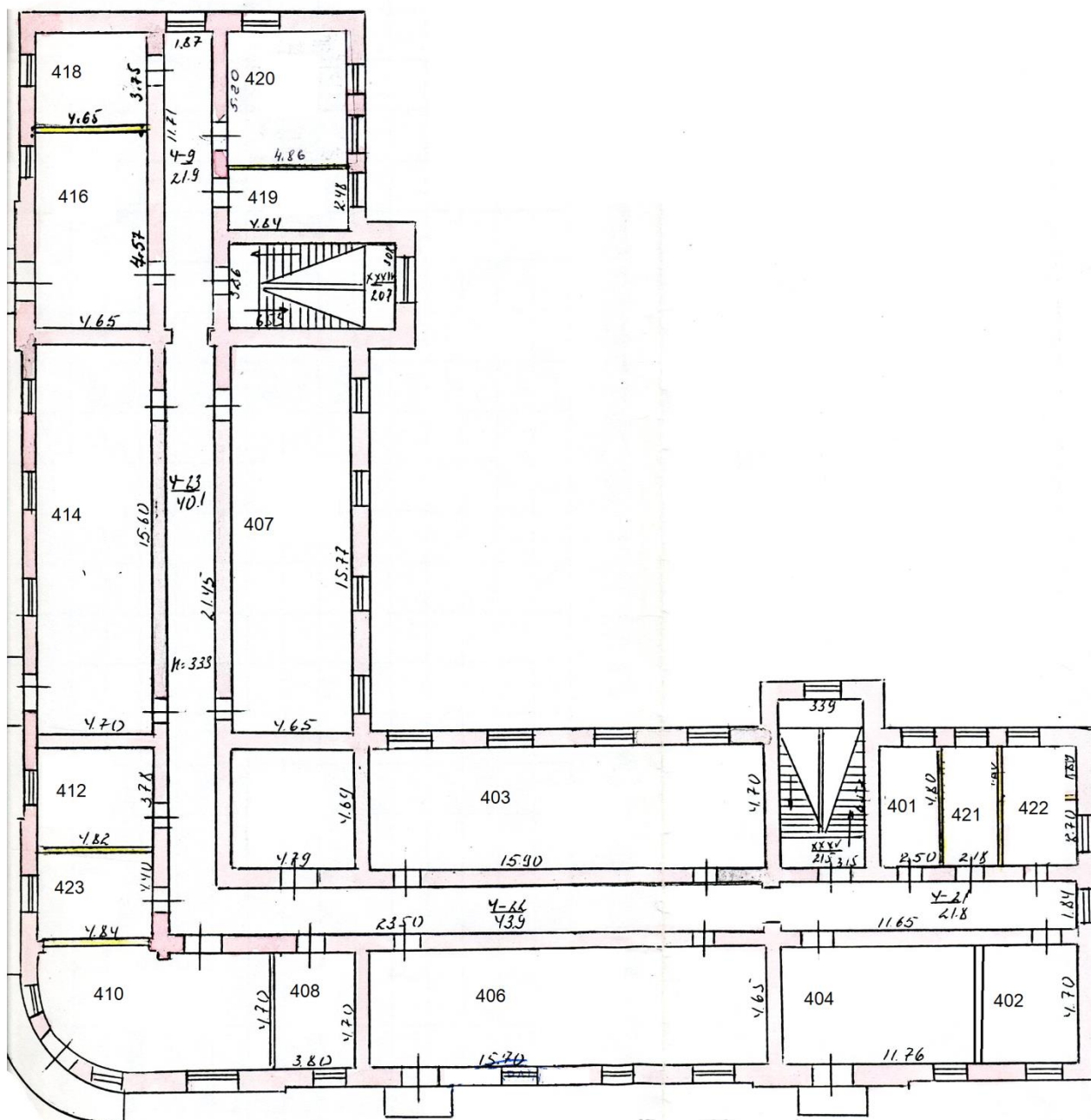


Рис. 1.4. План 4-го поверху будівлі коледжу

Район відноситься до кліматичного підрайону ШБ;

Зимова розрахункова температура зовнішнього повітря -19°C;

Тривалість опалювального періоду 167 діб.

Нормативна снігове навантаження - 0,5 кПа; нормативна вітрове навантаження - 0,38 кПа; глибина промерзання ґрунту - 0,8 м.

Котельня працює в автоматичному режимі без постійної присутності обслуговуючого персоналу з висновком дублюючої сигналізації порушень режиму роботи на пост постійної присутності обслуговуючого персоналу. Періодичний контроль за роботою обладнання здійснюється експлуатуючою організацією в установленому порядку.

Магістральні мережі газопостачання. Водопостачання та каналізації

Для газопостачання котельні запроектований газопровід середнього тиску.

Водопостачання котельні передбачається від існуючого магістрального трубопроводу.

Для прийому аварійних розливів, для скидання води при регенерації хімводоочистки в підлозі котельні запроектовано два трапа. Вода відводиться в існуючий колодязь побутової каналізації.

Внутрішньобудинкові системи опалення замінені на сучасні.

Відвід продуктів згоряння від модулів передбачається по збірному газоході.

В котельній мусить бути виконана постійно діюча припливно-витяжна вентиляція. Приміщення котельні повинно мати природне штучне освітлення у відповідності з нормативними вимогами.

Основні технічні рішення по системам, що розробляються (обладнання, схеми, гідравлічні режими), прийняті по умовам раціонального використання енергоресурсів.

Наступним етапом є розробка системи опалення будівлі з використанням нових високоефективних сучасних зразків обладнання.

Висновки за розділом:

Проведено аналіз об'єкта та обґрунтовано необхідність переходу від централізованого до автономного теплопостачання. Це дозволить уникнути значних втрат у мережах (до 20-25%) та забезпечити стабільний температурний режим у приміщеннях коледжу.

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА СИСТЕМИ ВОДЯНОГО ОПАЛЕННЯ

2.1. Вибір початкових розрахункових параметрів, режимів роботи

Для теплозабезпечення приміщень будівлі коледжу протягом опалювального періоду року використовується котельня. Вся потужність системи теплопостачання розрахована тільки на опалення приміщень та на власні потреби котельні, оскільки система гарячого водопостачання в будівлі коледжу не передбачена. Котельня забезпечена новим сучасним обладнанням для якісної та безпечної роботи в процесі її експлуатації.

Розрахункова температура і відносна вологість зовнішнього повітря приймаються згідно ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 Будівельна кліматологія.

Дані для міста Миколаїв в зимовий час [8]:

- температура зовнішнього повітря $t_{\text{зп}} = -19^{\circ}\text{C}$;
- відносна вологість зовнішнього повітря $\varphi_{\text{нв}} = 80\%$;
- температура ґрунту $t_{\text{гр}} = 8,5^{\circ}\text{C}$;
- температура води, що йде з системи опалення $t_{\text{зв}} = 70^{\circ}\text{C}$;

Параметри повітря в приміщеннях приймаються:

- температура повітря в приміщеннях $t_{\text{вн}} = 22^{\circ}\text{C}$;
- відносна вологість повітря в приміщеннях $\varphi_{\text{нв}} = 40 \dots 60\%$;
- температура в коридорах $t_{\text{кор}} = 0,8 \cdot t_{\text{вн}} = 0,8 \cdot 22 = 18^{\circ}\text{C}$

На основі цих параметрів виконується розрахунок теплового навантаження на систему опалення.

В якості теплоносія в системі опалення приймаємо воду, оскільки вода має високу теплоємність, що дає можливість передавати велику кількість теплоти малими об'ємами цього теплоносія.

Температура води в лінії подачі – 95°C , у зворотній лінії 70°C , температура теплоносія на виході з котла - 105°C .

2.2. Визначення теплових втрат через огороження приміщень та на підігрів інфільтраційного повітря і матеріалу

Розрахунок теплопередач конструкцій огорож приміщень

Розрахунок коефіцієнта теплопередачі зовнішньої стіни

Конструкція зовнішньої стіни будівлі типова (рис. 2.1): штукатурка цементна $\delta=20$ мм; залізобетон $\delta=100$ мм; бутова кладка $\delta=700$ мм; штукатурка цементна $\delta=20$ мм.

Коефіцієнти тепловіддачі і відповідні термічні опори [2]:

- для зовнішньої поверхні $\alpha_n = 23,3$ Вт/(м²·К); $1/\alpha_n = 0,043$ (м²·К)/Вт;
- для внутрішньої поверхні (циркуляція повітря в приміщенні природна) $\alpha_{вн} = 8$ Вт/(м²·К), $1/\alpha_{вн} = 0,125$ (м²·К)/Вт.

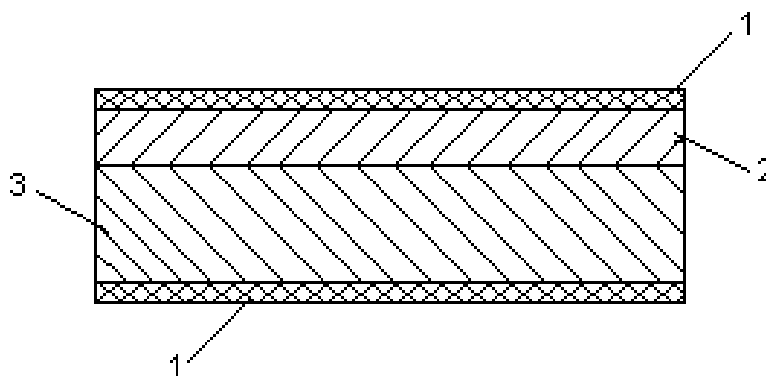


Рис. 2.1. Конструкція зовнішньої стіни

1 - штукатурка цементна; 2 - залізобетон; 3- бутова кладка

Коефіцієнти теплопровідності матеріалів [2]:

- штукатурка цементна $\lambda_1=0,88$ Вт/(м·К);
- залізобетон $\lambda_2=1,5$ Вт/(м·К);
- кладка бутова $\lambda_3=1,2$ Вт/(м·К).

Розраховуємо коефіцієнт теплопередачі зовнішньої стіни:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\text{н}}} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{\text{вн}}}}, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}),$$

де k – коефіцієнт теплопередачі, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$;

$\alpha_{\text{н}}, \alpha_{\text{вн}}$ – коефіцієнти тепловіддачі від повітря до зовнішньої поверхні і від внутрішньої поверхні до повітря в приміщенні $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$;

δ_i – товщина шарів матеріалів, складових огорожувальної конструкції, м;

λ_i – коефіцієнт теплопровідності будівельних матеріалів, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$.

Тоді коефіцієнт теплопередачі зовнішньої стіни складає:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\text{н}}} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{\text{вн}}}} = \frac{1}{0,043 + \frac{0,02 + 0,02}{0,88} + \frac{0,1}{1,5} + \frac{0,7}{1,3} + 0,125} = 1,25 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Розрахунок коефіцієнта теплопередачі через стелю

Стеля складається із залізобетонної стіни завтовшки 500 мм і штукатурки цементній по обох сторонах 20 мм. Знаючи коефіцієнти теплопровідності конструкційних елементів, розраховуємо коефіцієнт теплопередачі:

$$k_{\text{пот}} = \frac{1}{0,125 + \frac{2 \cdot 0,02}{0,88} + \frac{0,5}{1,5} + 0,125} = 1,59 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Розрахунок теплових втрат будівлі

Розрахунок теплових втрат через огороження проводиться для кожного приміщення з урахуванням розташування в будівлі та розмірів.

Для прикладу приведені розрахунки тепловтрат та теплопритоків навчального приміщення № 407, що знаходиться на 4-му поверсі на західній стороні будівлі.

Розміри приміщення № 407: довжина - 15,77 м; ширина - 4,65 м; висота - 3,30 м.

Кількість вікон – 4, їх розміри: довжина - 1,8 м, ширина -1,40 м.

Розраховуємо тепловтрати і теплопритоки в приміщенні № 407.

Теплоту, що поступає в приміщення або йде з його, підраховують за формулою:

$$Q=Q_{\text{огор}}+Q_{\text{інф}}-Q_{\text{л}}-Q_{\text{осв}}, \text{ Вт},$$

де $Q_{\text{огор}}$ - тепловтрати через огорожувальні конструкції;

$Q_{\text{л}}$ – тепловиділення від людей;

$Q_{\text{осв}}$ – тепловиділення від освітлювальних приладів;

$Q_{\text{інф}}$ – тепловтрати від інфільтрації зовнішнього повітря.

Тепловтрати через огорожі виникають у наслідок наявності різниці температур і складаються з:

$$Q_{\text{огор}}=Q_{\text{нс}}+Q_{\text{ок}}+Q_{\text{лс}}+Q_{\text{пс}}+Q_{\text{ст}}+Q_{\text{пл}}, \text{ Вт},$$

де $Q_{\text{нс}}$ – тепловтрати від зовнішньої стіни;

$Q_{\text{но}}$ - тепловтрати через вікна;

$Q_{\text{лс}}$ – тепловтрати від лівої стіни; $Q_{\text{лс}}=0$, тому що температура за стіною рівна температурі в приміщенні;

$Q_{\text{пс}}$ – тепловтрати від правої стіни; $Q_{\text{пс}}=0$;

$Q_{\text{пот}}$ - тепловтрати через стелю.

Знаючи коефіцієнти теплопередачі огорож, визначаємо тепловтрати через зовнішню стіну за формулою:

$$Q_{\text{огор}}=k_{\text{нс}} \cdot F_{\text{нс}} \cdot n \cdot (t_{\text{в}}-t_{\text{зов}}) \cdot (1+\sum \beta), \text{ Вт},$$

де $F_{\text{нс}}$ – площа зовнішньої стіни без урахування вікон, м²;

$k_{\text{нс}}$ – коефіцієнт теплопередачі через зовнішню стіну;

n – коефіцієнт, що враховує положення зовнішньої стіни огорожувальної конструкції по відношенню до зовнішнього повітря;

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

$t_{\text{н}}$ – температура зовнішнього повітря, °С;

$\sum \beta$ – додаткові втрати теплоти: $\sum \beta = \beta_1 + \beta_2 + \beta_3 + \beta_4$

$$Q_{огор} = 1,25 \cdot 41,96 \cdot 1 \cdot (22 - (-19)) \cdot 1,15 = 2473,08 \text{ Вт}$$

Тепловтрати через вікна: $Q_{но} = k_{но} F_{но} (t_{н} - t_{вн}), \text{ Вт},$

де $k_{но}$ - коефіцієнт теплопередачі через вікно: $k_{но} = 3,20 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ [4,];

$F_{но}$ – площа вікна, м^2 .

$$Q_{но} = 3,20 \cdot (1,8 \cdot 1,4) \cdot (22 - (-19)) = 1520,87, \text{ Вт}.$$

Тепловтрати через стелю:

$$Q_{пот} = k_{пот} \cdot F_{пот} \cdot (t_{н} - t_{вн}), \text{ Вт},$$

де $k_{пот}$ – коефіцієнт теплопередачі через стелю, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$;

$F_{пот}$ – площа стелі, м^2 ;

$$Q_{пот} = 1,59 \cdot 16,77 \cdot 4,65 \cdot (22 - (-19)) = 4780,42 \text{ Вт};$$

Таким чином:

$$Q_{огор} = 2473,08 + 1520,87 + 4780,42 = 8774,36 \text{ Вт}.$$

Кількість теплоти, що виділяється людьми, підраховують за формулою:

$$Q_{л} = q_{л} \cdot n = 20 \cdot 30 = 1000 \text{ Вт},$$

де n - число людей;

$q_{л}$ – тепловиділення однієї людини; $q_{л} = 50 \text{ Вт}/\text{чол.}$, [17].

Тепловиділення від електричного освітлення визначають за формулою:

$$Q_{осв} = N_{осв} \cdot 0,6 \cdot n_{осв}, \text{ Вт},$$

де $N_{осв}$ – встановлена потужність одного світильника, $N_{осв} = 75 \text{ Вт}$;

n – кількість світильників, $n = 8$ штук.

$$Q_{осв} = 75 \cdot 0,6 \cdot 8 = 360 \text{ Вт}.$$

Тепловтрати від інфільтрації через вікна розраховують за формулою:

$$Q_{инф} = q_{дв} \cdot n \cdot \rho \cdot c_p \cdot (t_{кр} - t_{вн}) \cdot k, \text{ Вт},$$

де $q_{дв}$ – кількість повітря, проникаючого через одні двері, $q_{дв} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$, [17];

ρ – щільність повітря ; $\rho=1,22 \text{ кг/м}^3$ [5];

c_p – теплоємність повітря при постійному тиску, $c_p=1,007 \cdot 10^3 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{K)}$;

n – кількість вікон.

$$Q_{\text{інф}}=3 \cdot 10^{-3} \cdot 4 \cdot 1,22 \cdot 1,007 \cdot 10^3 \cdot (22+19)=132,25 \text{ Вт}$$

Сумарні тепловтрати навчального приміщення № 407 дорівнюють:

$$Q_{406}=8774,36+132,25-1000-360=7546,61 \text{ Вт}$$

В розрахунках теплових втрат не враховувались втрати теплоти через стіни суміжних приміщень, через стіну суміжну з коридором, оскільки втрати теплоти розраховуються через зовнішні огороження приміщень і внутрішніх, якщо теплоперепад температур у суміжних приміщеннях перевищує 5°C .

В розрахунках теплових витрат в навчальних приміщеннях на 2-му та 3-му поверхах не враховуються втрати теплоти через підлогу і стелю. На 1-му поверсі розраховуються теплові втрати через підлогу, оскільки 1-ий поверх розташований над підвалом.

Лабораторні приміщення в підвалі розміщені нижче рівня землі, тому при розрахунках теплових втрат в цих приміщеннях приймаємо температуру ґрунту $8,5^\circ\text{C}$.

Результати розрахунку теплових втрат інших приміщеннях наведені в таблиці 2.1.

В результаті розрахунків в кожному приміщенні будівлі навчального закладу отримали сумарні теплові витрати:

$$Q_{\text{ог}}=165\,388,92 \text{ Вт}$$

Крім теплових втрат через огорожувальні конструкції в приміщеннях необхідно враховувати інші тепловтрати:

- втрати через стінки котла та на власні потреби котельної (3%) –
 $Q_{\text{кот}}=4961,6 \text{ Вт}$;

- втрати при транспортуванні теплоносія від котельної до споживача (3%) – $Q_{\text{тр}} = 4961,6 \text{ Вт}$;
- не точності розрахунків (10%) – $Q_{\text{т}} = 16538 \text{ Вт}$.

Отже, сумарна потужність системи тепlopостачання будівлі складає:

$$Q_{\text{заг}} = Q_{\text{кот}} + Q_{\text{тр}} + Q_{\text{т}} + Q_{\text{ог}} = 191,15 \text{ кВт}.$$

2.3. Визначення питомої витрати теплоти на опалення

Питомі витрати теплоти на опалення визначається за формулою:

$$q = \frac{Q_{\text{с о}}}{V_{\text{зов}}(t_{\text{вн}} - t_{\text{н}}^{\text{б}})},$$

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

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

Для одного приміщення:

$$q = k_q \frac{Q_{\text{с о}}}{V_{\text{зов}}(t_{\text{вн}} - t_{\text{н}}^{\text{б}})},$$

де k_q – коефіцієнт що враховує місце розташування приміщення по поверхам та сторонам світу. Їх значення наведені у [17].

Розраховані питомі витрати теплоти на опалення будівлі порівнюють з питомою тепловою характеристикою по довідковим даним [17].

$$q = 1,6 \frac{191850,12}{16015(22 - (-19))} = 0,46, \text{ Вт/м}^3$$

Це значення порівнюється зі значенням $q_{\text{пит}}$ для адміністративних споруд $q_{\text{пит}} = 0,49$ за нормами, що задовольняє вимогам $q < q_{\text{пит}}$.

2.4. Вибір та обґрунтування типу системи опалення та опалювальних приладів

При розробці системи водяного опалення відповідно ДБН В 2.5-67:2013 необхідно забезпечити розрахункову температуру і рівномірний нагрів повітря в

приміщенні, гідравлічну і теплову стійкість, вибухо-пожежну безпеку і доступність для очищення та ремонту.

В будівлі коледжу запроєктована двотрубна, вертикальна, насосна система опалення з верхнім розташуванням та попутним рухом води. Параметри теплоносія в тепловій мережі 105-70°C, а системі опалення 95-70 °C і дані температури однакові для усіх приладів на стадії розрахунку. Тепловий пункт розташований на задньому подвір'ї навчального закладу, в спеціально відведеному окремому приміщенні. Опалювальні пристрої приєднуються до стояків у всіх приміщеннях, в коридорах, крім сходів. Видалення повітря із системи опалення здійснюється через автоматичні повітряні крани, що розташовані в приміщенні котельні.

Стояки прокладаються відкрито і розміщуються біля зовнішніх стін на відстані 35 мм від внутрішньої поверхні до осі труби при діаметрі не менше 32 мм та на відстані 150 мм від відкосу вікна. Довжина підведення до опалювальних пристроїв не перевищує 1,25...1,5 м, нахил підведення – 5...10 м по всій довжині (якщо довжина до 0,5 м допускається прокладка трубопроводу без нахилу).

Магістралі проходять в технічних приміщеннях над останнім поверхом та в підвалі будівлі з розділенням приміщень на дві фасадні частини. При розміщенні магістралей передбачають вільний доступ до них для огляду, ремонту і заміни, а також нахил (рекомендується 0,003) і компенсацію теплового подовження труб.

На підведенні до опалювальних пристроїв установлюють регулюючі клапани (тільки для експлуатаційного регулювання).

На сьогодні приміщення опалюються чавунними радіаторами. Дані опалювальні пристрої погано піддаються регулюванню з допомогою сучасної автоматики та мають велику теплову інерційність. В роботі передбачена заміна чавунних радіаторів на сучасні сталеві панельні радіатори. Матеріал: холоднокатана листова сталь товщиною 1,25 мм. Вони мають невелику теплову інерційність, що спрощує регулювання температури в приміщенні. Крім того, широкий модельний ряд дозволяє індивідуально підібрати оптимальний по параметрам панельний радіатор практично для кожного приміщення.

Опалювальні пристрої розміщені біля зовнішніх стін, переважно під вікнами в місцях доступних для огляду, ремонту і очищення. В приміщеннях радіатори розташовані в нішах, відстань від підлоги до низу прибору - 50 мм, від верху прибору до підвіконня – 50 мм, від прибору до поверхні штукатурки стіни - 25мм.

2.5. Розрахунок поверхні теплообміну опалювальних приладів

Тепловий розрахунок системи опалення полягає у визначенні площі поверхні опалювальних пристроїв. До розрахунку приступають після вибору типу радіаторів, місця установки, способу приєднання до труб, виду і параметрів теплоносія і температури повітря в приміщенні, що опалюється.

Тепловіддача опалювальних приладів в опалювальному приміщенні визначається формулою:

$$Q_{\text{пр}} = Q_{\text{со}} - 0,9Q_{\text{тр}}, \text{ Вт},$$

де $Q_{\text{тр}}$ – сумарна тепловіддача відкрито прокладених у межах приміщення стояків, підводів, до яких безпосередньо приєднаний прилад,

$$Q_{\text{тр}} = q_{\text{в}}l_{\text{в}} + q_{\text{г}}l_{\text{г}}, \text{ Вт},$$

де $q_{\text{в}}, q_{\text{г}}$ – тепловіддача 1 м вертикально та горизонтально прокладених труб;

$l_{\text{в}}, l_{\text{г}}$ – довжина вертикальних і горизонтальних теплопроводів в межах приміщення, м.

У подавальній частині системи, де $\Delta t = t_{\text{г}} - t_{\text{в}}$, вибираємо значення $d_{\text{зовн}}$, $q_{\text{в}}$ та $q_{\text{г}}$ для подавальної частини трубопроводу. Аналогічно значення $q_{\text{в}}$ та $q_{\text{г}}$ вибираємо для зворотної частини системи [17].

Вважаємо, що навантаження на всі прилади однакове, тоді

$$Q_{\text{пр}} = Q_{\Sigma\text{пр}}/n, \text{ Вт}$$

Розрахункова густина теплового потоку нагрівального приладу для умов, що відрізняються від стандартних, визначається формулою:

$$q_{\text{пр}} = q_{\text{ном}} \cdot \left(\frac{\Delta t_{\text{ср}}}{70} \right)^{1+n} \cdot \left(\frac{G_{\text{пр}}}{0,1} \right)^p c_{\text{пр}}$$

де $q_{\text{ном}}=785 \text{ Вт/м}^2$ – номінальна густина теплового потоку приладу при стандартних умовах;

$$n=0,3; \quad p=0,02; \quad c_{\text{пр}}=1,039$$

$$\Delta t_{\text{ср}} = (0,5(t_{\text{г}} + t_{\text{о}}) - t_{\text{в}})$$

Дійсна витрата води в нагрівальному приладі:

$$G_{\text{пр}} = \frac{Q_{\text{пр}}}{c(t_{\text{г}} - t_{\text{о}})} \text{ кг/с}$$

Розрахункова поверхня нагріву безпосередньо нагрівального приладу:

$$F_{\text{р}} = \frac{Q_{\text{пр}}}{q_{\text{пр}}} \beta_1 \beta_2, \text{ м}^2,$$

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

В табл. 2.1 наведені результати розрахунків поверхонь теплообміну для кожного навчального приміщення. На основі цих розрахунків були обрані розміри опалювальних приладів.

Аксонетрична схема системи опалення будівлі коледжу наведена в графічній частині.

2.6. Гідравлічний розрахунок системи опалення

Метою гідравлічного розрахунку є визначення діаметрів магістральних теплопроводів, стояків, віток, підводів при заданому тепловому навантаженні та розрахунковому тиску, встановленому у даній системі.

Системи водяного опалення складні та розгалужені. При русі рідини по трубах завжди мають місце втрати тиску на здолаття опорів двох видів:

- тертя у лінійних ділянках труб;
- тертя у місцевих опорах, до яких відносять трійники, відводи, вентиля, крани, опалювальні пристрої, котли і т. п.

Втрати тиску на здолаття тертя Δp_t на розрахунковій ділянці теплопроводу, тобто на ділянці з постійною витратою середовища та незмінним діаметром d_y , визначається за формулою:

$$\Delta p_t = \frac{\lambda}{d} \cdot \frac{w^2}{2} \rho l = Rl,$$

де λ – коефіцієнт гідравлічного тертя;

d – діаметр теплопроводу, м;

w – швидкість руху рідини у теплопроводі, м/с;

ρ – густина рухомої рідини, кг/м³; l – довжина ділянки, теплопроводу, м;

$R = \frac{\lambda}{d} p_d$ – питома втрата тиску, Па/м;

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

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

$$Z = \sum \zeta \cdot \frac{w^2}{2} \rho = \sum \zeta p_d,$$

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

Сума цих двох опорів мусить бути меншою, ніж розрахунковий циркуляційний тиск, встановлений для даної системи Δp_p .

Для гідравлічного розрахунку на кресленні представлена аксонометрична схема опалення з запірно-регулюючою арматурою. Усі стояки та розрахункові ділянки циркуляційних кілець пронумеровані. Також відмічені теплове навантаження та довжина кожної ділянки.

Вибираємо головне циркуляційне кільце (ГЦК), що проходить через нагрівальний прилад стояка 8, як найбільш навантажений, оскільки система опалювання виконана з попутним рухом води.

Розрахунковий циркуляційний тиск для ГЦК визначають за формулою:

$$\Delta p_p = \Delta p_{\text{нас}} + \Delta p_e = \frac{P_{\text{ел}}}{1,4(1+U)^2} + E (\Delta p_{e \text{ пр}} + \Delta p_{e \text{ тр}}), \text{ Па}$$

де $\Delta p_{\text{нас}}$, Δp_e – циркуляційний тиск, створений насосом чи елеватором, і природний тиск відповідно;

U – коефіцієнт змішування елеватора

$$U = \frac{t_1 - t_r}{t_r - t_o} = \frac{105 - 95}{95 - 70} = 0,4$$

E – коефіцієнт, для двотрубних систем приймається $E = 0,4$ [1];

$\Delta p_{e \text{ пр}}$ – тиск, що з'являється за рахунок охолодження води в нагрівальних приладах

$$\Delta p_{e \text{ пр}} = gh(\rho_o - \rho_r) = 9,81 \cdot 2 \cdot (977,81 - 961,22) = 311,76 \text{ Па},$$

де ρ_o , ρ_r – густина води при відповідних температурах, кг/м^3 ;

h – відстань від центра розрахункового приладу до центра елеватора теплового пункту, $h = 2$ м за схемою;

$\Delta p_{e \text{ тр}}$ – тиск, що з'являється при охолодженні води в теплопроводах. Він визначається за графіками [17], $\Delta p_{e \text{ тр}} = 125$ Па.

$$\Delta p_p = \frac{100000}{1,4(1 + 0,4)^2} + 0,4 \cdot (311,76 + 125) = 36670,7 \text{ Па}$$

Визначаємо примірну питому втрату тиску на тертя:

$$R_{\text{ср}} = \frac{(1 - k)\Delta p_p}{\sum l_i} = \frac{0,65 \cdot 36670,7}{182,5} = 130 \text{ Па/м},$$

де k – коефіцієнт, що враховує частку втрат тиску на місцеві опори від загальної величини розрахункового циркуляційного тиску $k = 0,35$ для систем з механічною (примусовою) циркуляцією;

$\sum l_i$ – загальна протяжність труб системи, м.

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

$$G_{\text{діл}} = \frac{3,6Q_{\text{діл}}}{c(t_r - t_o)} \beta_1 \beta_2, \text{ кг/год.},$$

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

$c = 4,19$ кДж/(кг·°C) – теплоємність води;

$\beta_1 = 1,02$ і $\beta_2 = 1,02$ – коефіцієнти врахування додаткових теплових потоків від округлення та розрахункових величин і від способу установки нагрівальних приладів відповідно [17].

Результати розрахунків по всіх ділянках записуємо у табл. 2.2 за прийнятою формою.

Висновки за розділом:

Виконано розрахунок теплових втрат будівлі, які з урахуванням інфільтрації та власних потреб склали 191,15 кВт. Запроєктовано двотрубну вертикальну насосну систему опалення з використанням сучасних сталевих панельних радіаторів, що мають малу інерційність та високу ефективність регулювання.

Розрахунок теплових втрат та поверхонь теплообміну радіаторів

Прим.	Q _{co}	t _в	lg1	lv1	lg2	lv2	Q _{tr}	Q _{opr}	N pr	Q _{pr}	G _{pr}	q _{pr}	F	Радіатор
101	2164,32	22	2	3,3	2	3,3	667,8	1496,52	2	748,26	25,7	843,04	0,94	300-600
102	2271,40	22	3,6	6,6	3,6	6,6	1285,2	986,20	3	328,73	11,309	815,76	0,42	300-500
104	812,40	22	0,4	0	0,4	0	50,4	762,00	1	762,00	26,206	843,66	0,95	300-600
105	657,01	22	0,4	0	0,4	0	50,4	606,61	1	606,61	20,86	835,99	0,77	300-500
105а	1277,35	22	2	3,3	2	3,6	682,2	595,15	2	297,57	10,23	812,51	0,39	300-400
105б	763,33	22	1,6	3,3	1,6	3,3	617,4	145,93	1	145,93	5,018	789,68	0,195	300-400
107	7987,89	22	2,65	6,6	2,65	6,6	1165,5	6822,39	4	1705,60	58,6	871,29	2,07	500-900
107а	3359,04	22	2,8	6,6	2,8	6,6	1184,4	2174,64	3	724,88	24,93	841,97	0,91	300-600
108	2606,17	22	3,2	6,6	3,2	6,6	1234,8	1371,37	3	457,12	15,72	826,59	0,58	300-700
108а	805,90	22	0,6	0	0,6	0	75,6	730,30	1	730,3	25,11	842,22	0,91	300-600
109	3831,58	22	4	6,6	4	6,6	1335,6	2495,98	4	623,99	21,46	836,94	0,79	300-500
111	884,07	22	0,25	3,3	0,25	3,3	447,3	436,77	1	436,77	15,02	825,08	0,56	300-400
112	3042,50	22	1,05	6,6	1,05	6,6	963,9	2078,6	3	692,86	23,82	840,45	0,87	300-500
Буфет	1426,7	20	2,6	3,3	2,6	3,3	775,5	651,20	2	325,6	11,19	873,76	0,39	300-500
113	598,60	20	1	0	1	0	132,0	466,60	1	466,6	16,047	886,43	0,55	300-400
Холл	1385,02	16	2	3,3	2	3,3	752,6	632,42	2	316,21	10,87	916,65	0,36	300-500
200	640,25	22	0,8	0	0,8	0	100,8	539,45	1	539,45	18,55	832,08	0,68	300-800
200а	1689,61	22	0,8	3,3	0,8	3,3	516,6	1173,01	2	586,50	20,17	834,87	0,74	300-500
201	2662,03	22	2,25	6,6	2,25	6,6	1115,1	1546,93	3	515,64	17,73	830,58	0,65	300-500
202	975,90	22	2	3,3	2	3,3	667,8	308,10	2	154,05	5,29	791,3	0,20	300-400
203	1062,93	22	2	3,3	2	3,3	667,8	395,13	2	197,56	6,79	799,31	0,26	300-400
204	958,11	22	2	3,3	2	3,3	667,8	290,31	2	145,15	4,99	789,51	0,19	300-400
205	1004,35	22	2	3,3	2	3,3	667,8	336,55	2	168,27	5,78	794,20	0,22	300-400
206	2340,22	22	2,25	6,6	2,25	6,6	1115,1	1225,12	3	408,37	14,04	822,87	0,52	300-400
208	738,61	22	1	3,3	1	3,3	541,8	196,81	1	196,81	6,76	799,19	0,26	300-400

Прим.	Qco	t _в	lg1	lv1	lg2	lv2	Qtr	Qopr	N pr	Qpr	Gpr	qpr	F	Радіатор
208а	749,38	22	0,8	0	0,8	0	100,8	648,58	1	648,58	22,30	838,2	0,82	300-500
209	2591,17	22	4	6,6	4	6,6	1335,6	1255,57	4	313,89	10,795	814,25	0,41	300-500
210	2887,59	22	4	6,6	4	6,6	1335,6	1551,99	4	387,99	13,344	821,181	0,50	300-600
211	452,42	22	0,25	3,3	0,25	3,3	447,3	5,12	1	5,12	0,176	690,653	0,008	300-400
212	3234,92	22	3,1	6,6	3,1	6,6	1222,2	2012,72	3	670,90	23,073	839,375	0,85	300-600
Туалет М	1515,69	18	1,8	3,3	1,8	3,3	673,2	842,49	3	280,83	9,658	878,20	0,34	300-400
Коридор 1	412,14	18	0,4	0	0,4	0	52,8	359,34	1	359,34	12,358	886,90	0,42	300-500
Коридор 2	408,79	18	0,4	0	0,4	0	52,8	355,99	1	355,99	12,243	886,57	0,425	300-500
300	1892,89	22	1	3,3	1	3,3	541,8	1351,09	1	1351,09	46,466	863,210	1,65	500-700
301	597,38	22	0,8	0	0,8	0	100,8	496,58	1	496,58	17,078	829,33	0,63	300-400
302	1366,92	22	0,8	3,3	0,8	3,3	516,6	850,32	2	425,16	14,622	824,19	0,54	300-400
303	2252,58	22	4	6,6	4	6,6	1335,6	916,98	4	229,25	7,884	804,08	0,302	300-400
304	760,46	22	0,4	0	0,4	0	50,4	710,06	1	710,06	24,42	841,28	0,89	300-600
306	700,23	22	1,4	3,3	1,4	3,3	592,2	108,03	1	108,03	3,715	780,245	0,15	300-400
307	723,56	22	0,6	0	0,6	0	75,6	647,96	1	647,96	22,284	838,207	0,81	300-500
308	1451,51	22	2	3,3	2	3,3	667,8	783,71	2	391,855	13,476	821,513	0,50	300-600
309	2114,3	22	3,2	6,6	3,2	6,6	1234,8	879,5	3	293,16	10,082	812,033	0,38	300-400
310	732,79	22	1,8	0	1,8	0	226,8	505,99	1	505,99	17,402	829,956	0,64	300-400
311	566,83	22	0,25	3,3	0,25	3,3	447,3	119,53	1	119,53	4,110	783,409	0,16	300-400
312	3034,51	22	3,25	3,3	3,25	3,3	825,3	2209,21	4	552,30	18,994	832,868	0,70	300-400
314	730,93	22	1	3,3	1	3,3	541,8	189,13	1	189,13	6,504	797,921	0,25	300-400
316	2560,92	22	4	6,6	4	6,6	1335,6	1225,32	4	306,33	10,535	813,461	0,40	300-500
318	2785,1	22	3,1	6,6	3,1	6,6	1222,2	1562,9	3	520,96	17,917	830,925	0,66	300-400
319	1802,68	22	0,8	3,3	0,8	3,3	516,6	1286,08	2	643,04	22,115	837,951	0,81	300-500
Туалет Ж	2130,21	18	1,8	3,3	1,8	3,3	695,4	1434,81	3	478,27	16,448	897,106	0,56	300-400

Прим.	Qco	tв	lg1	lv1	lg2	lv2	Qtr	Qopr	N pr	Qpr	Gpr	qpr	F	Радіатор
Коридор 1	449,7	18	0,4	0	0,4	0	54,8	394,9	1	394,9	13,581	890,26	0,47	300-600
Коридор 2	435,66	18	0,4	0	0,4	0	54,8	380,86	1	380,86	13,098	888,97	0,45	300-600
401	1343,27	22	0,8	0	0,8	0	100,8	1242,47	1	1242,47	42,731	860,32	1,530	500-700
402	6744,15	22	2,3	6,6	2,3	6,6	1121,4	5622,75	3	1874,25	64,459	874,58	2,2	500-1000
403	8298,13	22	4	6,6	4	6,6	1335,6	6962,53	4	1740,63	59,86	872,00	2,115	500-900
404	2089,85	22	0,95	3,3	0,95	3,3	535,5	1554,35	1	1554,35	53,45	868,06	1,89	500-800
406	5218,87	22	2,86	3,3	2,86	3,3	776,16	4442,71	4	1110,67	38,198	856,47	1,37	500-600
407	7546,61	22	4,2	6,6	4,2	6,6	1360,8	6185,81	4	1546,45	53,185	867,88	1,88	500-800
408	1935,92	22	1,8	0	1,8	0	226,8	1709,12	1	1709,12	58,780	871,36	2,07	500-900
410	5386,06	22	1,8	9,9	1,8	9,9	1474,2	3911,86	3	1303,95	44,845	861,98	1,603	500-700
412	1955,64	22	1,4	3,3	1,4	3,3	592,2	1363,44	1	1363,44	46,891	863,52	1,67	500-700
414	6840,65	22	4	6,6	4	6,6	1335,6	5505,05	4	1376,26	47,332	863,85	1,68	500-700
416	2019,88	22	2,8	3,3	2,8	3,3	768,6	1251,28	2	625,64	21,51	837,03	0,792	500-400
418	2358,47	22	0,3	3,3	0,3	3,3	453,6	1904,87	1	1904,87	65,512	875,15	2,30	500-1000
419	1289,59	22	0,25	3,3	0,25	3,3	447,3	842,29	1	842,29	28,968	847,05	1,054	500-400
420	3513,36	22	1,8	6,6	1,8	6,6	1058,4	2454,96	3	818,32	28,143	846,07	1,025	500-400
421	1225,9	22	0,8	0	0,8	0	100,8	1125,1	1	1125,1	38,69	856,91	1,39	500-600
422	2580,54	22	1,2	6,6	1,2	6,6	982,8	1597,74	2	798,87	27,474	845,25	1,001	500-400
423	2271,54	22	0,8	3,3	0,8	3,3	516,6	1754,94	1	1754,94	60,35	872,28	2,132	500-1000
Коридор 1	4231,77	18	0,4	3,3	0,4	3,3	503,6	3728,17	1	3728,17	128,219	973,90	4,057	500-500
Коридор 2	4410,19	18	0,4	3,3	0,4	3,3	503,6	3906,59	1	3906,59	134,35	975,70	4,243	500-500
Лаб. 1	711,29	20	4	2	4	2	790,0	-78,71						
Лаб. 2	705,7	20	5,4	2	5,4	2	974,8	-269,1						
Лаб. 3	472,75	20	6	2	6	2	1054	-581,25						
Лаб. 4	120,55	20	3	2	3	2	658,0	-537,45						

Продовження табл. 2.1

Прим.	Q _{co}	t _в	lg1	lv1	lg2	lv2	Q _{tr}	Q _{opr}	N pr	Q _{pr}	G _{pr}	q _{pr}	F	Радіатор
Лаб. 5	478,1	20	6	2	6	2	1054	-575,9						
Лаб. 6	51,11	20	2,6	2	2,6	2	605,2	-554,09						
Лаб. 7	36,36	20	2,2	2	2,2	2	552,4	-516,04						
Лаб. 8	3259,84	20	16	6	16	6	2898	361,84						
Лаб. 9	532,24	20	6	2	6	2	1054	-521,76						
Лаб. 10	567,31	20	6	2	6	2	1054	-486,69						

Таблиця 2.2

Гідравлічний розрахунок системи опалення

№ ділянки	$Q_{\text{діл}}, \text{Вт}$	$l_{\text{діл}}, \text{м}$	$G_{\text{діл}}, \text{кг/год.}$	$d, \text{мм}$	$w, \text{м/с}$	$R, \text{Па/м}$	$Rl, \text{Па}$	$\Sigma \xi$	$Z, \text{Па}$	$(Rl + Z), \text{Па}$
Головне циркуляційне кільце (через нижній прилад стояка 8) Розрахунковий циркуляційний тиск $\Delta p = 36670,7 \text{ Па}$										
1	3498	9,5	127	15	0,186	50	475	3,7	64	539
2	9106	7,2	351	25	0,161	20	144	1	13	157
3	14428	7	525	25	0,255	48	336	1	32,5	368,5
4	19750	6,6	718	25	0,348	90	594	1	60,6	654,6
5	25248	4,6	918	25	0,445	144	662	1	99	761
6	27559	4,8	1002	25	0,486	171	820	2,1	248	1068
7	32837	5	1194	25	0,849	238	619	1	360,4	1550,4
8	36022	1,6	1310	25	0,635	292	1190	11	2217,7	2987
9	59319	11	2157	50	0,273	21	231	6,2	231	462
10	103258	15	3755	50	0,475	63	945	20	2256,3	3201,3
11	103258	32,2	3755	50	0,475	63	2028,6	12	1353,8	3382,4
12	58319	9	2157	50	0,273	21	189	2	74,5	435,9
13	36022	1,6	1310	25	0,635	292	467	11,5	2318,5	2785,5
14	32837	2,6	1194	25	0,849	238	619	11	3964,4	5154,4
15	27559	4,8	1002	25	0,486	171	820	12,1	1429	2249
16	25248	4,6	918	25	0,445	144	662	11	1089	1751
17	19750	6,6	718	25	0,348	90	594	11	666	1260
18	14428	7	525	25	0,255	48	336	11	357,6	693,6
19	9106	7,2	351	25	0,161	20	144	11	142,6	286,6
20	3871	9,4	127	15	0,186	50	470	21,2	366,7	837,7
21	1616	3,8	58,8	15	0,187	10	38	10,8	40,9	78,9
22	1119	3,8	40,7	15	0,057	5	19	10,8	17,5	36,5
23	373	3,8	13,6	15	0,023	1	3,8	12,5	3,3	17,1

 $\Sigma 33707,4$

Запас тиску (нев'язка) $\Delta = \frac{\Delta p_p - (Rl + Z)}{\Delta p_p} = \frac{36670,7 - 33707,4}{36670,7} 100 = 8\%$, що допустимо.

Розрахунок напівкільця через стояк 4

Тиск, який мають, $\Delta p_{ст4} = \Delta p_{17} + \Delta p_{18} + \Delta p_{19} + \Delta p_{20} + \Delta p_{21} + \Delta p_{22} + \Delta p_{23} + \Delta p_1 + \Delta p_2 + \Delta p_3 + \Delta p_4$

№ ділянки	$Q_{д\text{іл}}, \text{Вг}$	$l_{д\text{іл}}, \text{м}$	$G_{д\text{іл}}, \text{кг/год.}$	$d, \text{мм}$	$w, \text{м/с}$	$R, \text{Па/м}$	$Rl, \text{Па}$	$\Sigma \xi$	$Z, \text{Па}$	$(Rl+Z), \text{Па}$
24	4876	6,4	177	15	0,26	94	602	20,6	696	1298.3
25	2299	5,8	83,6	15	0,124	24	139.2	20	153	292
26	1540	5,8	56	15	0,084	9	52,2	20	70,6	122,8
27	918	5,8	34	15	0,048	3,8	22	20	23	55
28	4876	3,5	177	15	0,26	94	329	2,1	71	400

 $\Sigma 2168$

Запас тиску (нев'язка) $\Delta = \frac{\Delta p_p - (Rl + Z)}{\Delta p_p} = \frac{1859,7 - 2168}{1859,7} 100 = -16,5\%$, що не є допустимим.

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА КОТЕЛЬНОЇ

3.1. Розробка і опис теплової схеми котельні

Принципова тепла схема характеризує основний технологічний процес перетворення енергії та використання в установці теплоти робочого тіла. Вона являє собою графічне зображення основного і допоміжного обладнання, об'єднаного лініями трубопроводів робочого тіла у відповідності з послідовністю його руху в установці.

Основною метою теплового розрахунку котельні є:

- визначення теплових навантажень на опалення на різних режимах роботи;
- вибір допоміжного обладнання, визначення діаметрів трубопроводів та арматури;
- визначення вихідних даних для подальших техніко-економічних розрахунків.

Після розробки принципіальної теплової схеми котельні та її розрахунку обирається відповідне обладнання.

Теплова схема котельні наведена у графічній частині.

3.2. Розрахунок теплових навантажень котельні, вибір типів і кількості котлів

Розрахунок теплових навантажень котельні проводиться на основі принципіальної теплової схеми водогрійної опалювальної котельні для закритої системи тепlopостачання для чотирьох характерних режимів роботи:

- I – максимальний зимовий $t_{\max} = -19^{\circ}\text{C}$ [11];
- II – із середньою температурою найбільш холодного місяця $t_{\text{сер.х.м}} = -3,2^{\circ}\text{C}$;
- III – середня температура опалювального періоду $t_{\text{сер оп}} = -0,3^{\circ}\text{C}$;
- IV – температура зовнішнього повітря в точці зламу температурного графіка мережевої води $t_{\text{з.зл}} = -7,5^{\circ}\text{C}$;

Вихідні дані для розрахунку наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Дані для розрахунку теплових навантажень котельні

Найменування	Од. виміру	Позн.	Значення
Максимальна витрата теплоти на опалення	кВт	Q	196
Температура повітря в середині приміщень	°C	t _{вн}	22
Температура сирі води	°C	t _{с.в.}	5
Температура води на виході із котла	°C	t _{вих}	105
Температура води на вході в котел	°C	t _{вх}	65
Температура сирі води перед хімічною очисткою	°C	T ₃	25
Температура після вакуумного деаератора	°C	T'	70

На основі представлених даних проводимо розрахунок теплових навантажень котельні [5]. Результати проведених розрахунків заносимо до табл. 3.2.

Об'єм води в системі опалення:

$$V_{\text{заг}} = V_{\text{рад}} + V_{\text{тр}} + V_{\text{к}} + V_{\text{р.б}}, \text{ л},$$

де $V_{\text{рад}}$ - об'єм води в радіаторах, л;

$V_{\text{тр}}$ - об'єм води в трубопроводах, л;

$V_{\text{к}}$ - об'єм води в котлі, л;

$V_{\text{р.б}}$ - об'єм води в розширювальному баку, л.

$$V_{\text{заг}} = 584 + 869 + 50 + 300 = 1803 \text{ л}.$$

Визначення витрати газу при різних режимах за опалювальний період

Теплотворна здатність газу $H_{\text{г}} = 9,3 \text{ (кВт} \cdot \text{год)}/\text{м}^3$ [11].

ККД котла $\eta = 0,90$

Таблиця 3.2

Результати розрахунків теплової схеми котельні

Найменування параметрів	Розрахункова формула	Розрахункові режими			
		I	II	III	IV
Коефіцієнт зниження витрати теплоти на опалення залежно від температури зовнішнього повітря	$K_o = \frac{t_{вн} - t_{зов}}{t_{вн} - t_{р.о.}}$	1	0,61	0,55	0,71
Сумарний відпуск теплоти на опалення, МВт	$Q_o = Q \cdot K_o$	0,19 1	0,11 7	0,10 3	0,13 6
Температура води на потреби опалення на виході з котельної, °С	$t_1 = 22 + 64,5 \cdot K_o^{0,8} + 12,5 \cdot K_o$	105	75	70	80
Температура мережевої води після системи опалення, °С	$t_2 = t_1 - 25 \cdot K_o$	80	60	56	62
Розрахункова витрата мережевої води на опалення, кг/с.	$G_{вн} = \frac{Q_o \cdot 10^6}{c_p \cdot (t_1 - t_2)}$	1,80	1,86	1,75	1,80
Витрати води для підживлення на заповнення виток у тепловій мережі, кг/с	$G_{вит} = \frac{0,75}{100 \cdot 3600} \cdot Q_o \cdot q_{сист} \cdot K_{вит}$	0,02	0,01	0,01	0,02
Витрата поворотної мережевої води на вході в котельню, кг/с.	$G_{п.м} = G_{вн} - G_{вит}$	1,78	1,85	1,74	1,78
Витрата сирі води на хімводоочистку, кг/с	$G_{с.в} = 1,25 \cdot G_{вит}$	0,02 5	0,01 3	0,01 3	0,02 5
Витрата теплоти на підігрів сирі води, МВт	$Q_{с.в} = G_{с.в} \cdot c_v \cdot (T_3 - t_{с.в.}) \cdot 10^{-6}$	0,00 2	0,00 1	0,00 1	0,00 2
Сумарний відпуск теплоти водогрійними котлами, МВт	$Q_k^B = Q_o + Q_{с.в}$	0,19 6	0,12 0	0,10 6	0,14 1
Потрібна кількість працюючих модулів нагріву, шт.	$N_{к.п}^B = \frac{Q_k^B}{Q_{к.ном}}$	2	2	2	2
Завантаження водогрійних котлів, %	$K_{зав}^B = \frac{Q_k^B}{N_{к.п}^B \cdot Q_{к.ном}}$	98	60	53	71

Найменування параметрів	Розрахункова формула	Розрахункові режими			
		I	II	III	IV
Витрата води, що пропускається через всі водогрійні котли, кг/с	$G_{в.к\Gamma} = N_{кп}^в \cdot \frac{G_{к}^{ном}}{3,6}$	1,1	1,1	1,1	1,1
Витрата нагрівальної води на підігрів сирової води та на хімічно очищеної води, кг/с.	$G_{с.в}^{гр} = \frac{Q_{с.в} \cdot 10^6}{c_v \cdot (t_{вк1} - t_3)}$	0,2	0,2	0,2	0,2
Витрата води від котла в теплову мережу, кг/с	$G_{в.к}^м = G_{в.к\Gamma} - G_{с.в}^{гр}$	0,9	0,9	0,9	0,9
Дійсна витрата води на виході із котельні, кг/с	$G_{м}^д = G_{в.к}^м - G_{рец} + G_{пер}$	0,9	0,9	0,9	0,9
Нев'язка балансу, %	$\delta G_{м} = \frac{G_{м}^д - G_{м}}{G_{м}}$	0	0	0,1	0

Таблиця 3.3

Розрахунок витрат газу при різних режимах

Найменування параметру	Позначення	Значення			
		I	II	III	IV
Потужність номінальна системи опалення, кВт	Q_0	196	122	108	142
Розрахункова потужність системи опалення, кВт	Q	222	136	120	158
Витрата газу за 1 годину	м ³ /год.	23,89	14,6	12,9	15,3
Витрата газу за 1 добу	м ³	573,4	352,4	311,9	412,5
Витрата газу за опалювальний період	м ³	95757,8	58850	52087	68875

3.3. Підбір обладнання та його розташування в котельні

На сьогодні представлено багато виробників теплоенергетичного устаткування для котельнь. Його ефективне застосування вимагає урахування особливостей кожного конкретного випадку, тобто обґрунтованого вибору як схеми і параметрів роботи установки, так і складу елементів і апаратів.

При виборі обладнання для котельні керуємось критеріями: надійність та досягнення максимальної енергоефективності, тобто видачі робочих характеристик при мінімальних затратах енергоресурсів.

В якості теплогенераторів в котельні встановлюються модулі нагріву МН-100.

Модулі нагріву - проточні безінерційні газові апарати (водонагрівачі) конвекційного (атмосферного) типу в шафному виконанні, з модуляцією полум'я пальника.

Модуль МН-100 включає три окремих елемента (потужність одного елемента 40 кВт), які являють собою проточні газові водонагрівачі, у склад яких входять газові пальник з електронним розпалюванням, теплообмінники для нагріву теплоносія, циркуляційні насоси, запірні та регулююча арматура. Елементи розміщуються один під одним. Загальні газовий і водяний колектори проходять вдовж горизонтальної осі модуля. Характеристики модуля нагріву наведені в табл. 3.4 [18].

Таблиця 3.4

Основні характеристики модуля нагріву МН-100

Найменування параметру	Одиниця виміру	Значення
Номінальна теплова потужність, $\pm 10\%$	кВт	100
Номінально теплопродуктивність, $\pm 10\%$	кВт	90
Номінальний тиск газу	Па	1960
Максимальна витрата газу при $t=20^{\circ}\text{C}$, атм. тиску 760 мм рт. ст., $Q_{y\text{ hf}} = 8000\text{Ккал/м}^3$	м ³ /год.	8,8
ККД	%	90

Найменування параметру	Одиниця виміру	Значення
Робочий тиск теплоносія, не більше	МПа	0,6
Діапазон регулювання температури теплоносія на виході із модуля	°C	50-90
Температура продуктів згоряння на виході із модулів, не менше	°C	80
Електрична потужність	кВт	500
Габаритні розміри: - висота - ширина - глибина	мм	2200 711 500
Маса модуля	кг	170
Питома витрата газу	м³/МВт	119,5

На рис. 3.1 показана схема модулю нагріву МН-100 та його габаритні розміри.

Модуль-регулятор температури ФРД призначений для регулювання температури води в опалювальній системі в залежності від зовнішніх погодних умов.

Автоматична блокова водопідготовчої установки DHF-30/1/F з резервуаром DM-500 і насосом JP-5 - для автоматичного підживлення системи тепlopостачання, що забезпечує вихідну воду питної якості, залишкова жорсткість пом'якшеної води становить 0,1 мг-екв / л.

Циркуляційний насос 1ЦНСГ-40-44 забезпечує циркуляцію теплоносія в системі.

Для компенсації температурного розширення води в системі при її нагріванні встановлений мембранний розширювальний бак ємністю 300 л.

Шафовий газорегуляторний пункт ШГП 70-1Н з регулятором тиску R 70.

План розміщення обладнання в котельні показаний у графічній частині.

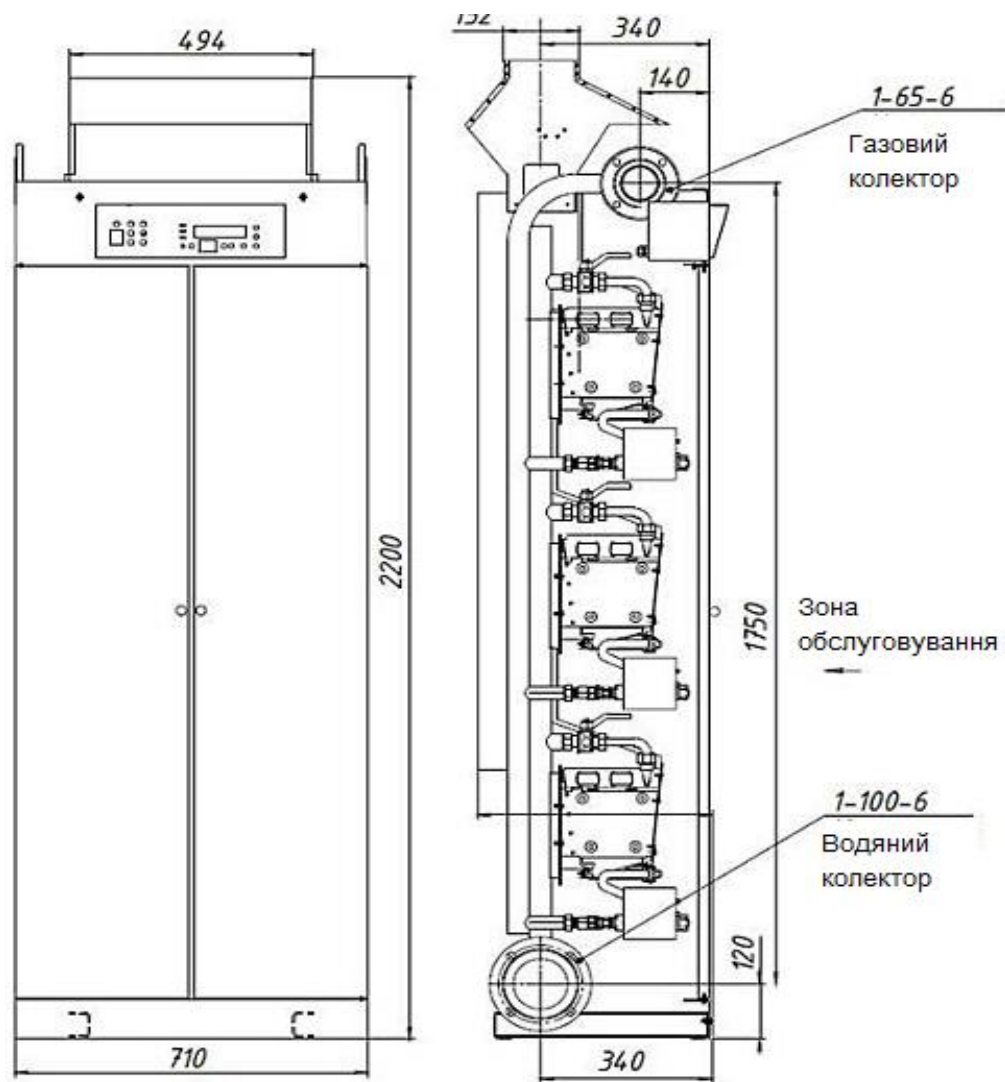


Рис. 3.1. Схема модуля нагріву МН-100

Котельня запроектована на внутрішньому підвір'ї університету з розмірами в плані 6,12 x 3,62, висотою 3,2 м, з виходом назовні. Виходячи з розрахунків теплових втрат будівлі, при виборі основного енергетичного обладнання було розглянуто декілька вітчизняних і зарубіжних зразків котлів.

Проаналізувавши характеристики даного обладнання, приймаємо економічне, надійне, автоматизоване модульне обладнання фірми СП «Укрінтерм» (Україна), що забезпечує не менше 20% економії енергоресурсів, дає можливість легко нарощувати потужність обладнання, змінювати можливості

санітарних модулів без суттєвої переробки інженерних мереж і самої котельної, зменшувати строк монтажу на об'єкті.

Будівля приміщення котельні відноситься до II ступеня вогнестійкості та за надійністю відпуску тепла до II категорії [5].

Температура зовнішньої поверхні модулів нагріву не перевищує 45°C. В котельній не передбачено спеціальних приладів для опалення, тому оптимальна температура в приміщенні підтримується за рахунок тепловиділень від обладнання, на рівні 5...10°C.

3.4. Вибір та розрахунок димової труби

У котельні з теплогенераторами на основі газових проточних водонагрівачів передбачаються індивідуальні газоходи для кожного модуля, що назовні під'єднуються до загальної димової труби. Коефіцієнт надлишку повітря на виході з модулю МН $\alpha=1,7...1,9$.

При об'єднанні димарів від модулів МН на один горизонтальний канал відведення допускається приєднувати до 5 модулів нагріву. Загальний димар розміщується безпосередньо біля модулів нагріву. Висота загального димаря визначається аеродинамічним розрахунком і розрахунком на розсіювання. Всі горизонтальні газоходи необхідно виконати з підйомом до загальної димової труби під кутом не менше трьох процентів. У місцях можливого скупчення конденсату передбачити пристрій для його відведення. Висота вертикальної ділянки газоходу від переривника тяги модуля до об'єднуючого горизонтального газоходу – 500 мм. Ділянку вертикального газоходу виконати, з пристроєм (шибер, пластина) для балансування тяги на кожному модулі і можливістю демонтажу при заміні модуля.

Розрахунок концентрації забруднюючої речовини (NO₂):

Витрата палива на 2 модулі нагріву $V=0,006 \text{ м}^3/\text{с}$.

Викид окисів азоту:

$$M_{\text{NO}_2}=0,034 \cdot \beta_1 \cdot k \cdot V \cdot Q_{\text{H}^P} \cdot \left(1 - \frac{q_4}{100}\right) \cdot (1 - \beta_2 \cdot r) \cdot \beta_3,$$

де β_1 - безрозмірний поправочний коефіцієнт, що враховує вплив на вихід оксидів азоту якості палива, що спалюється [12];

$\beta_2=0$ – коефіцієнт, що характеризує ефективність впливу рециркулюючих газів в залежності від умов їх подання в топку;

$r=0$ – ступінь рециркуляції інертних газів;

$\beta_3=1$ – коефіцієнт, що враховує конструкцію пальників;

k – коефіцієнт, що характеризує вихід оксидів азоту на 1т спаленого палива, кг/т.

$$k = \frac{2,5 \cdot Q_{\Phi}}{20 + Q_H} = \frac{2,5 \cdot 0,196}{20 + 0,2} = 0,024 \text{ кг/с},$$

де Q_{Φ} , Q_H – фактична і номінальна теплопродуктивність котла, МВт.

$$M_{NO_2} = 0,034 \cdot 0,85 \cdot 0,024 \cdot 0,006 \cdot 36,5 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 0,001 \text{ г/с}.$$

Об'єм продуктів згорання при нормальних умовах:

$$V = V_r \cdot l_0 \cdot \alpha = 23,89 \cdot 17,3 \cdot 1,7 = 702,6 \text{ м}^3/\text{с}.$$

де $\alpha = 1,7$ - коефіцієнт надлишку повітря;

V_r - витрата газу в модулі нагріву, $\text{м}^3/\text{с}$.

Розрахунок димової труби

Задаємося швидкістю руху газів на виході з труби: $w=25 \text{ м/с}$.

Діаметр труби визначається за формулою:

$$D_d = \sqrt{\frac{4 \cdot V_r}{\pi \cdot w}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 702,6}{3,14 \cdot 25}} = 0,5 \text{ м},$$

де V – об'єм димових газів, $\text{м}^3/\text{с}$.

Визначення попередньої мінімальної висоти, м:

$$H = \sqrt{A \cdot \frac{M_{SO_2} + \frac{ГДК_{SO_2}}{ГДК_{NO_2}} \cdot M_{NO_2}}{ГДК_{SO_2}}} \cdot \sqrt{\frac{Z}{V_r \cdot \Delta t}},$$

де A – коефіцієнт, який залежить від метеорологічних умов місцевості (для України – 160);

$ГДК_{SO_2}$, $ГДК_{NO_2}$ – гранично допустимі концентрації SO_2 та NO_2 [18];

Z – кількість труб однакової висоти у котельні;

Δt – різниця між температурою димових газів та середньою температурою повітря (середня температура найжаркішого місяця опівдні, °C);

$$H = \sqrt{160 \cdot \frac{0,05 \cdot 0,001}{0,05}} \cdot \sqrt{\frac{1}{702,6 \cdot 80}} = 21 \text{ м.}$$

Розраховуються коефіцієнти f і v_M :

$$f = 10^3 \frac{w_{\text{вих}}^2 D_{\text{д}}^7}{H^2 \Delta t} = 10^3 \frac{25^2 \cdot 0,5}{21^2 \cdot 80} = 8,85;$$

$$v_M = 0,65 \sqrt{\frac{V_{\text{г}} \Delta t}{H}} = 0,65 \cdot \sqrt{\frac{702,6 \cdot 80}{21}} = 33,6$$

Визначається коефіцієнт m у залежності від параметра f :

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{f} + 0,34\sqrt[3]{f}};$$

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{8,85} + 0,34\sqrt[3]{8,85}} = 0,625$$

Визначається коефіцієнт n у залежності від параметра v_M :

$$\text{– при } v_M \leq 3 \quad n=3;$$

$$\text{– при } 0,3 < v_M \leq 2 \quad n = 3 - \sqrt{(v_M - 0,3)(4,36 - v_M)}$$

$$\text{– при } v_M > 2 \quad n = 1;$$

Визначається мінімальна висота труби у другому наближенні

$$H_1 = H \sqrt{mn} = 21 \cdot \sqrt{0,625} = 19,9 \text{ м}$$

Різниця між H_1 і H складає 4,9 %, другий уточнюючий розрахунок не виконуємо.

Згідно ДБН В.2.5-77:2014 висота труби приймається зі стандартного ряду $H=22$ м.

3.5. Вибір типу установки для очищення котлової води

Підживлення системи теплопостачання проводиться з водопроводу через установку стабілізаційної обробки води. Присутність у господарсько-питній воді солей жорсткості викликає утворення відкладень малорозчинних солей (накипу)

на внутрішніх стінках трубопроводів теплових мереж, систем опалення і устаткування котельні, що призводить до погіршення теплообміну, а також зменшення терміну служби експлуатації обладнання. Для запобігання від цього господарсько-питна вода проходить обробку комплексним шляхом для забезпечення сталого водно-хімічного режиму водогрійних котлів. Якість води повинна відповідати вимогам до підживлювальної води для водогрійних котлів з температурою 105°C і запобігати утворенню накипу на поверхнях нагріву в котлах і теплообмінниках, відкладенню солей жорсткості на внутрішніх поверхнях стінок трубопроводів.

Вимоги до якості води

Нагрівальні модулі, а також всю опалювальну систему можна заповнювати тільки водою, яка при експлуатації не буде призводити до корозійних пошкоджень і відкладенням накипу. Тому необхідно застосовувати відповідні пристрої для поліпшення якості сирової води залежно від її складу. При цьому бажано уникати частой зміни води в системі, вчасно усувати всі витіки із системи, щоб якнайменше доводилося поповнювати систему додатковою водою.

Максимально допустима жорсткість води в системі 1,5 мг-екв/л. При використанні радіаторів з листової сталі також за рекомендаціям фірм-виробників величина рН води в опалювальній системі повинна бути в межах 8...9. Вміст розчиненого у воді кисню не повинен перевищувати 0,1 мг/л.

Основне завдання пристроїв водопідготовки - зменшення жорсткості води шляхом іонообміну з компонентами, які не впливають на жорсткість води.

При невеликих обсягах води в системах опалення та незначних витіках для пом'якшення застосовується установка зарядного типу з ручною регенерацією типу DP (DP-635, DP-840, DP-1040, DP-1054).

При великих обсягах підживлювальної води рекомендується застосовувати пом'ягчувальну установку з автоматичною регенерацією типу DHF.

Установка випускається з одинарної пом'ягчувальною колоною (DHF-20/1-F, DHF-30/1-F, DHF-60/1-F) або з подвійною колоною (DHF-20/2-F, DHF-30 / 2- F,

DHF-60/2-F). У всіх випадках перед водопідготовкою бажано встановлювати резервуар запасу сирі води.

Для пом'якшення початкової жорсткості води пропонується установка «AQUARO», що працює за принципом іонообміну. Хімічна сутність процесу пом'якшення полягає в обміні іонів кальцію і магнію, розчинених у воді, на іони натрію, пов'язані з сильнокислотним катіонітом Dowex HCR-S:

$2R-Na + Ca^{2+} + R_2Ca \rightarrow 2Na^{+} + R_2Ca + 2Na^{+} + R_2Mg + 2Na^{+}$, в результаті чого іони кальцію і магнію зв'язуються з катіонітом, а іони натрію надходять у воду.

Для модульних котельнь використовується, як правило, вода питної якості.

Для пом'якшення початкової жорсткості води пропонується автоматична водопідготовка «AQUARO» типу DHF-20/1-F, виробництва Угорщини, з комплектом типу ДМ-300 (резервуар запасу сирі води на 300л та насос JP 5 для автоматичного підживлення системи опалення). Технічні дані автоматичної водопідготовки наведені в табл. 3.5.

Таблиця 3.5

Технічні дані автоматичної водопідготовки DHF-20/1-F

Характеристика	Значення
Потужність пом'якшення, л/год.	310-1000
Хімічний засіб регенерації 100% NaCl, кг	4,2
Сольовий розчин для одної регенерації, л	14,9
Загальна продуктивність при 20 пк°, м³/год.	3,4
Максимальна продуктивність, м³/год.	1
Робочий тиск (min-max), атм.	2,5...8
Температура навколишнього середовища, °C	5...30
Іонообмінний заряд, л	20
Висота, м	1,4
Приєднання для сирі води, мм	15

Характеристика	Значення
Приєднання для пом'якшеної води, мм	15
Електричне приєднання	220В, 50 Гц, 100Вт, заземлення

Для вимірювання кількості введеної в систему пом'якшувальної води встановлений водовимірювальний лічильник.

Контроль якості котлової води здійснюється два рази на місяць. Відбір проб вихідної води, що подається, і зворотного теплоносія котельні здійснюється через спеціальні пробовідбірні крани.

Висновки за розділом:

Розроблено схему автономної газової котельні. Обрано сучасне енергоефективне обладнання (котли, насоси, система водопідготовки), що працює в автоматичному режимі.

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА РОЗШИРЮВАЛЬНОГО БАКА

Розширювальний бак для системи опалення – обов'язковий атрибут автономної рідинної системи обігріву будівлі. Його основне завдання – компенсація коливань об'єму теплоносія, які виникають при зміні температури.

При нагріванні рідина розширюється із підвищенням тиску і може не «поміститися» в контурі системи опалення, зруйнувавши її в самому слабкому місці. Щоб цього не сталося, в систему врізають розширювальні баки для систем опалення, які приймають в себе надлишки об'єму рідини при нагріванні і віддають їх у контури системи при охолодженні теплоносія.

В сучасних системах опалення, холодного і гарячого водопостачання використовують розширювальний бак для води закритого типу.

Конструкція мембранного розширювального баку реалізується у двох типових варіантах: з незмінною мембраною; зі змінною мембраною (фланцевий тип).

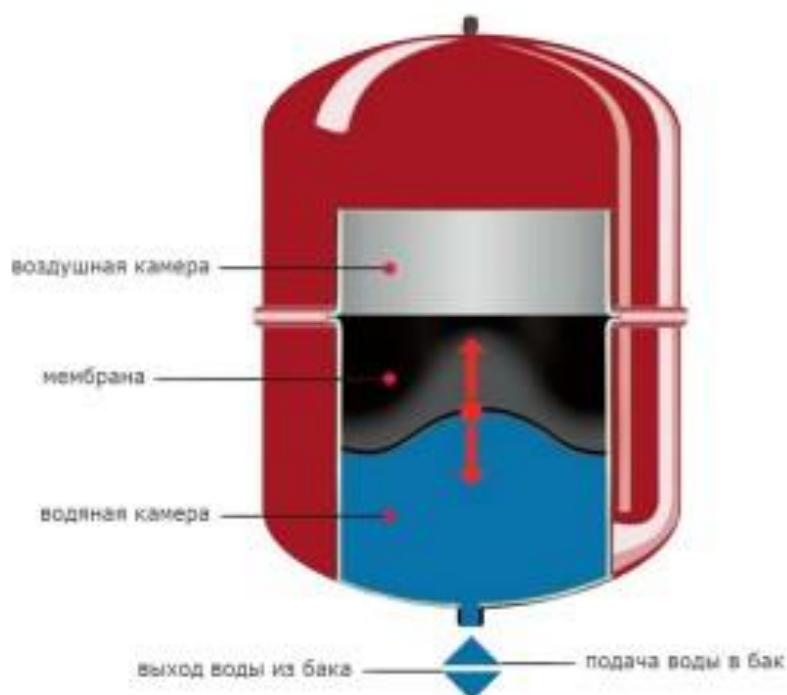


Рис. 4.1. Розширювальний бак з діафрагмовою мембраною

4.1. Вихідні данні для розрахунку розширювального бака

Для вибору розширювального бака необхідні такі дані:

Загальний об'єм води в системі 1803 л

Максимальна робоча температура води 95 °С

Максимальний робочий тиск (тиск спрацювання запобіжних клапанів)
0,6МПа,

Статична висота (висота від місця розташування бака до вищої точки системи)

Теплове навантаження системи.

Об'єм води в опалювальній системі можна розрахувати, відштовхуючись від теплової потужності котла: як правило, береться 15 літрів теплоносія на кіловат.

Збільшення об'єму води у системі:

$$\Delta V = V_L \cdot E,$$

де $V_L = 1803$ л - загальний обсяг води в системі за попередніми розрахунками;

E – коефіцієнт розширення рідини (4% приблизно для водяних систем опалення з максимальною температурою теплоносія до 95°С);

$$\Delta V = 1803 \cdot 0,04 = 72,12 \text{ л}$$

Мінімальний обсяг розширювального бака для водяної системи опалення береться приблизно рівним 1/10 обсягу теплоносія в системі. Більше - допустимо. Менше - небезпечно.

Мінімальний об'єм розширювального бака

$$V_{\min} = V_L / 10 = 180 \text{ л}$$

4.2. Визначення об'єму розширювального бака з діафрагмовою мембраною

Об'єм розширювального бака з діафрагмовою мембраною:

$$V_{\text{дб}} = (V_L \cdot E) / D$$

де $V_L=1803$ л - загальний обсяг води в системі за попередніми розрахунками;

E – коефіцієнт розширення рідини (4% приблизно для водяних систем опалення з максимальною температурою теплоносія до 95°C);

D – ефективність мембранного розширювального бака.

Ефективність мембранного розширювального бака визначається за формулою:

$$D=(P_V-P_S)/(P_V+1)$$

де $P_V=2$ бар – максимальний робочий тиск системи опалення (розрахунковий тиск запобіжного клапану дорівнює максимальному робочому тиску);

$P_S = 1,5$ бар – тиск зарядки мембранного розширювального баку (повинно дорівнювати статичному тиску системи опалення (0,5 бар на 5 м).

$$D=\frac{2,5-1,5}{2+1} = 0,17$$

Тоді,

$$V_{дб} = 1803 \cdot 0,04 / 0,17 = 300 \text{ л.}$$

Визначимо розміри ємності.

Приймаємо зовнішній діаметр ємності $D_3=740$ мм, товщина стінки $\delta_{ст}=12$ мм.

Внутрішній діаметр ємності

$$D_{вн} = D_3 - 2 \delta_{ст} = 0,716 \text{ м}$$

Висота еліптичного днища (0,3...0,4 від діаметра)

$$h = 0,37 D_{вн} = 0,265 \text{ м}$$

Внутрішній об'єм еліптичних днищ

$$V_{дн} = 4/3 \pi (D_{вн}/2)^2 h = 142,2 \text{ л}$$

Внутрішній об'єм циліндричного корпусу

$$V_{ц} = V_{дб} - V_{дн} = 157,8 \text{ л}$$

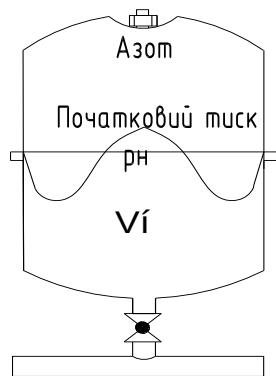
Висота циліндричного корпусу

$$h_{ц} = V_{ц} / (\pi/4 D_{вн}^2) = 0,392 \text{ м}$$

В системі опалення розширювальний бак з діафрагмовою мембраною працюватиме наступним чином.



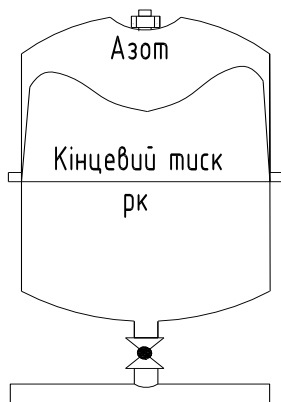
Перед початком роботи бак заповнюється на 20%, тобто $V=0,2 \cdot V_{\text{дб}}=60$ л



Початкове заповнення

Початковий запас V_n створюється при заповненні системи шляхом контролю початкового тиску p_n по водяному манометру.

$$p_n > p_o + 0,3 \text{ бар}$$



Розігрів системи

Коли температура в системі максимальна - розширювальний бак прийняв весь об'єм розширення (допустима величина 50% від об'єму бака)

$$V=0,5 V_{\text{дб}}=150 \text{ л}$$

4.3. Визначення об'єму розширювального бака без мембрани

Встановимо початкове заповнення бака 20% від об'єму води, як і для ємності з мембраною, і запас по об'єму 10% тоді загальний об'єм бака становить:

$$V_d = (1+0,2+0,1) \cdot \Delta V = 1,3 \cdot 72,12 = 93,7 \text{ л}$$

Таким чином, об'єм пропонуємого розширювального бака закритого типу без діафрагми у три рази менший, ніж у бака з діафрагмою (оскільки він не потребує великого запасу об'єму, як бак з діафрагмою).

Визначимо розміри розширювального бака.

Приймаємо зовнішній діаметр розширювального бака $D_3=480$ мм, товщина стінки $\delta_{ст}=12$ мм.

Внутрішній діаметр розширювального бака

$$D_{вн} = D_3 - 2 \delta_{ст} = 0,456 \text{ м}$$

Висота еліптичного днища (0,3...0,4 від діаметру)

$$h = 0,37 \cdot D_{вн} = 0,169 \text{ м}$$

Внутрішній об'єм еліптичних днищ

$$V_{дн} = 4/3 \pi (D_{вн}/2)^2 h = 36,7 \text{ л}$$

Внутрішній об'єм циліндричного корпусу

$$V_{ц} = V_6 - V_{дн} = 57 \text{ л}$$

Висота циліндричного корпусу

$$h_{ц} = V_{ц} / (\pi/4 D_{вн}^2) = 0,349 \text{ м}$$

Розглянемо роботу розширювального бака на різних режимах.

У випадку, коли ємність резервуара є достатньою у порівнянні з ємністю нагрівального трубопроводу при зменшенні температурі води-теплоносія, тиск води-теплоносія у ємності зменшується (рис. 4.1,а.) рівень у ємності падає. Якщо

температура води-теплоносія, зростає, то тиск води-теплоносія збільшується і рівень росте (рис. 4.1,б). Таким чином, змінюється тільки рівень води у резервуарі 100 у залежності від зміни тиску води-теплоносія, і тиск усередині резервуарі 100 підтримується постійним.

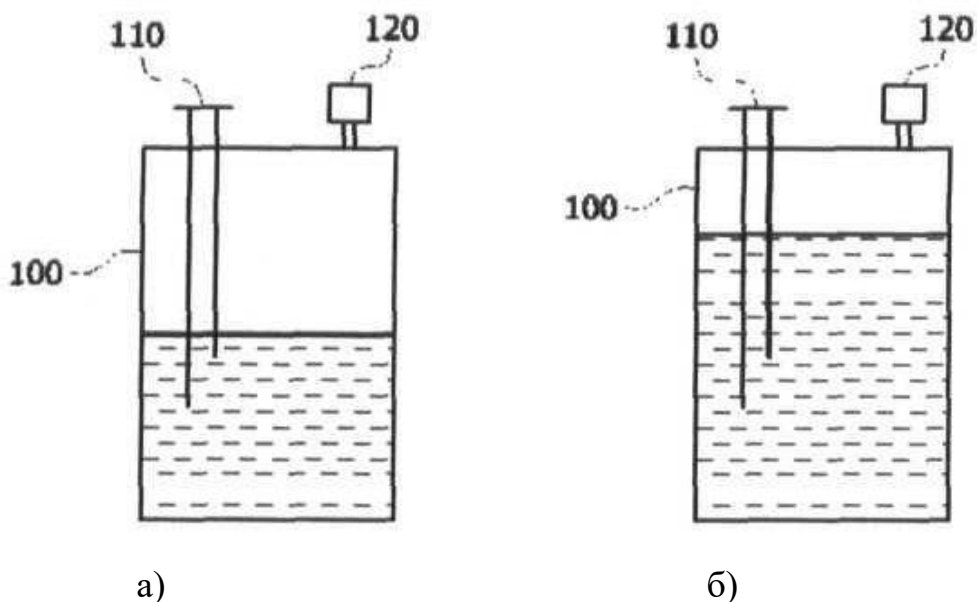
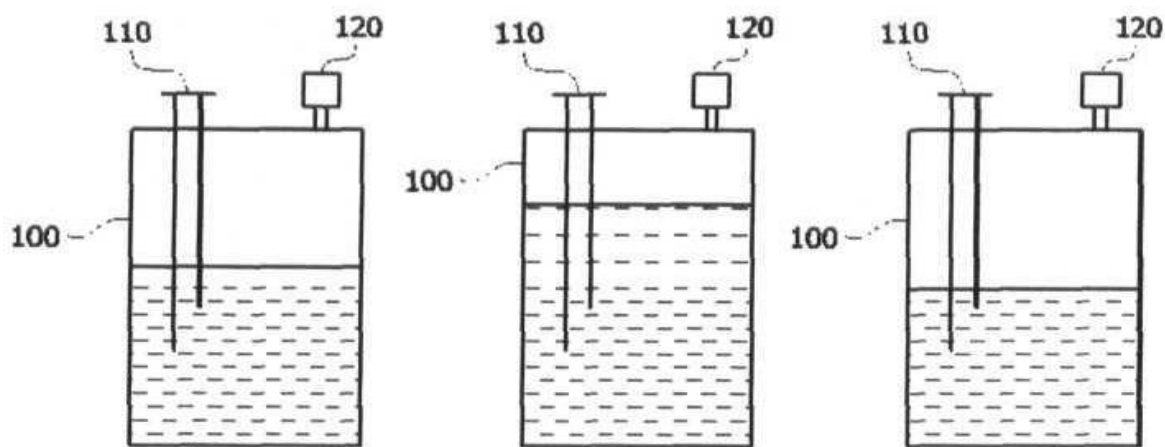


Рис. 4.1 Робота розширювального бака при правильно вибраному об'ємі

На рис. 4.2 показані схеми роботи розширювального бака, що демонструють ситуацію, у якій ємність резервуара є недостатньою у порівнянні з ємністю мережі. Рис.4.2,а зображує резервуар до використання котла після того, як паровий котел буде уперше встановлений. Рис.4.2,б зображує ситуацію, у якій, при першому використанні котла, тиск води теплоносія збільшується зі зростанням температури. Рис. 4.2,в зображує ситуацію, у якій температура води-теплоносія знижується внаслідок припинення операції нагрівання, так що тиск води-теплоносія зменшується.



а)

б)

в)

Рис. 4.2. Робота розширювального бака коли ємність баку є недостатньою у порівнянні з ємністю мережі

Коли тиск води-теплоносія збільшується, як на рис. 4.3а, так що тиск усередині резервуара 100 перевищує допустимий тиск, запобіжний клапан 120 відкривається, випускаючи повітря назовні, і рівень води-теплоносія значно підвищується. Після цього, коли тиск води-теплоносія зменшується, як на рис. 8, в, тиск усередині резервуару 100 може бути нижче атмосферного тиску. Навіть в цьому випадку, якщо датчик рівня води 110 визначає, що рівень води є достатнім, котел працює як звичайно.

На рис. 4.3 приведені схеми, що демонструють ситуацію, у якій ємність резервуара є значно меншою, ніж ємність мережі. Рис. 4.3, а зображує резервуар до використання котла після того, як котел буде встановлений уперше. Рис. 4.3, б зображує ситуацію, у якій, при першому використанні котла, тиск води-теплоносія збільшується зі зростанням температури. Рис. 4.3, в зображує ситуацію, у якій температура води-теплоносія зменшується внаслідок припинення операції нагрівання, так що тиск води-теплоносія знижується. Рис. 4.3, г зображує ситуацію, у якій додаткова вода подається через автоматичний клапан води підживлення після стану, зображеного на рис. 4.3, в.

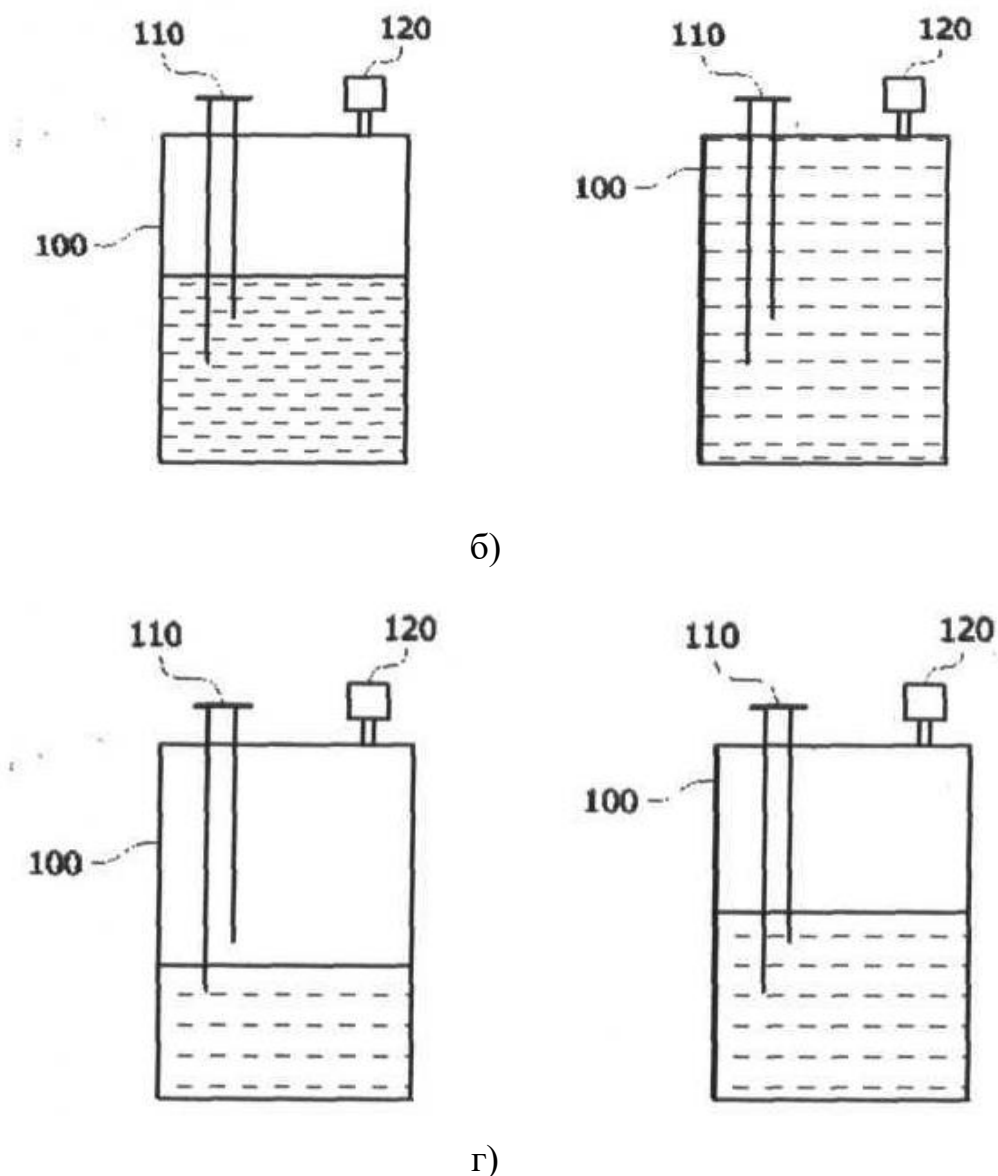


Рис. 4.3. Робота розширювального бака коли ємність бака є недостатньою у порівнянні з ємністю мережі

Якщо тиск води-теплоносія наближається до величини припустимого максимуму, як на рис. 4.3, б, резервуар заповнюється водою-теплоносієм і повітряний шар зникає. В цьому стані, при зменшенні тиску води-теплоносія, як на рис. 4.3, в, рівень води знижується. Крім цього, коли датчик рівня води 120 визначає, що кількість води-теплоносія є недостатньою, спрацьовує автоматичний клапан води підживлення для подачі додаткової кількості води. Після цього описаний вище цикл повторюється. Як описано вище, котел може працювати у нормальному режимі незалежно від ємності нагрівального трубопроводу. Крім

цього, хоча використовується резервуар без діафрагми, резервуар може мати конструкцію закритого типу. Таким чином, не треба забезпечувати окремий повітряний сепаратор, і ємність резервуара може бути зменшена у порівнянні зі звичайною резервуаром.

Таким чином, обрана конструкція розширювального бака забезпечує менші масо-габаритні показники, і надійну роботу навіть у випадку, коли збільшення об'єму води у мережі значно перевищує об'єм розширювальної ємності.

Висновки за розділом:

Здійснено розрахунок та підбір мембранного розширювального бака для компенсації температурного розширення теплоносія в системі, що гарантує стабільний тиск та безпечну експлуатацію мережі.

РОЗДІЛ 5. РОЗРОБКА ЗАХОДІВ З ОХОРОНИ ПРАЦІ

5.1. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях при експлуатації котельні

У даному розділі розглядаються питання забезпечення безпечних умов праці під час експлуатації та технічного обслуговування запроєктованої автономної газової котельні коледжу. Оскільки об'єкт автоматизований і працює без постійного перебування персоналу, основні заходи зосереджені на превентивній безпеці та захисті під час планових оглядів і ремонтних робіт.

5.1.1. Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Відповідно до ДСТУ 12.0.003:2014, при виконанні робіт у котельні на персонал можуть впливати такі чинники:

Термічні небезпеки: Висока температура теплоносія (до 105°C) та поверхонь котлів, трубопроводів і запірної арматури. Дотик до неізольованих ділянок може спричинити термічні опіки.

Шум та вібрація: Основними джерелами є дуттєві пальники газових котлів та циркуляційні насоси. Тривалий вплив підвищеного рівня шуму призводить до стомлюваності та зниження уваги персоналу.

Електрична небезпека: Котельня насичена електрообладнанням (насоси, щити автоматики, сервоприводи). Існує ризик ураження струмом при порушенні ізоляції або відсутності заземлення.

Хімічна небезпека та вибухопожежонебезпека: Використання природного газу створює загрозу утворення вибухонебезпечної газоповітряної суміші у разі розгерметизації газопроводу.

При неповному згорянні палива можливе виділення монооксиду вуглецю (CO), що є сильною отрутою.

5.1.2. Технічні рішення щодо забезпечення безпечних умов праці

Мікроклімат та вентиляція. Для підтримання нормативних параметрів повітряного середовища у приміщенні котельні передбачена припливно-витяжна вентиляція. Згідно з ДБН В.2.5-77:2014 «Котельні», кратність повітрообміну прийнята з розрахунку забезпечення повітрям на горіння газу плюс трикратний обмін для видалення надлишків тепла. Витяжка здійснюється з верхньої зони, де можливе скупчення залишків газу.

Захист від шуму та вібрації. Для зниження вібраційного навантаження насосні агрегати встановлюються на віброізолювальні основи, а приєднання трубопроводів здійснюється через гнучкі вставки (віброкомпенсатори). Рівень шуму від пальників обмежується використанням звукопоглинальних кожухів.

Освітлення. Відповідно до ДБН В.2.5-28:2018, у котельні передбачено:

Природне освітлення через віконні отвори (які також виконують роль легкоскридних конструкцій при вибуху).

Штучне робоче освітлення (світильники у пиловологозахищеному виконанні).

Аварійне освітлення, що живиться від незалежного джерела, для можливості безпечного завершення робіт або евакуації при зникненні основної напруги.

Електробезпека. Все електрообладнання підлягає заземленню згідно з вимогами ПУЕ. Передбачено систему зрівнювання потенціалів, що об'єднує всі металеві частини (трубопроводи, корпуси котлів). Клас захисту обладнання відповідає умовам приміщення (не нижче IP44/IP54).

5.1.3. Система газової безпеки та автоматизації

Основним технічним засобом захисту є система автоматичного контролю довибухових концентрацій газу (метан) та гранично допустимих концентрацій чадного газу. При спрацюванні датчиків система виконує такі дії:

Подає світловий та звуковий сигнал «Аварія».

Автоматично закриває швидкодіючий електромагнітний відсічний клапан на вводі газу в котельню.

Включає аварійну вентиляцію.

5.1.4. Пожежна профілактика

Приміщення котельні за вибухопожежною небезпекою відноситься до категорії «Г». Проектом передбачено:

Використання негорючих будівельних матеріалів (ступінь вогнестійкості будівлі — не нижче II).

Наявність первинних засобів пожежогасіння (вогнегасники вуглекислотні та порошкові, ящик з піском).

Протипожежний інвентар повинен бути розміщений на видному та доступному місці.

Висновки за розділом:

У даному розділі розглядаються питання забезпечення безпечних умов праці під час експлуатації та технічного обслуговування автономної газової котельні коледжу. Оскільки об'єкт автоматизований і працює без постійного перебування персоналу, основні заходи зосереджені на превентивній безпеці та захисті під час планових оглядів і ремонтних робіт.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі вирішена проблема теплопостачання чотириповерхової будівлі коледжу з підвальними приміщеннями в м. Миколаєві. Прийняте рішення відмовитися від застарілого централізованого опалення та розробити нову автономну систему теплозабезпечення з застосуванням сучасного обладнання газової водогрійної котельні.

Були виконані розрахунки теплових втрат та теплових надходжень для всіх приміщень навчального закладу, визначено навантаження на систему опалення.

Розраховано теплові навантаження котельні, підібрано відповідне обладнання. Проєктована автономна котельня повністю забезпечує потреби будівлі в теплі, незалежно від стану міських теплових мереж. Завдяки відсутності втрат у зовнішніх мережах та використанню погодозалежної автоматики, очікуване зниження витрат на опалення становитиме близько 30% на рік.

Невід'ємною частиною системи автономного опалення є спеціальна ємність (розширювальний бак), призначена для попередження підвищення тиску, що виникає за рахунок розширення теплоносія при його нагріванні, та запобігання утворенню повітряних пробок. В роботі обрана та розрахована конструкція розширювального баку для системи опалення, що забезпечує менші масо-габаритні показники і надійну роботу системи опалення навіть у випадку, коли збільшення об'єму води у мережі значно перевищує об'єм розширювальної ємності.

Розроблені питання забезпечення безпечних умов праці під час експлуатації та технічного обслуговування запроєктованої автономної газової котельні коледжу.

Дана робота може служити типовим рішенням для модернізації систем опалення бюджетних установ аналогічної площі в південних регіонах України.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. 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., Гусєв П.С., Засєдательєв І.В., Лебєдєв С.О., Сашко В.О., Семироз М.В., Терещенко Т.М., Черниш В.В. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://mon.gov.ua/storage/app/media/news/Новини/2020/04/28/2opalennya.pdf> 34
2. ДБН В 2.6-31:2016 Теплова ізоляція будівель [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://gazobeton.org/sites/default/files/sites/all/uploads/DBN-V.2.6-31-2016-Teplova-izolyatsiyabudivel.pdf>.
3. ДБН В.2.2-15-2005 Будинки і споруди. Житлові будинки. Основні положення. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=77411.
4. ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/1-1-0-1018>.
5. ДБН В.2.5-77:2014 Котельні. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=59086
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. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=14283 СанПіН 2.1.2.2645-10 <http://gostrf.com/normadata/1/4293820/4293820246.pdf>.
8. 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>.

9. ДСТУ-Н Б В.2.5-35:2007 Теплові мережі та мережі гарячого водопостачання з використанням попередньо теплоізованих трубопроводів. Настанова з проектування, монтажу, приймання та експлуатації.
10. ДСТУ-Н Б В.2.6-191:2013 Настанова з розрахункової оцінки повітропроникності огорожувальних конструкцій. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=56183 ДБН В.2.5-77:2014. Котельні.
11. Єпіфанов О.А. Тепловий розрахунок котельних агрегатів малої потужності : навч. посіб. Миколаїв : НУК, 2004. 152 с.
12. Луняка К.В., Димо Б.В., Корнієнко В.С., Коновалов Д.В. Джерела та системи теплопостачання промислових і комунальних об'єктів : навч. посіб. Херсон : Видавництво ХНТУ, 2019. 101 с.
13. Пирков В. В. Особливості проектування сучасних систем водяного опалення. Київ : П ДП «Такі справи», 2003. 176 с.
14. Пирков В. В. Сучасні теплові пункти. Автоматика та регулювання. Київ: 2007. 252 с.
15. Прядко М. О., Павелко В. І., Василенко С. М. Теплові мережі: навч. посібн. Київ : Алерта, 2005. 227 с.
16. Сашко В.О. Труби та арматура. Навчальний посібник. 2019 рік. Авторі-упорядники: Сашко В.О., Терещенко Т.М. Над навчальним посібником також працювали: Безпалько Н.О., Боброва Т.Б., Високос С.М., Глушко Ю.Ю., Пеховка М.В., Черниш В.В. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://mon.gov.ua/storage/app/media/news/Новини/2020/04/28/3trubi-ta-armatura.pdf>
17. Слаутіна Т. Г., Кузнецова С. А. Проектування систем водяного опалення: навч. посіб. Миколаїв: Вид-во НУК, 2011. 68 с.
18. Юзвак С.В. Модуль нагріву: навч. посіб. 1-е вид. Київ : Укрінтерм, 2003. 29 с.